UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS ESTABILIZADOS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND PARA EL PROYECTO DE CONSERVACIÓN VIAL PUNO TACNA TRAMO TARATA – CAPAZO – MAZOCRUZ

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

MARIO JOSÉ DE LA TORRE ILLESCA

Asesor:
MSc. Ing. Guillermo Lazo Lázaro

Lima-Perú
2018

JURADO DE LA SUSTENTACIÓN ORAL

_____

Presidente

_____

Jurado 1

_____

Jurado 2

Entregado: Agosto de 2018

Aprobado por:

_____	_____
Graduando:	**Asesor de Tesis:**
DE LA TORRE ILLESCA, MARIO JOSÉ	**LAZO LÁZARO, GUILLERMO**

UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA
FACULTAD DE INGENIERÍA

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, MARIO JOSÉ DE LA TORRE ILLESCA identificado con DNI Nº 73178500 Bachiller del Programa Académico de la Carrera de INGENIERÍA CIVIL de la Facultad de Ingeniería de la Universidad San Ignacio de Loyola, presento mi tesis titulada: "EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS ESTABILIZADOS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND PARA EL PROYECTO DE CONSERVACIÓN VIAL PUNO TACNA, TRAMO TARATA – CAPAZO - MAZOCRUZ".

Declaro en honor a la verdad, que el trabajo de tesis es de mi autoría; que los datos, los resultados y su análisis e interpretación, constituyen mi aporte. Todas las referencias han sido debidamente consultadas y reconocidas en la investigación.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad u ocultamiento de la información aportada. Por todas las afirmaciones, ratifico lo expresado, a través de mi firma correspondiente.

Lima, agosto de 2018.

MARIO JOSÉ DE LA TORRE ILLESCA
DNI N° 73178500

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
DEDICATORIA	xvii
AGRADECIMIENTOS	xviii
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
Problema de Investigación	2
Planteamiento del problema.	2
Formulación de problema.	4
Formulación del problema general.	4
Formulación de los problemas específicos.	4
Justificación de la investigación.	5
Objetivos e Hipótesis	6
Objetivos.	6
Objetivo General.	6
Objetivos Específicos.	7
Hipótesis.	7
Hipótesis Principal.	7
Hipótesis Secundarias.	7
Alcance	8
Marco referencial	9
Antecedentes.	9
Marco teórico.	12
Definición de términos básicos.	12
Generalidades.	15
Tipos de pavimentos.	18
Pavimentos flexibles.	18
Pavimentos rígidos.	19
Pavimentos semirrígidos.	19
Materiales de base y subbase	20
Estabilización de materiales.	20
Evaluación de canteras.	22
Pruebas de clasificación para materiales pétreos y suelos.	22
Granulometría.	23

Límites de Atterberg. 24
Materia orgánica. 25
Desgaste. 25
Equivalente de arena. 26
Forma de la partícula. 26
Textura de la superficie. 26
Absorción. 26
Proctor Modificado. 26
Valor Relativo de Soporte (CBR). 28
Estabilización y rehabilitación de pavimentos. 30
Reciclado en frío. 31
Maquinaria empleada. 32
Diseño del material granular estabilizado con cemento Portland. 34
Tipo y calidad de cemento. 35
Procedimiento de diseño. 35
Diseño del material granular estabilizado con emulsión asfáltica. 38
Clasificación de emulsiones asfálticas. 39
Procedimiento de diseño. 40
Evaluación de la subrasante. 42
Determinación de tramos homogéneos. 44
Diseño de la sección estructural del pavimento. 46
Número de ejes equivalentes para el periodo de diseño. 47
Confiabilidad (R). 48
Desviación Estándar Normal (ZR). 48
Desviación Estándar Total (So). 49
Índice de Serviciabilidad (PSI). 49
Módulo Resiliente (M_r). 50
Determinación del Número Estructural Propuesto. 50
Coeficientes de aporte estructural. 51
Coeficiente de drenaje. 57
Tramo de prueba y controles sobre la vía. 57
Proyecto Perú Fase II. 58
MÉTODO 63
Tipo y Diseño de Investigación 63
Tipo de Investigación. 63
Diseño de Investigación. 64

Variables 65
Identificación de las variables. 65
Operacionalización de las variables. 68
Población y Muestra 70
Instrumentos de Investigación 71
Procedimientos 71
Factibilidades 71
Factibilidad de Información. 71
RESULTADOS 73
Presentación de resultados 73
Características del Proyecto Perú Fase II. 74
Evaluación de canteras. 74
Fichas técnicas. 74
Cantera Poma. 74
Cantera Liwini. 77
Cantera Calachaca. 79
Cantera Mazocruz. 81
Ensayos de control de calidad. 83
Evaluación de fuentes de agua. 87
Diseño del material granular estabilizado con cemento Portland. 88
Moldeo y curado. 89
Resistencia a la compresión no confinada. 95
Diseño del material granular estabilizado con emulsión asfáltica. 100
Características de diseño Marshall Modificado. 104
Parámetros volumétricos. 106
Índice de tracción indirecta (ITS). 115
Evaluación de la estructura existente. 120
Calicatas. 120
Ensayos de control de calidad. 120
Evaluación del tráfico. 150
Conteo Vehicular. 151
Estación E-10 Challapalca 1. 153
Estación E-11 Challapalca 2. 159
Estación E-3 Mazocruz 2. 165
Encuesta Origen-Destino. 171
Censo de cargas y pesaje por ejes en modo dinámico. 175

Proyección de la demanda. 176
Proyección de ESAL. 181
Diseño de la sección estructural del pavimento. 181
Mejoramiento del terreno de fundación. 181
Tramificación (Método de las diferencias acumuladas). 187
Número Estructural Requerido. 194
Tramo 7 Tarata - Capazo. 194
Tramo 8 Capazo - Mazocruz. 197
Número Estructural Propuesto. 201
Evaluación técnica. 214
Factibilidad de diseño. 214
Tramo de prueba. 218
Evaluación estructural. 220
Grado de compactación. 220
Deflectometría. 226
Espesores. 230
Evaluación funcional. 234
IRI. 234
Evaluación económica. 238
Contrastación de hipótesis. 254
Discusión 257
Conclusiones 260
Recomendaciones 262
BIBLIOGRAFÍA 263
ANEXOS 267

ÍNDICE DE TABLAS

		Página
Tabla 1.	Relación Confiabilidad vs. Desviación Estándar Normal	48
Tabla 2.	Valores típicos de Desviación Estándar Total	49
Tabla 3.	Calidad del drenaje en función del tiempo de evacuación del agua	57
Tabla 4.	Valores recomendados del coeficiente de drenaje para bases y subbases granulares	57
Tabla 5.	Indicadores de Niveles de Servicio de la Conservación Rutinaria antes de la Conservación Periódica	59
Tabla 6.	Indicadores de Niveles de Servicio de la Conservación Rutinaria después de la Conservación Periódica	60
Tabla 7.	Identificación de las variables de la investigación	66
Tabla 8.	Operacionalización de las variables de la investigación	68
Tabla 9.	Ensayos y frecuencias realizados a canteras	73
Tabla 10.	Resumen de ensayo de materiales de la cantera Poma	83
Tabla 11.	Resumen de ensayo de materiales de la cantera Liwini	84
Tabla 12.	Resumen de ensayo de materiales de la cantera Calachaca	85
Tabla 13.	Resumen de ensayo de materiales de la cantera Mazocruz	86
Tabla 14.	Resultados de ensayos a fuentes de agua del tramo 7	87
Tabla 15.	Resultados de ensayos a fuentes de agua del tramo 8	87
Tabla 16.	Verificación de moldeo de briquetas Suelo Cemento, Cantera Poma	91
Tabla 17.	Verificación de moldeo de briquetas Suelo Cemento, Cantera Liwini	92
Tabla 18.	Verificación de moldeo de briquetas Suelo Cemento, Cantera Calachaca	93
Tabla 19.	Verificación de moldeo de briquetas Suelo Cemento, Cantera Mazocruz	94
Tabla 20.	Resistencia a la compresión no confinada de briquetas suelo-cemento, Cantera Poma	96
Tabla 21.	Resistencia a la compresión no confinada de briquetas suelo-cemento, Cantera Liwini	97
Tabla 22.	Resistencia a la compresión no confinada de briquetas suelo-cemento, Cantera Calachaca	98
Tabla 23.	Resistencia a la compresión no confinada de briquetas suelo-cemento, Cantera Mazocruz	99

Tabla 24. Características de diseño de briquetas suelo-emulsión, Cantera Poma 104
Tabla 25. Características de diseño de briquetas suelo-emulsión, Cantera Liwini 105
Tabla 26. Características de diseño de briquetas suelo-emulsión, Cantera Calachaca 105
Tabla 27. Características de diseño de briquetas suelo-emulsión, Cantera Mazocruz 105
Tabla 28. Índice de tracción indirecta, cantera Poma 118
Tabla 29. Índice de tracción indirecta, cantera Liwini 118
Tabla 30. Índice de tracción indirecta, cantera Calachaca 119
Tabla 31. Índice de tracción indirecta, cantera Mazocruz 119
Tabla 32. Ubicación de calicatas del tramo 7 120
Tabla 33. Ubicación de calicatas del tramo 8 126
Tabla 34. Resultados de ensayo de materiales de la estructura existente del tramo 7 133
Tabla 35. Resultados de ensayo de materiales de la estructura existente del tramo 8 142
Tabla 36. Tráfico promedio diario de la semana, Estación E-10 153
Tabla 37. Conteos diarios de la semana, Estación E-10 154
Tabla 38. Índice Medio Diario Anual, Estación E-10 155
Tabla 39. Tráfico promedio diario de la semana, Estación E-11 159
Tabla 40. Conteos diarios de la semana, Estación E-11 160
Tabla 41. Índice Medio Diario Anual, Estación E-11 161
Tabla 42. Tráfico promedio diario de la semana, Estación E-3 165
Tabla 43. Conteos diarios de la semana, Estación E-3 166
Tabla 44. Índice Medio Diario Anual, Estación E-3 167
Tabla 45. Tasa de ocupación de los vehículos 171
Tabla 46. Motivos de viaje 172
Tabla 47. Principales mercancías transportadas 172
Tabla 48. Matriz Origen-Destino para vehículos ligeros 173
Tabla 49. Matriz Origen-Destino para vehículos pesados 174
Tabla 50. Vehículos controlados (entrada) 175
Tabla 51. Vehículos controlados (salida) 175
Tabla 52. Factor de carga equivalente de vehículos destructivos (entrada) 176
Tabla 53. Factor de carga equivalente de vehículos destructivos (entrada) 176
Tabla 54. Tasas de Crecimiento de la Demanda 177

Tabla 55. Determinación de Tráfico Generado E 3 - Incremento 50% - 30% 178
Tabla 56. Determinación de Tráfico Generado E 10 - Incremento 50% - 30% 179
Tabla 57. Determinación de Tráfico Generado E 10 - Incremento 50% - 30% 180
Tabla 58. Proyección de ESAL 181
Tabla 59. Cálculo de CBR compuesto sin mejoramiento del tramo 7 182
Tabla 60. Cálculo de CBR compuesto sin mejoramiento del tramo 8 183
Tabla 61. Cálculo de CBR compuesto con mejoramiento del tramo 7 184
Tabla 62. Cálculo de CBR compuesto con mejoramiento del tramo 8 186
Tabla 63. Cálculo de Z_X para el tramo 7 mediante el método de las diferencias acumuladas. 187
Tabla 64. Cálculo de Z_X para el tramo 8 mediante el método de las diferencias acumuladas 189
Tabla 65. Sectores homogéneos del tramo 7 192
Tabla 66. Sectores homogéneos del tramo 8 192
Tabla 67. Tránsito vs. Serviciabilidad y Confiabilidad para el tramo 7 194
Tabla 68. Cálculo del SN_{REQ}, Sector 1 – Tramo 7 195
Tabla 69. Cálculo del SN_{REQ}, Sector 2 – Tramo 7 195
Tabla 70. Cálculo del SN_{REQ}, Sector 3 – Tramo 7 196
Tabla 71. Cálculo del SN_{REQ}, Sector 4 – Tramo 7 196
Tabla 72. Cálculo del SN_{REQ}, Sector 5 – Tramo 7 197
Tabla 73. Tránsito vs. Serviciabilidad y Confiabilidad para el tramo 8 197
Tabla 74. Cálculo del SN_{REQ}, Sector 1 – Tramo 8 198
Tabla 75. Cálculo del SN_{REQ}, Sector 2 – Tramo 8 199
Tabla 76. Cálculo del SN_{REQ}, Sector 3 – Tramo 8 199
Tabla 77. Cálculo del SN_{REQ}, Sector 4 – Tramo 8 200
Tabla 78. Cálculo del SN_{REQ}, Sector 5 – Tramo 8 200
Tabla 79. Valores de resistencia al cortante y coeficientes de aporte estructural 201
Tabla 80. Valores de Resistencia a la compresión no confinada y coeficientes de aporte estructural 202
Tabla 81. Valores de Resistencia ITS y coeficientes de aporte estructural 203
Tabla 82. Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Integral, Sector 1 – Tramo 7 204
Tabla 83. Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Cemento, Sector 1–Tramo 7 204
Tabla 84. Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Emulsión, Sector 1–Tramo 7 204
Tabla 85. Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Integral, Sector 2 – Tramo 7 205
Tabla 86. Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Cemento, Sector 2–Tramo 7 205
Tabla 87. Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Emulsión, Sector 2–Tramo 7 205

Tabla 88. Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Integral, Sector 3 – Tramo 7 206
Tabla 89. Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Cemento, Sector 3–Tramo 7 206
Tabla 90. Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Emulsión, Sector 3–Tramo 7 206
Tabla 91. Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Integral, Sector 4 – Tramo 7 207
Tabla 92. Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Cemento, Sector 4–Tramo 7 207
Tabla 93. Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Emulsión, Sector 4–Tramo 7 207
Tabla 94. Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Integral, Sector 5 – Tramo 7 208
Tabla 95. Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Cemento, Sector 5–Tramo 7 208
Tabla 96. Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Emulsión, Sector 5–Tramo 7 208
Tabla 97. Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Integral, Sector 1 – Tramo 8 208
Tabla 98. Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Cemento, Sector 1–Tramo 8 209
Tabla 99. Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Emulsión, Sector 1–Tramo 8 209
Tabla 100. Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Integral, Sector 2 – Tramo 8 210
Tabla 101. Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Cemento, Sector 2–Tramo 8 210
Tabla 102. Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Emulsión, Sector 2 – Tramo 8 210
Tabla 103. Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Integral, Sector 3 – Tramo 8 211
Tabla 104. Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Cemento, Sector 3–Tramo 8 211
Tabla 105. Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Emulsión, Sector 3–Tramo 8 211
Tabla 106. Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Integral, Sector 4 – Tramo 8 212
Tabla 107. Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Cemento, Sector 4 – Tramo 8 212
Tabla 108. Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Emulsión, Sector 4–Tramo 8 212
Tabla 109. Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Integral, Sector 5 – Tramo 8 213
Tabla 110. Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Cemento, Sector 5–Tramo 8 213
Tabla 111. Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Emulsión, Sector 5–Tramo 8 213
Tabla 112. Resumen de diseños AASHTO 1993 del tramo 7 y 8 217
Tabla 113. Grado de compactación Densímetro vs. Cono de Arena 221
Tabla 114. Análisis de costos unitarios - Subbase de material granular 239
Tabla 115. Análisis de costos unitarios - Base de material granular no triturado 240
Tabla 116. Análisis de costos unitarios - Base de material granular estabilizado con cemento Portland tipo IP 241
Tabla 117. Análisis de costos unitarios - Base de material granular estabilizado con emulsión asfáltica 242
Tabla 118. Análisis de costos unitarios - Imprimación asfáltica 243
Tabla 119. Análisis de costos unitarios - Micropavimento 244
Tabla 120. Características geométricas y geográficas de la vía 247
Tabla 121. Metrados de solución básica (base integral) 248

Tabla 122. Metrados de solución básica (base estabilizada con cemento Portland) 249
Tabla 123. Metrados de solución básica (base estabilizada con emulsión asfáltica) 250
Tabla 124. Resumen de volúmenes de base granular 251
Tabla 125. Propuesta de solución básica (base integral) 252
Tabla 126. Propuesta de solución básica (base estabilizada con cemento Portland) 252
Tabla 127. Propuesta de solución básica (base estabilizada con emulsión asfáltica) 252

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1.	Estructura de la propuesta del sistema de gestión vial	10
Figura 2.	Concepto de conservación	15
Figura 3.	Sección típica del pavimento flexible	18
Figura 4.	Sección típica del pavimento rígido	19
Figura 5.	Diagrama de esfuerzos en pavimentos	20
Figura 6.	Curva granulométrica típica del material ensayado	24
Figura 7.	Recta típica para obtener el límite líquido del material ensayado	25
Figura 8.	Parábola típica de relación humedad-densidad seca del material ensayado	27
Figura 9.	Curvas típicas de relación penetración-carga a 56,25 y 12 golpes del material ensayado	29
Figura 10.	Curvas típicas de relación CBR-densidad seca del material ensayado	30
Figura 11.	Diagrama de flujo del proceso de evaluación técnico económica	31
Figura 12.	Tren de reciclado convencional	33
Figura 13.	Planta mezcladora KMA 220	34
Figura 14.	Estimación del coeficiente estructural de capa de concreto asfáltico de gradación densa basado en el Módulo Elástico	52
Figura 15.	Variación del coeficiente estructural de capa de base con diferentes parámetros de resistencia	53
Figura 16.	Variación del coeficiente estructural en bases tratadas con cemento con los parámetros de resistencia de la base	54
Figura 17.	Variación del coeficiente estructural en bases tratadas con asfalto con los parámetros de resistencia de la base	55
Figura 18.	Variación del coeficiente estructural de capa de subbase con diferentes parámetros de resistencia	56
Figura 19.	Intervenciones programadas en el Red Vial Nacional	62
Figura 20.	Plano e información del proyecto	70
Figura 21.	Cantera Poma Km.: 135+350 LI	75
Figura 22.	Ficha técnica de la cantera Poma	76
Figura 23.	Cantera Liwini Km.: 149+350 LD	77
Figura 24.	Ficha técnica de la cantera Liwini	78
Figura 25.	Cantera Calachaca Km.: 199+160 LI	79
Figura 26.	Ficha técnica de la cantera Calachaca	80

Figura 27. Cantera Mazocruz Km.: 225+650 LD 81
Figura 28. Ficha técnica de la cantera Mazocruz 82
Figura 29. Granulometría del agregado para diseño 88
Figura 30. Homogenización del material para ensayo Proctor Modificado 88
Figura 31. Compactación del suelo de diseño - Proctor Modificado 89
Figura 32. Moldeo de briqueta Suelo Cemento 89
Figura 33. Extracción de briqueta Suelo Cemento 90
Figura 34. Hermetizado y Curado de briqueta Suelo Cemento 90
Figura 35. Ensayo a la compresión no confinada de briqueta Suelo Cemento 95
Figura 36. Ensayo de recubrimiento Suelo Emulsión 100
Figura 37. Moldeo de briqueta Suelo Emulsión 101
Figura 38. Briquetas Suelo Emulsión con distintos contenidos de humedad 101
Figura 39. Ensayo de estabilidad modificada y flujo de briqueta Suelo Emulsión 102
Figura 40. Briquetas Suelo Emulsión con distintos contenidos de asfalto residual 102
Figura 41. Curado de briquetas Suelo Emulsión a 38°C 103
Figura 42. Gravedad Específica Bulk de briqueta Suelo Emulsión 103
Figura 43. Análisis de densidad y vacíos de briqueta Suelo Emulsión 104
Figura 44. Porcentaje de asfalto residual vs. Estabilidad modificada, cantera Poma 107
Figura 45. Porcentaje de asfalto residual vs. Porcentaje de cambio de estabilidad, cantera Poma 107
Figura 46. Porcentaje de asfalto residual vs. Densidad seca Bulk, cantera Poma 107
Figura 47. Porcentaje de asfalto residual vs. Porcentaje de humedad absorbida, cantera Poma 108
Figura 48. Porcentaje de asfalto residual vs. Porcentaje de vacíos totales, cantera Poma 108
Figura 49. Humedad de compactación vs. Estabilidad modificada, cantera Poma 108
Figura 50. Porcentaje de asfalto residual vs. Estabilidad modificada, cantera Liwini 109
Figura 51. Porcentaje de asfalto residual vs. Porcentaje de cambio de estabilidad, cantera Liwini 109
Figura 52. Porcentaje de asfalto residual vs. Densidad seca Bulk, cantera Liwini 109
Figura 53. Porcentaje de asfalto residual vs. Porcentaje de humedad absorbida, cantera Liwini 110
Figura 54. Porcentaje de asfalto residual vs. Porcentaje de vacíos totales, cantera Liwini 110

Figura 55. Humedad de compactación vs. Estabilidad modificada, cantera Liwini 110
Figura 56. Porcentaje de asfalto residual vs. Estabilidad modificada, cantera Calachaca 111
Figura 57. Porcentaje de asfalto residual vs. Porcentaje de cambio de estabilidad, cantera Calachaca 111
Figura 58. Porcentaje de asfalto residual vs. Densidad seca Bulk, cantera Calachaca 111
Figura 59. Porcentaje de asfalto residual vs. Porcentaje de humedad absorbida, cantera Calachaca 112
Figura 60. Porcentaje de asfalto residual vs. Porcentaje de vacíos totales, cantera Calachaca 112
Figura 61. Humedad de compactación vs. Estabilidad modificada, cantera Calachaca 112
Figura 62. Porcentaje de asfalto residual vs. Estabilidad modificada, cantera Mazocruz 113
Figura 63. Porcentaje de asfalto residual vs. Porcentaje de cambio de estabilidad, cantera Mazocruz 113
Figura 64. Porcentaje de asfalto residual vs. Densidad seca Bulk, cantera Mazocruz 113
Figura 65. Porcentaje de asfalto residual vs. Porcentaje de humedad absorbida, cantera Mazocruz 114
Figura 66. Porcentaje de asfalto residual vs. Porcentaje de vacíos totales, cantera Mazocruz 114
Figura 67. Humedad de compactación vs. Estabilidad modificada, cantera Mazocruz 114
Figura 68. Moldeo de briqueta Suelo Emulsión (ITS) 115
Figura 69. Juego de briquetas Suelo Emulsión fabricadas (ITS) 116
Figura 70. Curado de briquetas (ITS) 116
Figura 71. Ensayo de tracción indirecta (ITS) 117
Figura 72. Calicata típica del tramo 7 (vista panorámica) 126
Figura 73. Calicata típica del tramo 7 (vista focalizada) 126
Figura 74. Calicata típica del tramo 8 (vista panorámica) 131
Figura 75. Calicata típica del tramo 8 (vista focalizada) 132
Figura 76. Ensayo de CBR 132
Figura 77. Diagrama de estaciones del proyecto 151
Figura 78. Variación horaria del promedio vehicular, Estación E-10 156

Figura 79. Variación diaria del total de vehículos, Estación E-10 156
Figura 80. Conteo vehicular, Estación E-10 157
Figura 81. Clasificación vehicular, Estación E-10 158
Figura 82. Distribución porcentual por tipo de vehículos, Estación E-10 158
Figura 83. Variación horaria del promedio vehicular, Estación E-11 162
Figura 84. Variación diaria del total de vehículos, Estación E-11 162
Figura 85. Conteo vehicular, Estación E-11 163
Figura 86. Clasificación vehicular, Estación E-11 164
Figura 87. Distribución porcentual por tipo de vehículos, Estación E-11 164
Figura 88. Variación horaria del promedio vehicular, Estación E-3 168
Figura 89. Variación diaria del total de vehículos, Estación E-3 168
Figura 90. Conteo vehicular, Estación E-3 169
Figura 91. Clasificación vehicular, Estación E-3 170
Figura 92. Distribución porcentual por tipo de vehículos, Estación E-3 170
Figura 93. Encuesta Origen-Destino 171
Figura 94. Censo de carga 177
Figura 95. Sector de mejoramiento del tramo 7 185
Figura 96. Sector de mejoramiento del tramo 8 186
Figura 97. Sectorización mediante diferencias acumuladas del tramo 7 190
Figura 98. Sectorización mediante diferencias acumuladas del tramo 8 191
Figura 99. Plan de canteras del tramo 7 y 8 193
Figura 100. Estado inicial y final del tramo 7 215
Figura 101. Estado inicial y final del tramo 8 215
Figura 102. Condiciones climáticas de la zona 218
Figura 103. Conformación de subbase granular 218
Figura 104. Esparcido de cemento Portland 219
Figura 105. Reciclado de base estabilizada 219
Figura 106. Colocación de base estabilizada 219
Figura 107. Correlación Densímetro Nuclear vs. Cono de Arena 222
Figura 108. Densidad In-situ mediante el Cono de Arena 222
Figura 109. Grado de compactación de la base estabilizada del tramo 7 223
Figura 110. Grado de compactación de la base estabilizada del tramo 8 224
Figura 111. Obtención de la densidad de la subbase granular (Método nuclear) 225
Figura 112. Obtención de la densidad de la base estabilizada (Método nuclear) 225
Figura 113. Deflectograma de la base estabilizada del tramo 7 227
Figura 114. Deflectograma de la base estabilizada del tramo 8 228

Figura 115. Deflectometría en la subbase granular 229
Figura 116. Deflectometría en la base estabilizada 229
Figura 117. Escarificado de base estabilizada 229
Figura 118. Espesores de la base estabilizada del tramo 7 231
Figura 119. Espesores de la base estabilizada del tramo 8 232
Figura 120. Medición de espesor de subbase granular 233
Figura 121. Medición de espesor de base estabilizada 233
Figura 122. Medición de espesor de micropavimento 233
Figura 123. IRI de la base estabilizada del tramo 7 235
Figura 124. IRI de la base estabilizada del tramo 8 236
Figura 125. Medición del IRI con MERLIN (Clase IV) 237
Figura 126. Medición del IRI con Roughometer (Clase III) 237
Figura 127. Medición del IRI con Perfilómetro Láser (Clase I) 237
Figura 128. Costo unitario agrupado por recursos 245
Figura 129. Volúmenes de material para base granular 251

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mis padres y a mi hermana que son los pilares fundamentales de mi vida; por creer en mí y darme ejemplos dignos de entrega, constancia y superación.

Gracias por estar conmigo desde el primer día de mi vida hasta hoy, que veo lograda una de mis metas. Va por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por forjarme con principios tan bellos.
Espero algún día ser la mitad de las buenas personas que son.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi asesor MSc. Ing. Guillermo Lazo Lázaro por sus enseñanzas, apoyo incondicional y la confianza depositada en mí.
Me siento en deuda con él, por todo lo aprendido durante las etapas de mi vida profesional y universitaria.

También quiero agradecer a mis padres por apoyar cada decisión importante en mi vida y darme la motivación necesaria para seguir adelante.

Finalmente agradecer a mis amigos y compañeros de la empresa COSAPI S.A. por su ayuda desinteresada y entrega a lo largo de estos meses.

Resumen

El presente trabajo de título tuvo como finalidad realizar un análisis comparativo técnico-económico del diseño de pavimentos estabilizados con emulsión asfáltica y cemento Portland en los tramos 7 y 8 del proyecto “Servicio de Gestión, Mejoramiento y Conservación Vial por Niveles de Servicio del Corredor Vial: “Dv. Humajalso - Desaguadero y Tacna - Tarata - Capazo - Mazocruz”, que conectan los departamentos de Puno y Tacna.

Para lograr dicho objetivo se elaboró un conjunto de propuestas a través de la información recolectada durante la etapa de estudios preliminares que contiene información relevante sobre el tráfico, propiedades de la subrasante, condiciones climatológicas, cargas, fuentes de agua, evaluación de canteras, recursos disponibles, entre otros.

Mediante la metodología de diseño AASHTO 1993 se realizaron distintas configuraciones de los coeficientes de aporte estructural, espesores y coeficientes de drenaje; con la finalidad de satisfacer la invariante del Número Estructural Requerido para cada tramo. El trabajo contiene pautas fundamentales que sirven como guía de consulta al momento de diseñar capas y mezclas cementadas.

En relación a la evaluación técnica, se propuso una estrategia de avance gradual que inició evaluando la factibilidad de diseño y continuó con la ejecución del tramo de prueba; posteriormente, se realizó la evaluación estructural y se culminó con la evaluación económica.

Análogamente, la evaluación económica muestra el análisis de costos unitarios para las actividades involucradas en el tramo de prueba, los metrados de los tramos en cuestión y el costo total de cada solución propuesta; para finalmente evaluar la propuesta más atractiva.

Introducción

Las vías de comunicación de mayor uso en Perú son las terrestres, en donde se encuentran las trochas, afirmados, carreteras, entre otros. Mediante el desarrollo y mantenimiento adecuado de la infraestructura vial se permiten optimizar los tiempos de viaje y la comodidad brindada al usuario.

Por tal motivo, un diseño adecuado garantiza la durabilidad y desempeño esperado de las vías, considerando que los costos de construcción no sean tan elevados e impidan la inversión.

En ese sentido la presente investigación contempla el diseño de pavimentos estabilizados con agentes cementantes mediante metodologías reconocidas que se aplicaron a lo largo de 135 kilómetros de vías cuyos índices de serviciabilidad antes de ser mejorados indicaban que era de vital importancia realizar intervenciones inmediatas.

Problema de Investigación

Planteamiento del problema.

En los últimos años el Estado Peruano ha presenciado el déficit de infraestructura vial a lo largo de toda la red de carreteras que forman la Red Vial Nacional fundamentado y expuesto por Provias Nacional en la presentación de “Intervenciones en la Red Vial Nacional” (2016), la cual contiene puntos relevantes que abarcan la brecha de infraestructura vial, crecimiento del PBI (Producto Bruto Interno), lineamientos estratégicos y planificación vial que contiene políticas nacionales de desarrollo para los próximos siete años.

De acuerdo al “Plan Nacional de Infraestructura 2016-2025” (2015) elaborado por Asociación para el Fomento de la Infraestructura Nacional (AFIN), se identifica que la mayor brecha de infraestructura pertenece al sector de transportes (US$ 57,499 millones) y específicamente en carreteras (US$ 31,850 millones), que en términos porcentuales representa el 20% de la brecha total. Dicha brecha aumenta debido a que existen ineficiencias en los planes de intervención, trabas para la inversión, problemas de corrupción, entre otros.

La problemática radica en la escasez de recursos económicos, zonas en abandono por falta de presencia del Estado y la necesidad de conectar integralmente todo el territorio peruano para promover el mercado interno y externo que a pesar de ser problemas temporales requieren de un plan de gestión vial para poder ser mitigados y es a partir de esa necesidad que nace la iniciativa de “Proyecto Perú”, el cual se explicará posteriormente.

La concepción de mejorar la Red Vial Nacional prioriza la ejecución de obras viales a nivel de pavimentación; es decir, obras de mejoramiento y rehabilitación, reduciendo las posibilidades de realizar un plan de conservación vial o realizar un sistema de gestión de la infraestructura vial que permita que las carreteras se mantengan en óptimo estado.

Ante esta problemática se concibe el “Proyecto Perú”, el cual busca desarrollar a través de la puesta en valor y la recuperación de vías, la integración de toda la Red Vial.
Consecuentemente se implementa el Sistema de Gestión Vial que fue mejorando con el tiempo y en la actualidad el “Proyecto Perú” se encuentra en su Fase II.

Mediante esta investigación se realizó un análisis comparativo entre dos tipos de diseños a nivel de soluciones básicas los cuales fueron:

- Capas de pavimentos con suelos estabilizados con cemento Portland.
- Capas de pavimentos con suelos estabilizados con emulsión asfáltica.

El análisis comparativo tuvo como motivo principal evaluar cuál de las soluciones es más óptima para ser aplicada, disminuir costos de producción y presentar mediante este documento soluciones consideradas como innovación tecnológica y de esta manera, dar a conocer qué diseño es el que satisface los requerimientos estructurales, funcionales y económicos. Todas las soluciones evaluadas pertenecen a la etapa de Mantenimiento Periódico y se evaluaron independientemente de las actividades Mantenimiento Rutinario, puesto que en esta se procede a intervenir los tramos de Mejoramiento de la carretera. Sin embargo, es recomendable considerar como repercute directa o indirectamente en el Mantenimiento Rutinario, debido a que la ejecución de soluciones de mejor desempeño disminuye actividades para conservar la vía.
Este punto se desarrolla a mayor detalle en la justificación del problema.

Del mismo modo, se evaluaron las deficiencias actuales del “Proyecto Perú II” como programa de conservación y desarrollo de Infraestructura Vial.

Por lo expuesto, la problemática radica en la ejecución de tratamientos a nivel de soluciones básicas con un presupuesto fijo establecido por parte del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y los recursos existentes deben ser empleados óptimamente, a partir de esta situación el MTC propuso alternativas de solución establecidos en los Términos de Referencia del contrato de servicios N° 002-2016-MTC/20 denominado Servicio de Gestión, Mejoramiento y Conservación Vial por Niveles de Servicio del Corredor Vial “Dv. Humajalso - Desaguadero y Tacna - Tarata - Capazo - Mazocruz”.

Comenzando de esta situación poco favorable se promovió el desarrollo de innovación tecnológica mediante alternativas que cumplan con lo solicitado en los Términos de Referencia del contrato, generando opciones de soluciones a nivel básico y elaborando una guía de consulta que tiene por finalidad proporcionar criterios y parámetros de diseño que se deben de considerar a la hora de realizar diseños de suelos estabilizados con cemento hidráulico y asfáltico.

De igual manera, la presente investigación se enfocó en dar soluciones inmediatas evaluadas técnica y económicamente a proyectos con características agrestes.

Formulación de problema.

Formulación del problema general.

Entre las alternativas de usar capas granulares estabilizadas con emulsión asfáltica o cemento Portland ¿cuál de las dos opciones es técnico y económicamente más viable, optimizando recursos y dentro del “Proyecto Perú Fase II”?

Formulación de los problemas específicos.

- ¿Cómo se puede determinar si los agregados de cantera son de mejor calidad que los de la plataforma existente?
- ¿Cuál es la dosificación óptima de un agente estabilizador para modificar las propiedades de los suelos?
- ¿De qué manera las alternativas de estabilización brindan beneficios?
- ¿En qué medida los suelos estabilizados se ven modificados por los agentes estabilizadores?
- ¿Cuál es el beneficio principal de estabilizar un suelo?

- ¿Qué criterios se deben considerar para decidir económicamente entre una y otra solución?
- ¿Cuáles son los parámetros que influyen en los diseños de mezclas cementadas?
- ¿Las variables de diseño pueden ser modificadas y obtener distintos resultados?

Justificación de la investigación.

La presente investigación se enfocó en realizar un estudio comparativo entre las intervenciones propuestas en el párrafo anterior en función a la demanda prevista y en atención a los Niveles de Servicio establecidos para los tramos 7 y 8 del contrato de servicios N° 002-2016-MTC/20 denominado Servicio de Gestión, Mejoramiento y Conservación Vial por Niveles de Servicio del Corredor Vial "Dv. Humajalso - Desaguadero y Tacna - Tarata - Capazo - Mazocruz", los cuales están sujetos a una serie de parámetros que se deben cumplir.

De la misma manera la presente investigación, muestra las condiciones actuales de la estructura del pavimento existente en materia de estudio, el volumen de tráfico proyectado a 10 años, los riesgos potenciales y fundamentalmente hacer de este documento una guía de consulta que permita conocer los diferentes procedimientos y parámetros de diseño que son necesarios considerar al momento de estabilizar suelos mediante la aplicación de conglomerantes o emulsiones asfálticas.
Además de evaluar cada diseño individualmente, se realizó el análisis considerando el suelo sin sufrir alteraciones o modificaciones de sus componentes (adición de cemento Portland o de emulsión asfáltica) para determinar si este puede cumplir con el diseño AASHTO 1993 integralmente.

Con la información que se obtuvo de los estudios elaborados, se realizó una propuesta técnica para cada uno de los diseños considerando cuál es el que mejor se adapta a las circunstancias, características y condiciones del proyecto, teniendo en cuenta que la finalidad de estas soluciones básicas es la de brindar un cierto nivel de comodidad a los usuarios de las vías donde los diseños se apliquen.
Cabe mencionar que la medición de los trabajos ejecutados es por medio de Niveles de Servicio, considerando que se llevó el control obligatorio de los materiales, diseños de mezcla y procedimientos, para lo cual se hicieron ensayos de control de calidad en laboratorios especializados, determinando la frecuencia de ensayos de acuerdo al avance progresivo de los trabajos.

Los tramos mencionados unen los departamentos de Puno y Tacna, logrando disminuir tiempos de viaje y mejorar la transitabilidad de la vía. Además, para asegurar la efectividad de la solución elegida se optó por la implementación del diseño a una escala mediana, realizando tramos de prueba que verificaron si efectivamente la solución propuesta cumple con los requisitos solicitados por el MTC.

Con la indagación necesaria para cada propuesta se tomaron decisiones de acuerdo a los costos y a las condiciones para la ejecución, teniendo en cuenta que el proyecto se localiza a 4 900 msnm aproximadamente y presenta temperaturas desde 15°C hasta -20°C.

La implementación del diseño elegido fue una estrategia de avance gradual que permitió la mejora continua de acuerdo a la experiencia adquirida, reajustados en función de los objetivos realizados y las dificultades halladas, ya que posteriormente se proyecta a que estas soluciones básicas se conviertan en pavimentos asfálticos.

Mediante la presente investigación se da a conocer el procedimiento para diseñar capas de pavimentos conformadas por suelos provenientes de canteras selectas sin ningún componente adicional, suelos estabilizados con cemento Portland y suelos estabilizados con emulsión asfáltica.

La investigación impulsa e introduce el concepto de supervisión por Niveles de Servicio

Los beneficios más resaltantes del presente documento son: promover el desarrollo de nuevas tecnologías que se adaptan a métodos de diseño confiables, conocer procedimientos poco usuales de estabilización de suelos, evidenciar las deficiencias del sistema de gestión actual en el Perú y obtener las herramientas necesarias para evaluar técnica y económicamente las soluciones propuestas en zonas agrestes.

Objetivos e Hipótesis

Objetivos.

Objetivo General.

Realizar un análisis comparativo técnico económico entre los diseños de capas granulares estabilizadas con emulsión asfáltica y cemento Portland bajo el Método AASHTO 1993.

Objetivos Específicos.

Para alcanzar exitosamente el objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar los agregados de canteras y de la plataforma existente de acuerdo a las normas vigentes.
- Estimar las dosificaciones de agente estabilizador en las capas granulares.
- Conocer alternativas de estabilización de suelos.
- Evaluar las propiedades mecánicas de los suelos estabilizados.
- Hallar los valores de los coeficientes de aporte estructural de los suelos estabilizados.
- Analizar los costos unitarios de las actividades que forman parte del pavimento.
- Describir los procedimientos técnicos para efectuar el diseño de mezclas cementadas.
- Identificar y calcular las variables de diseño AASHTO 1993 para diseñar los espesores de capas granulares.

Hipótesis.

Hipótesis Principal.

Se estima que los suelos estabilizados con emulsión asfáltica y/o suelos estabilizados con cemento Portland cumplan un diseño más satisfactorio que los suelos típicos bajo las mismas condiciones para soportar las cargas que se presentan con el paso de los vehículos.

Hipótesis Secundarias.

- Los agregados de cantera poseen mejores propiedades físicas y mecánicas que los de la plataforma existente.
- Dosificaciones de emulsión asfáltica y cemento Portland menores a 1% no mejoran las propiedades mecánicas de la mezcla.
- Estabilizar mediante procesos convencionales genera mayor productividad.
- Las propiedades mecánicas de suelos estabilizados con emulsión asfáltica superan considerablemente a las propiedades mecánicas de suelos estabilizados con cemento Portland.

- Los coeficientes de aporte estructural incrementarán considerablemente la capacidad de carga de la capa de suelo estabilizado.
- Se estima que las capas estabilizadas con cemento Portland son las más económicas ante los requerimientos del proyecto debido al costo y proceso de manufacturación de las emulsiones asfálticas.
- El diseño óptimo de mezclas cementadas depende fundamentalmente de las características mecánicas, físicas y químicas de los agregados.
- Existen diversas combinaciones de las variables de diseño para calcular los espesores de las capas granulares.

Alcance

El alcance de la investigación precisa ciertos puntos en lo relativo al estudio de la eficacia de diseño, evaluación estratégica y criterios adoptados para la realización del presente documento.

En primer lugar, la presente investigación explora exclusivamente alternativas de solución a nivel básico, debido a que la muestra es una vía afirmada en condiciones deplorables. Asimismo, los parámetros de evaluación económica están enfocados a valores objetivos de costos unitarios y parciales; descartando todo tipo de análisis de rentabilidad y viabilidad económica que se consideran con el uso de ciertas herramientas financieras tales como el Valor Actual Neto (VAN) o la Tasa Interna de Retorno (TIR).

De igual manera, la investigación no pretende realizar juicios de valor sobre las etapas de Mantenimiento Rutinario (ni antes ni después del Mantenimiento Periódico), debido a que estas actividades son invariantes y han sido definidas previamente en los Términos de Referencia de la muestra, que a su vez poseen costos unitarios y propuestas que son de vital importancia para la ejecución satisfactoria del proyecto, mas no de la presente investigación.

Finalmente, la trascendencia de esta investigación radica en dotar de conocimientos fundamentales únicamente en proyectos con condiciones adversas licitados bajo la Estrategia de Infraestructural Vial “Proyecto Perú Fase II”.

Marco referencial

Antecedentes.

Ortiz (2013) menciona sobre la aplicación del Método AASHTO-72 el cual estuvo presente hasta el año 1983 aproximadamente, época en la que se llegó a la conclusión de que el procedimiento aplicado no alcanzaba sus objetivos fundamentales debido a que el alcance de este método era muy básico.

Considerando que se podían incorporar algunos avances logrados en los análisis desde el año 1972, el subcomité de diseño de pavimentos en el año 1984, de la mano de un grupo de ingenieros consultores da inicio a la revisión del "Procedimiento Provisional para el Diseño de Pavimentos AASHTO – 72" y a fines del año 1986 se concluye el proyecto; posteriormente se realiza una nueva revisión en el año 1993, año del cual proviene el método.

Corredor (2010), menciona que la guía preserva las ecuaciones de comportamiento de los pavimentos establecidos en el Experimento Vial de la AASHTO en 1961, como modelos a emplear en el diseño de pavimentos pero que son básicos, sin embargo, introduce los siguientes cambios más representativos:

- Sustitución del "Factor Regional" – valor poco objetivo – por un enfoque que considera los efectos ambientales como humedad y temperatura sobre las propiedades de los materiales.
- Colocación de guías para la construcción de sistemas de subdrenaje, y modificación de las ecuaciones de diseño, que consideran las ventajas que resultan, sobre el desempeño de los pavimentos, debido a un óptimo drenaje.
- Uso de módulos resilientes para el cálculo de coeficientes estructurales de materiales estabilizados, procesados y naturales.
- Reemplazo del Valor Relativo de Soporte del Suelo (Si) por el Módulo Resiliente (M_r), brindando un procedimiento de laboratorio más científico basados en la teoría elástica para el cálculo de las propiedades de resistencia de los materiales
- Integración del "Factor de Confiabilidad", relacionado al cambio de tráfico a lo largo del periodo sobre el cual se diseñó, introduciendo el concepto de análisis de riesgo para la variedad de facilidades viales a proyectar.

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2006) a través de Provias Nacional y específicamente por medio de la Gerencia de Planificación y Presupuesto, publicó un documento que se enfoca en una propuesta de Sistema de Gestión Vial, en la cual delimitan los objetivos y entregables, con la finalidad de establecer los lineamientos para su correcta elaboración. Además de mencionar ciertos procesos como la definición de objetivos, predicción de la demanda, diagnóstico y análisis de la Infraestructura Vial, registrar inversiones, entre otros.

Dicho modelo fue lanzado en el año 2006 como bases conceptuales para la elaboración de sistemas de gestión para la conservación vial, dando origen en el año 2007 al “Proyecto Perú”.

La figura 1 muestra el esquema del Sistema de Gestión de la Infraestructura Vial en donde se aprecian los procesos que permiten lograr los objetivos de gestionar de manera adecuada la infraestructura.

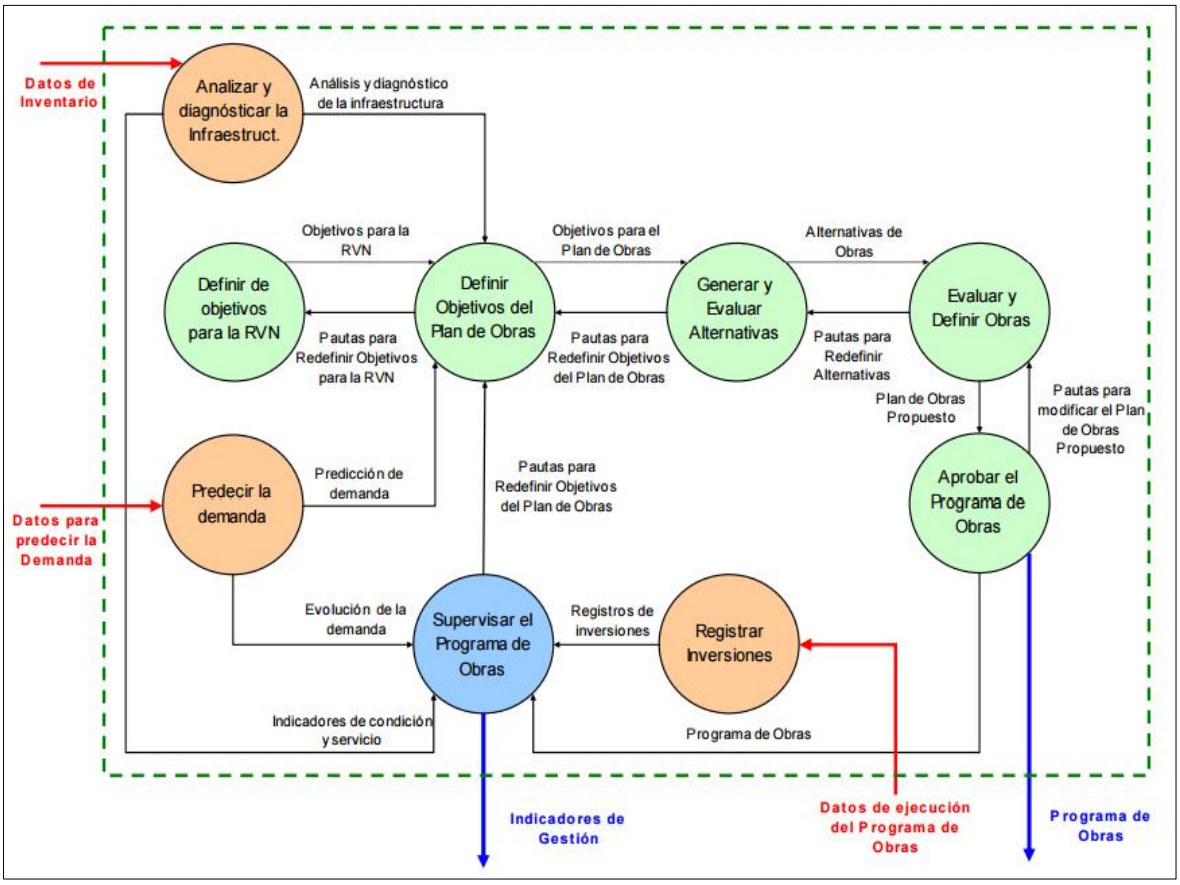


Figura 1. Estructura de la propuesta del sistema de gestión vial
Fuente: Modelo del sistema de gestión de infraestructura vial de Provias Nacional - 2006

De la misma manera, el MTC (2013) a través de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles puso a disposición del público el Proyecto de “Manual de Carreteras – Conservación Vial”, que contiene los procedimientos para la planificación de procesos técnicos rutinarios y periódicos con el fin de conservar las vías en Niveles de Servicio adecuados.

La finalidad del presente manual es la de uniformizar procedimientos constructivos, parámetros, requisitos y condiciones.

Los Términos de Referencia del Servicio de Gestión, Mejoramiento y Conservación Vial por Niveles de Servicio del Corredor Vial “Dv. Humajalso - Desaguadero y Tacna - Tarata - Capazo - Mazocruz” (2015) emitidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones son herramientas fundamentales para la elaboración de la investigación, el objetivo de los Términos de Referencia es describir el objeto y los alcances.

También, las bases principales para la elaboración de la investigación fueron el “Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013”, documento técnico de carácter normativo el cual rige a nivel nacional y tiene la finalidad de uniformizar las condiciones, requisitos, parámetros, y procedimientos para los diseños que se proponen en el presente documento; de la misma manera el “Manual visualizado de emulsiones asfálticas” elaborado por la Fundación Laboratorio Nacional De Vialidad (Fundalanavial) en el año 1998, apoyado en las Normas American Society for Testing and Materials (ASTM), Normas del Laboratorio de Transporte (NLT), Normas AASHTO, Norma COVENIN 2000-87 Parte I y Manual Visualizado de Ensayos de Agregados, Suelos y Asfalto de Fundalanavial.

Este último documento es de suma importancia a la hora de diseñar las mezclas de suelo estabilizado con emulsión, puesto que sirve de guía para dosificar y hallar el contenido óptimo de asfalto residual, contenido óptimo de agua, entre otros. Finalmente, la “Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos - 1993”, es el documento principal que se empleó para el diseño de las capas del pavimento para cada uno de los suelos estabilizados propuestos, incluyendo el suelo sin alteraciones.

En síntesis, los documentos antes mencionados son de suma importancia y los más pertinentes para el respaldo de la investigación, cabe resaltar que los suelos estabilizados con algún tipo de emulsión asfáltica o conglomerante son considerados temas innovadores y existen pocos estudios en el país sobre estos nuevos procedimientos que serán evaluados por Niveles de Servicio, por lo tanto, la información y los antecedentes se respaldan en manuales y en información de proyectos ejecutados.

Marco teórico.

Definición de términos básicos.

A continuación, se presenta un glosario de términos básicos que son de vital importancia para poder comprender el presente documento:

- **AASHTO:** Siglas que corresponden a la entidad americana “American Association of State Highway and Transportation Officials”.
- **Abrasión:** Desgaste mecánico de agregados y rocas resultante de la fricción y/o impacto.
- **Absorción:** Fluido que es retenido en cualquier material después de un cierto tiempo de exposición (suelo, rocas, maderas, etc.).

- **Afirmado:** Capa compactada de material granular natural o procesado con gradación especifica que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito.
- **Aglomerante:** Material capaz de unir partículas de material inerte por efectos físicos o transformaciones químicas o ambas.
- **Agregado:** Material granular de composición mineralógica como arena, grava, escoria, o roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.
- **Asfalto:** Material cementante, de color marrón oscuro a negro, constituido principalmente por betunes de origen natural u obtenidos por refinación del petróleo.
- **ASTM:** Siglas que corresponden a la entidad americana “American Society for Testing and Materials”. (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales).
- **Briqueta:** Término común que se le denomina a un espécimen de suelo para los ensayos de laboratorio.
- **Calicata:** Excavación superficial que se realiza en un terreno, con la finalidad de permitir la observación de los estratos del suelo a diferentes profundidades y eventualmente obtener muestras generalmente disturbadas.
- **Camino**: Vía terrestre para el tránsito de vehículos motorizados y no motorizados, peatones y animales, con excepción de las vías férreas.
- **Cantera:** Deposito natural de material apropiado para ser utilizado en la construcción, rehabilitación, mejoramiento y/o mantenimiento de las carreteras.
- **Capacidad de carga del terreno:** Es la resistencia admisible del suelo de cimentación considerando factores de seguridad apropiados al análisis que se efectúa.

- **CBR (California Bearing Ratio):** Valor relativo de soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo.
- **Cemento Portland:** Es un producto obtenido por la pulverización del clinker con la adición eventual de yeso natural.
- **Compactación:** Proceso manual o mecánico que tiende a reducir el volumen total de vacíos de suelos, mezclas bituminosas, morteros y concretos frescos de cemento Portland.
- **Corte (directo):** Ensayo según el cual un suelo sometido a una carga normal falla al moverse una sección con respecto a otra.
- **Densidad:** Relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.
- **Emulsión asfáltica:** Una emulsión de cemento asfáltico y agua que contiene una pequeña cantidad de agente emulsivo.
- **Ensayo de compresión:** Ensayo para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión.
- **Ensayo Marshall:** Procedimiento para obtener el contenido de asfalto y diferentes parámetros de calidad de una mezcla bituminosa.
- **Estabilidad:** Propiedad de una mezcla asfáltica de pavimentación de resistir deformación bajo las cargas impuestas. La estabilidad es una función de la cohesión y la fricción interna del material.
- **Granulometría:** Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas.
- **Grava:** Agregado grueso, obtenido mediante proceso natural o artificial de los materiales pétreos.
- **Índice de Serviciabilidad:** Es un número, en una escala de 0 a 5, que indica la condición de un pavimento en un determinado momento, para proveer un manejo seguro y confortable a los usuarios.
- **Índice Medio Diario Anual (IMDA):** Volumen promedio del tránsito de vehículos en ambos sentidos durante 24 horas de una muestra vehicular (conteo vehicular), para un período anual.
- **IRI:** Sigla que corresponde al Índice de Rugosidad Internacional.
- **Mantenimiento Periódico:** Conjunto de actividades programables cada cierto periodo, que se realizan en las vías para conservar sus niveles de servicio. Estas actividades pueden ser manuales o mecánicas y están referidas principalmente a: i) reposición de capas de rodadura, colocación de capas nivelantes y sello, ii) reparación o reconstrucción puntual de capas inferiores del pavimento, iii)

reparación o reconstrucción puntual de túneles, muros, obras de drenaje, elementos de seguridad vial y señalización.

- **Mantenimiento Rutinario:** Conjunto de actividades que se realizan en las vías con carácter permanente para conservar sus niveles de servicio. Estas actividades pueden ser manuales o mecánicas y están referidas principalmente a labores de limpieza, bacheo, perfilado, roce, eliminación de derrumbes.
- **Niveles de Servicio:** Indicadores que califican y cuantifican el estado de servicio de una vía, y que normalmente se utilizan como límites admisibles hasta los cuales pueden evolucionar su condición superficial, funcional, estructural, y de seguridad.
- **Pavimento:** Estructura construida sobre la subrasante de la vía, para resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: subbase, base y rodadura.
- **Propiedades físicas:** Son las propiedades intrínsecas (dentro de él) de las partículas, entre las que podemos mencionar son: textura, densidad y forma.
- **Propiedades mecánicas:** Son las propiedades relativas a su capacidad de absorber esfuerzos sin perder su forma, como lo es la resistencia al desgaste y esfuerzos por deformación.
- **Rasante:** Nivel terminado de la superficie de rodadura. La línea de rasante se ubica en el eje de la vía.
- **Red Vial:** Conjunto de carreteras que pertenecen a la misma clasificación funcional (Nacional, Departamental o Regional y Vecinal o Rural)
- **Términos de Referencia:** Documento que elabora la Entidad Contratante, con la finalidad de establecer los objetivos, alcances, características técnicas, productos esperados y demás condiciones requeridas para la prestación de un servicio de consultoría a contratar.
- **Serviciabilidad:** Capacidad que tiene en un determinado momento el pavimento para servir al tránsito que lo utilizará.
- **Tramo:** Parte continúa de una carretera.
- **Valorización:** Cuantificación económica de un avance físico en la ejecución de la Obra o prestación de servicios realizada en un período determinado.
- **Vía:** Camino, arteria o calle
- **Vida útil:** Lapso de tiempo previsto en la etapa de diseño de una obra vial, en el cual debe operar o prestar servicios en condiciones adecuadas bajo un programa de mantenimiento establecido.

Generalidades.

Los pavimentos son diseñados para un determinado tiempo de vida y con el fin de entregar el servicio esperado, es por eso que deben realizarse actividades de conservación rutinaria y periódica de manera adecuada para poder mantenerlos en un estado adecuado y evitar mayores gastos cuando estos hayan colapsado o estén en estado crítico.

En la figura 2 se aprecia el concepto de conservación vial, el cual permite mantener la infraestructura del país en mejores condiciones cuando esta recibe intervenciones oportunas que evitan un deterioro al final de la vida útil del proyecto.
La figura 2 es parte del documento "Experiencia de Conservación de Carreteras: Administración Directa - Contratos por Niveles de Servicio", el cual fue publicado por el Ministerio de Nacional.

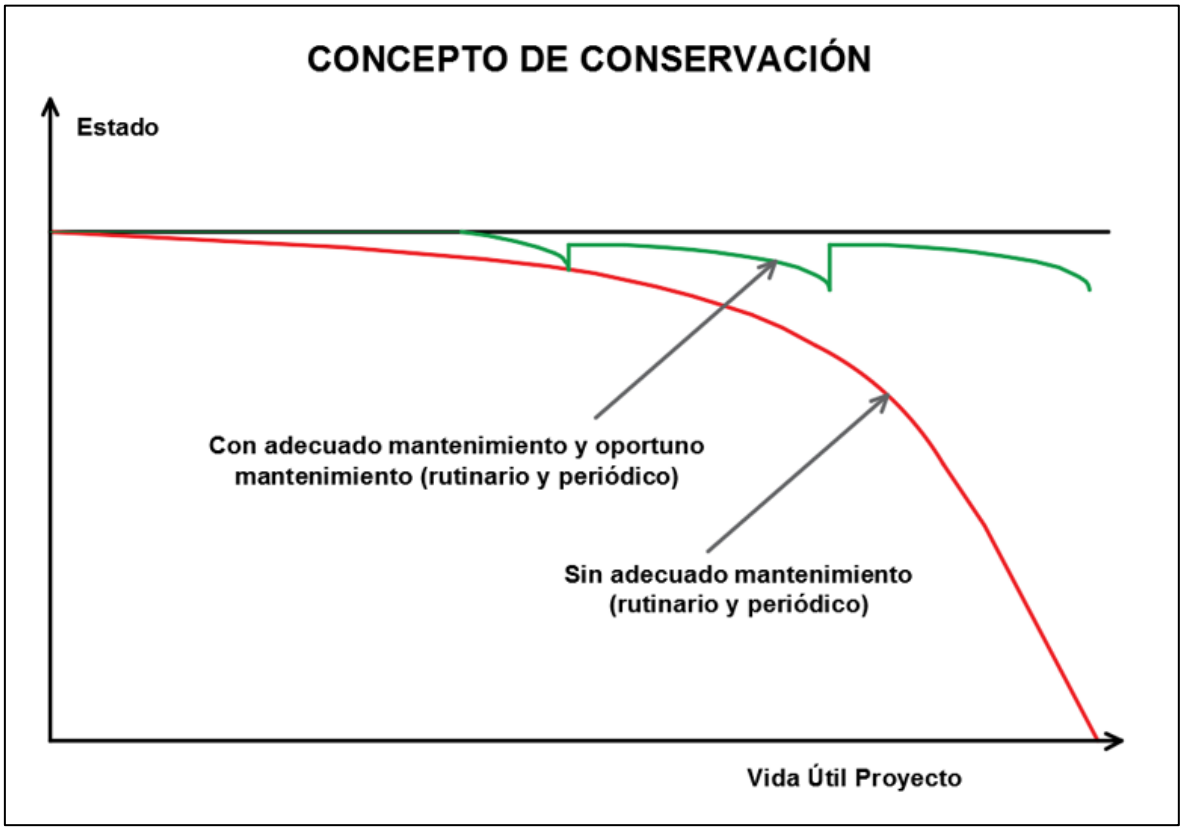


Figura 2. Concepto de conservación
Fuente: Experiencia de Conservación de Carreteras - 2011

Existen publicaciones realizadas por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL Naciones Unidas), organismo encargado de realizar evaluaciones de la problemática latinoamericana que van acompañadas de propuestas que ciertos países

consideraron para implementar en un sistema de gestión de conservación vial por Niveles de Servicio.

En el año 2002 mediante Decreto Supremo Nº 033-2002-MTC se crea el Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional- Provias Nacional, siendo esta la unidad ejecutora, de carácter temporal y con autonomía técnica, administrativa y financiera con el fin de preparar, gestionar, administrar, rehabilitar y mantener la infraestructura de la Red Vial Nacional. Responsable de la ejecución de obras del programa de inversiones que corresponden a la construcción.

En ese contexto, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en el año 2007 crea el programa de infraestructura vial “Proyecto Perú” en el ámbito del Acuerdo Nacional, el cual se encarga de reducir el déficit existente de infraestructura y propone incrementar la productividad y la competitividad. Actualmente el programa está en la Fase II brindando resultados positivos comprobados, con 8000 kilómetros de carreteras intervenidas que conforman la Red Vial Nacional a través de contratos de conservación vial, mejoramiento y rehabilitación cuyos plazos varían entre tres y cinco años, la información detallada líneas arriba se encuentra publicada en la página oficial de Provias Nacional con el título de “Presentación Programa de Infraestructura Vial Proyecto Perú”.

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2011) la relación entre conservación y mejoramiento o rehabilitación es inversamente proporcional, la cantidad de carreteras a intervenir bajo la modalidad de mejoramiento y rehabilitación es menor a medida que los programas de conservación vial son mayores. El documento “Experiencia de Conservación de Carreteras: Administración Directa - Contratos por Niveles de Servicio” menciona que la intervención oportuna de las vías conlleva a que estas se mantengan en óptimo estado y es ratificado por la figura 2 de la presente investigación.

El punto más resaltante de los contratos de gestión y conservación por Niveles de Servicio, es la modalidad nueva en la que el contratista no se limita al cumplimiento y ejecución de obras, sino que también asume riesgos y garantiza que los tramos en conservación y mejoramiento se mantengan en Niveles de Servicio adecuados. La gestión vial es la actividad para conservar la red vial en un estado óptimo y promover su desarrollo a futuro, considerando ciertos requerimientos que se establecen al inicio. De esta manera se procura realizar y desarrollar nuevas tecnologías que mejoren la duración y ejecución de las actividades planeadas.

En lo que se refiere a estabilización de suelos, es una técnica que tiene como principal función mejorar las propiedades geotécnicas de los materiales mediante la incorporación de algún conglomerante, aditivo o agente estabilizador en general para permitir el aprovechamiento de suelos de la traza de deficiente calidad o de suelos de cantera cercanos al sitio en donde se planea conformar la capa granular.

El Instituto Español del Cemento (2013) presentó los beneficios de la estabilización de suelos con cemento, entre ellos el beneficio más resaltante es el del incremento de la capacidad portante de la capa estabilizada, aumentando la resistencia a las cargas que el afirmado recibe, por ende, la vida útil del pavimento aumenta.
Del mismo modo, se asegura la reducción de la sensibilidad al agua y la helada y el incremento de su resistencia a la erosión.

Económicamente se reducen los plazos de ejecución debido a que la estabilización se logra con equipos de alto rendimiento, logrando disminuir espesores de capas frente a soluciones de suelos que no han sido tratados. Existen ciertas limitaciones a la hora de estabilizar suelos con cemento, los cuales están ligados a factores climatológicos; si hay presencia de temperaturas altas existe un riesgo de desecación del material el cual tiende a alterarse desfavorablemente y perjudica las propiedades de hidratación del cemento.
De igual manera en el escenario opuesto, cuando hay presencia de temperaturas menores a 5°C no es recomendable extender el material ya que la ganancia de resistencia es muy baja y en algunos casos inexistente, paro lo cual se tendrá que aplicar cementos con presencia de adiciones y así obtener resistencias mayores, incrementando de costos de producción.

De acuerdo al American Concrete Institute (ACI), se define al Suelo Cemento como “Un material que se produce mezclando, compactando y curando una combinación de suelo/agregado, cemento Portland, agua y posiblemente adiciones incluyendo puzolanas, para formar un material endurecido con propiedades específicas de ingeniería (ACI 230.1R)”.

Almeida F. y Sánchez E. (2011) explicaron la aplicación de las emulsiones asfálticas en distintas áreas de construcción vial. Siendo el más importante, la obtención de materiales de alta resistencia para capas granulares. Asimismo, mencionan que la finalidad de estabilizar un suelo con emulsiones asfálticas es la de reducir los costos de construcción y si se consideran los aspectos sociales y sostenibles, la disminución de emisión de dióxido

de carbono producto del transporte de material desde los puntos en donde se explotará material de cantera para conformar las capas granulares. Considerando que el uso de material selecto de cantera se realiza cuando se determina que el material existente no cumple con los ensayos ejecutados para evaluar si es adecuado.

Además, las emulsiones asfálticas se trabajan a temperatura ambiente y no requieren ser calentadas estas para poder manipularlas, reduciendo tiempos no productivos e incidentes o accidentes de trabajo.
La finalidad del estabilizado por medio de emulsiones es dotar al suelo de una alta resistencia mecánica que dure en el tiempo, considerando que es una alternativa ecológica ya que el agua es el único componente liberado hacia el medio ambiente.

Tipos de pavimentos.

Pavimentos flexibles.

Un pavimento flexible es aquel que está conformado por una capa o carpeta asfáltica, entendiendo por capa o carpeta asfáltica, una mezcla de agregados gruesos o finos (zarandeados y triturados) con material bituminoso. La mezcla producida es compacta y al mismo tiempo plástica. El uso de este tipo de pavimentos generalmente se realiza en zonas de abundante tráfico.

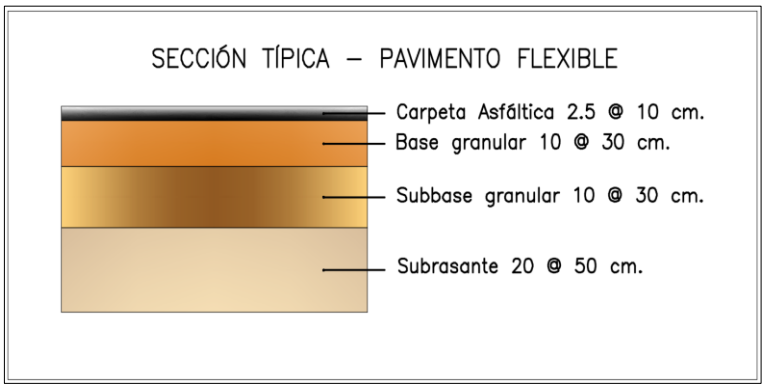


Figura 3. Sección típica del pavimento flexible
Fuente: Adaptado del Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”

Usualmente las capas de estas estructuras se colocan en orden descendente de acuerdo a la capacidad de carga, considerando que la capa superior es la que mayor capacidad posee; asimismo estas están conformadas por una capa de rodadura asfáltica, base, subbase y subrasante.

Pavimentos rígidos.

Un pavimento rígido es aquel que está conformado por una losa de concreto simple o armado, se apoya directamente sobre una base o subbase de material granular.
Debido a la alta rigidez del concreto, la losa absorbe considerablemente los esfuerzos que se aplican directamente en la estructura del pavimento producto del tráfico de vehículos, distribuyendo las cargas de las ruedas y produciendo tensiones muy bajas en la subrasante.

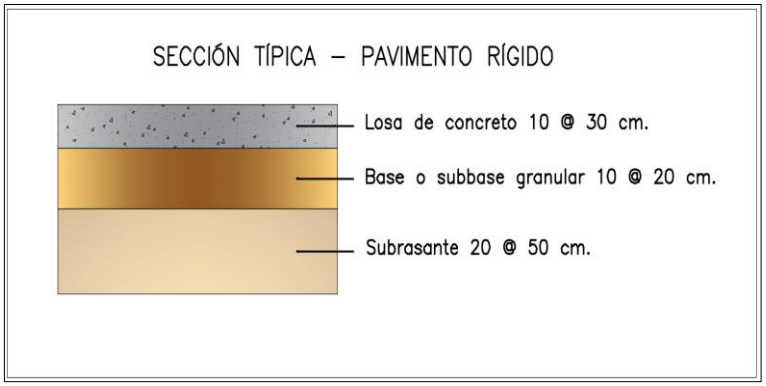


Figura 4. Sección típica del pavimento rígido
Fuente: Adaptado del Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”

Pavimentos semirrígidos.

Un pavimento semirrígido es aquel en el que se combinan los dos tipos de pavimentos mencionados anteriormente; se podría decir que es un pavimento que posee ambas características y generalmente las capas rígidas están ubicadas en la zona inferior y las capas flexibles en la zona superior de la estructura.

La distribución de esfuerzos de cada estructura varía de acuerdo a las capas que posean, siendo las de mejor desempeño las estructuras rígidas, pero cabe mencionar que los costos de construcción son más elevados que una estructura flexible.

A continuación, se presenta la figura 5 en donde se aprecia la distribución de los esfuerzos producidos por las llantas de los vehículos (cargas puntuales) en cada estructura.

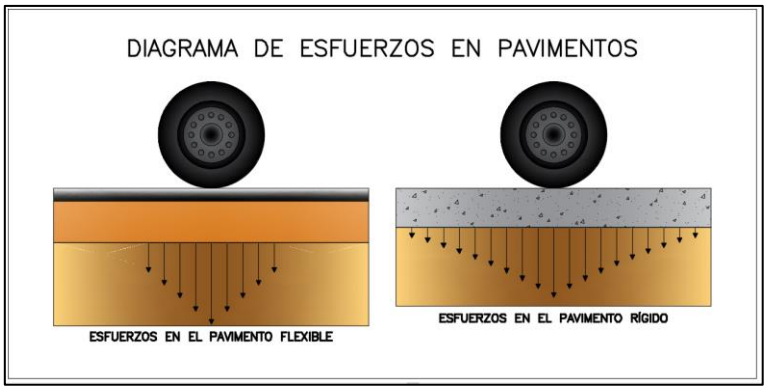


Figura 5. Diagrama de esfuerzos en pavimentos
Fuente: Adaptado del Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”

Materiales de base y subbase

Los materiales utilizados para la construcción de las capas del pavimento generalmente provienen de canteras selectas de origen coluvial o aluvial, asimismo se pueden reutilizar los suelos de la plataforma existente mediante técnicas de reciclado in-situ o en planta.

Por lo general, el parámetro de evaluación para determinar si una base o subbase es adecuada es el Valor Relativo de Soporte o CBR (California Bearing Ratio por sus siglas en inglés), el cual determina la resistencia al corte de los suelos.

Los valores mínimos exigidos para una subbase y base son de 40% y 80% respectivamente, siempre y cuando el tráfico sea menor a un millón de ejes equivalentes, caso contrario el CBR mínimo de una base es 100%; el ensayo de CBR es referido al 100% de la Máxima Densidad Seca del suelo y una penetración de carga de 0.1” (2.5mm).

Por otra parte, es recomendable que el módulo de elasticidad de las bases que soportan carpetas asfálticas sea semejante al de esta última; por tal motivo, es recomendable estabilizarlas usando conglomerantes tales como cemento Portland, cal hidratada o cemento asfáltico; ya que, si la capa granular sufre deformaciones, la carpeta puede fisurarse o agrietarse de forma prematura.

Estabilización de materiales.

Existen circunstancias en las que los materiales de cantera cercanos al lugar de construcción no cumplen con los requisitos establecidos para ser utilizados en las distintas

capas de la estructura del pavimento; en consecuencia, se precisa realizar otro tipo de intervenciones entre las cuales están:

- Disgregación.
- Zarandeado.
- Trituración.
- Estabilización.

Las primeras tres intervenciones tienen como objetivo principal reducir el tamaño del agregado para que cumpla la granulometría establecida. De la misma manera la última intervención brinda características aceptables que el suelo no posee o en caso las posea, mejorarlas.
Las propiedades más resaltantes que la estabilización de suelos pretende mejorar son como sigue:

- Estabilidad volumétrica.
- Resistencia mecánica.
- Permeabilidad.
- Durabilidad.
- Compresibilidad.

Existen distintos métodos para estabilizar suelos, entre los cuales están:

- Mezclado con otros suelos o la variación de su granulometría.
- Adición de cal hidratada.
- Adición de cemento Portland.
- Adición de asfalto.
- Adición de estabilizadores químicos o productos diversos (sales, ácidos inorgánicos y/o polímeros).

La presente investigación se enfocó puntualmente en dos tipos de estabilización; la primera mediante la adición de cemento Portland y la segunda mediante la adición de asfalto, resaltando que la incorporación de asfalto no fue directa; es decir, se usaron emulsiones asfálticas cuyo residuo asfáltico fue de 60% respecto al peso total de la emulsión, el 40% restante representó el agua.

Una base negra es aquella que se produce producto de la mezcla de agregado con cualquier tipo de material asfáltico, con el fin de mejorar las propiedades mecánicas,

granulometría, estabilidad. resistencia, para que pueda soportar condiciones adversas a las que estará expuesta.

Evaluación de canteras.

Las canteras son fuentes de material pétreo de origen coluvial o aluvial para el uso en obras de ingeniería. Identificarlas y evaluarlas son acciones determinantes para conocer su viabilidad, por tal motivo existe un proceso de evaluación que permite conocer las características geomecánicas, calidad, potencia, rendimiento, formas de explotación, disponibilidad, acceso, ubicación, entre otras.

La finalidad de evaluar canteras es definir las zonas más pertinentes para la explotación de materiales considerando que estas sirvan para la construcción de capas del pavimento y tomando en cuenta; las características geomorfológicas de las unidades de acumulación, extensión, existencia de posibilidad de reposición, facilidad de explotación y minimizar las distancias de acarreo.

Complementariamente, se debe evaluar un plan adecuado de utilización y contingencias con intervención directa de las áreas involucradas (geotecnia, geología, pavimentos, medio ambiente, etc.) y considerando que la explotación debe realizarse en épocas de verano o estiaje.

Pruebas de clasificación para materiales pétreos y suelos.

Existen diversas pruebas para la clasificación de los materiales pétreos y suelos que son empleados en las capas del pavimento; con el fin de decidir si estos serán adecuados para el uso en las actividades de construcción de la estructura del pavimento.

Todas las pruebas realizadas siguen procedimientos definidos en el Manual de Ensayo de Materiales EM-2016, en este documento se establecen los lineamientos adecuados, materiales, equipos y cálculo de los resultados para la presentación de los certificados de calidad.

La importancia de realizar las pruebas de clasificación radica en conocer las características geológico-geotécnicas y de esta manera poder definir las acciones de intervención o solución que mejor se ajusten a las condiciones existentes.

Es adecuado tener en cuenta que la variabilidad e incertidumbre siempre está presente, por ende, se deben prever acciones para mitigarlas durante las siguientes etapas:

- Exploración.
- Muestreo.
- Análisis.
- Modelación (en caso requiera).
- Cálculo.
- Interpretación de datos.

A continuación, se presentan los ensayos más relevantes realizados, no obstante, no son los únicos, ya que existen ensayos complementarios.

Granulometría.

Mediante la granulometría se obtiene la distribución para cada tamaño de partícula presente en las muestras de suelo.
Para obtener dicha distribución de tamaños, se usan mallas o tamices normalizados y numerados, los cuales son dispuestos en orden decreciente.

El proceso consiste en hacer pasar el material por todos los tamices, pesar las partículas retenidas en cada malla y obtener el porcentaje retenido acumulado respectivo en función del peso seco total, para finalmente presentar los resultados expresados en porcentaje pasante por cada malla.

La figura 6 muestra una curva granulométrica típica que se obtiene a partir de los datos tabulados de aberturas de malla y porcentaje pasante por cada una de estas.

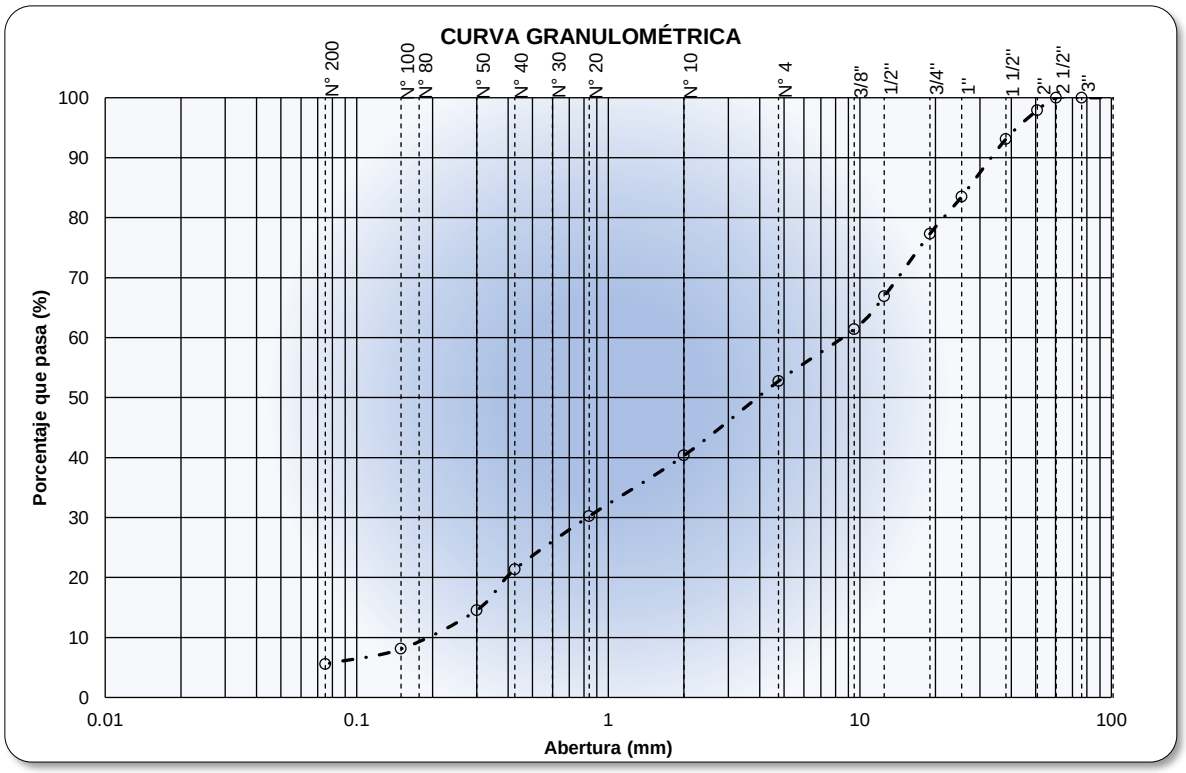


Figura 6. Curva granulométrica típica del material ensayado
Fuente: Elaboración propia

Límites de Atterberg.

Los límites de Atterberg o también llamados límites de consistencia se enfocan en el concepto de que un suelo de granos finos posee cuatro estados de acuerdo a la humedad que este presenta. De este modo cuando un suelo está seco, se encuentra en estado sólido. Al agregar agua parcialmente va cambiando de estados desde un estado semisólido a estado plástico, hasta llegar a un estado líquido. Los contenidos de humedad frontera son denominados límites de Atterberg.
El límite plástico y líquido sirven para poder clasificar los suelos de acuerdo al sistema SUCS o AASHTO.

La figura 7 que se muestra a continuación, muestra en el eje de las abscisas el valor del contenido de humedad que representa el Límite Líquido cuando se realiza el ensayo con la copa de Casagrande.

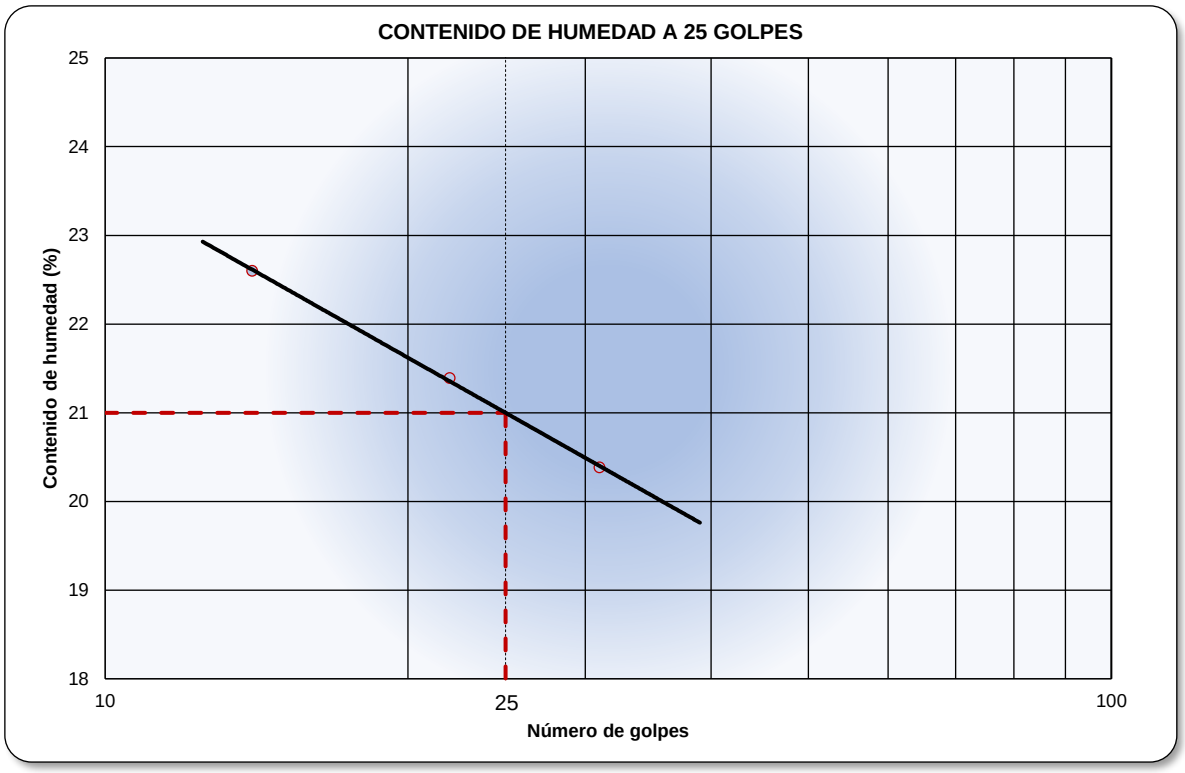


Figura 7. Recta típica para obtener el límite líquido del material ensayado
Fuente: Elaboración propia

Materia orgánica.

El contenido de materia orgánica en un suelo es un factor determinante a la hora de construir pavimentos, ya que con el paso del tiempo esta se degrada y se desvanece; dejando de ocupar el volumen inicial en la capa del suelo, consecuentemente el material empieza a presentar vacíos y tiende a producir fallas por asentamiento.
Por tal razón, no es recomendable utilizar suelos con altos contenidos de material orgánico.

Desgaste.

Durante el diseño de mezclas y producción de suelos granulares, es importante conocer las propiedades físicas más relevantes; en los agregados gruesos una propiedad que no puede ser omitida es el desgaste o resistencia a la abrasión, ya que mediante este parámetro se conoce la durabilidad del material cuando este es sometido al roce continuo entre partículas con esferas de acero. El valor admisible de desgaste máximo varía de acuerdo al tipo de estructura que se realizará (terraplén, subbase, base, concreto hidráulico, entre otros).

Equivalente de arena.

Las capas de la estructura del pavimento tienden a disminuir su resistencia cuando estas poseen grandes cantidades de arcilla y limos contaminantes, debido a que son materiales finos susceptibles al agua que además terminan dañando al pavimento. El método sirve para determinar la relación entre la altura de la arena y la altura de la arcilla después de un periodo de sedimentación.

Forma de la partícula.

La forma y la textura de las partículas cumplen un rol de suma importancia durante el uso de las mismas, los materiales que poseen cantidades elevadas de partículas planas y alargadas son susceptibles a quebrarse cuando se les aplica una fuerza externa mínima; es por eso que se recomienda usar materiales con formas irregulares que tengan un área superficial adecuada para que se puedan unir correctamente con el cemento asfáltico o cualquier otro aglomerante y lograr la resistencia más elevada posible.

Textura de la superficie.

La trabajabilidad de un material estabilizado se ve afectada por la textura del agregado, factor que influye en la resistencia final del producto terminado y las características de resistencia al deslizamiento

Absorción.

La capacidad de los agregados para absorber agua o asfalto es un parámetro decisivo a la hora del diseño debido a que agregados porosos requieren cantidades más elevadas de asfalto a diferencia de uno menos poroso. Por ende, este criterio es determinante durante la evaluación de los agregados pétreos existentes en la plataforma o selectos de cantera.

Proctor Modificado.

Mediante la aplicación de una determinada energía al suelo, este se compacta causando la variación de la densidad, en función al contenido de humedad que el suelo posee. Este método actualmente es el más usado y confiable para obtener valores máximos de densidad seca y óptimos contenidos de humedad de un suelo.

Inicialmente sólo existía el ensayo normalizado de Proctor Estándar, pero este fue actualizado, puesto que las cargas que los suelos soportaban eran mayores y se consideró pertinente realizar una modificación que simule de manera más precisa el mismo efecto a menor escala.

La variante de este ensayo (Proctor Modificado), que es usado generalmente en obras geotécnicas radica en la energía de compactación aplicada, la cual cambia de acuerdo a cada suelo ensayado, modificando:

- Tamaño del molde.
- Cantidad de golpes aplicados.
- Número de capas.
- Peso del pisón.
- Altura de caída del pisón.

Cabe resaltar que existen tres métodos empleados en ambos tipos del ensayo de Proctor, dependiendo de la disposición de las partículas.

En la figura 8 se muestra la curva típica que describe los valores de densidad seca obtenidos para cada humedad de compactación establecido.

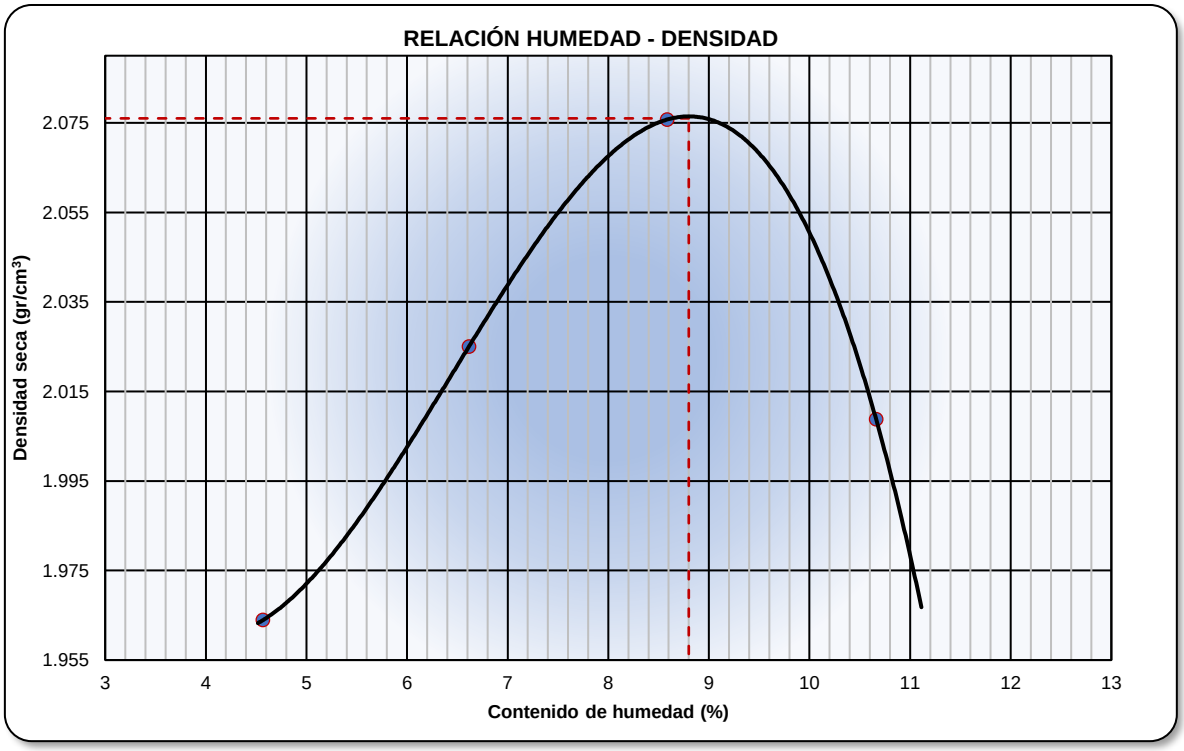


Figura 8. Parábola típica de relación humedad-densidad seca del material ensayado
Fuente: Elaboración propia

La siguiente fórmula describe la energía de compactación aplicada.

$$Y = \frac{n * N * P * H}{V}$$

Donde:

- *Y* = Energía de compactación aplicada en el suelo $(\frac{\text{pie}*\text{lbf}}{\text{pie}^3})$,
- *n* = Número de capas a ser compactadas en el molde,
- *N* = Número de golpes aplicados por capa,
- *P* = Peso del pisón (lbf),
- *H* = Altura de caída del pisón (pie),
- *V* = Volumen del molde (pie^3).

Como ya se indicó previamente, el método de Proctor Modificado simula de manera más adecuada las cargas de los vehículos pesados, por otra parte, el término "compactación" es usado cuando se hace alusión a un medio por el cual se pretende mejorar artificialmente las propiedades mecánicas de un suelo (densificar), aumentando la resistencia y capacidad de carga del material, reduciendo los vacíos e incrementando el comportamiento esfuerzo-deformación del suelo. El grado de compactación de un suelo es la relación entre la Máxima Densidad Seca obtenida en campo y la Máxima Densidad Seca obtenida en laboratorio, expresado en porcentaje.

Valor Relativo de Soporte (CBR).

El Valor Relativo de Soporte o CBR es el ensayo que permite analizar y evaluar la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de densidad y humedad controladas, aplicando una carga que usa un pistón metálico de 0.5 pulgadas cuadradas con el fin de penetrar la superficie del suelo compactado en un molde metálico a una velocidad constante.

Este parámetro es definido como la fuerza requerida para que un pistón normalizado penetre a cierta profundidad, expresado en porcentaje de fuerza necesaria para que el pistón penetre a esa misma profundidad y con la misma velocidad un molde normalizado con un material patrón chancado.

La figura 9 muestra las curvas elaboradas a partir de las lecturas de carga aplicada en la prensa CBR vs. Penetración para distintas energías de compactación (56, 25 y 12 golpes).

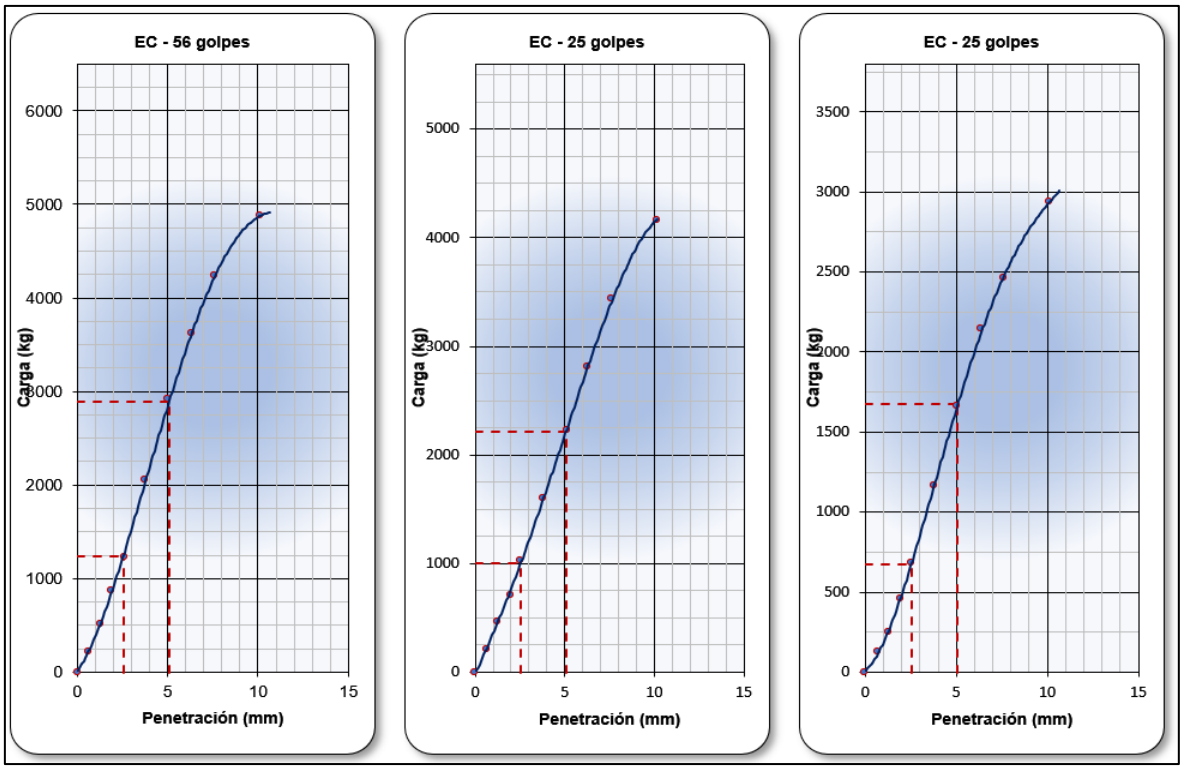


Figura 9. Curvas típicas de relación penetración-carga a 56,25 y 12 golpes del material ensayado
Fuente: Elaboración propia

De la figura 9 se obtienen en total seis valores; los cuales son las cargas leídas para 0.1” y 0.2” de penetración y para los tres tipos de energía.

Finalmente se grafican estos seis valores con las tres densidades secas obtenidas del ensayo de CBR para cada energía de compactación como se muestra en la figura 10 y se reporta el valor de CBR al 100% o 95% de la Máxima Densidad Seca, dependiendo de la capa que se esté analizando.

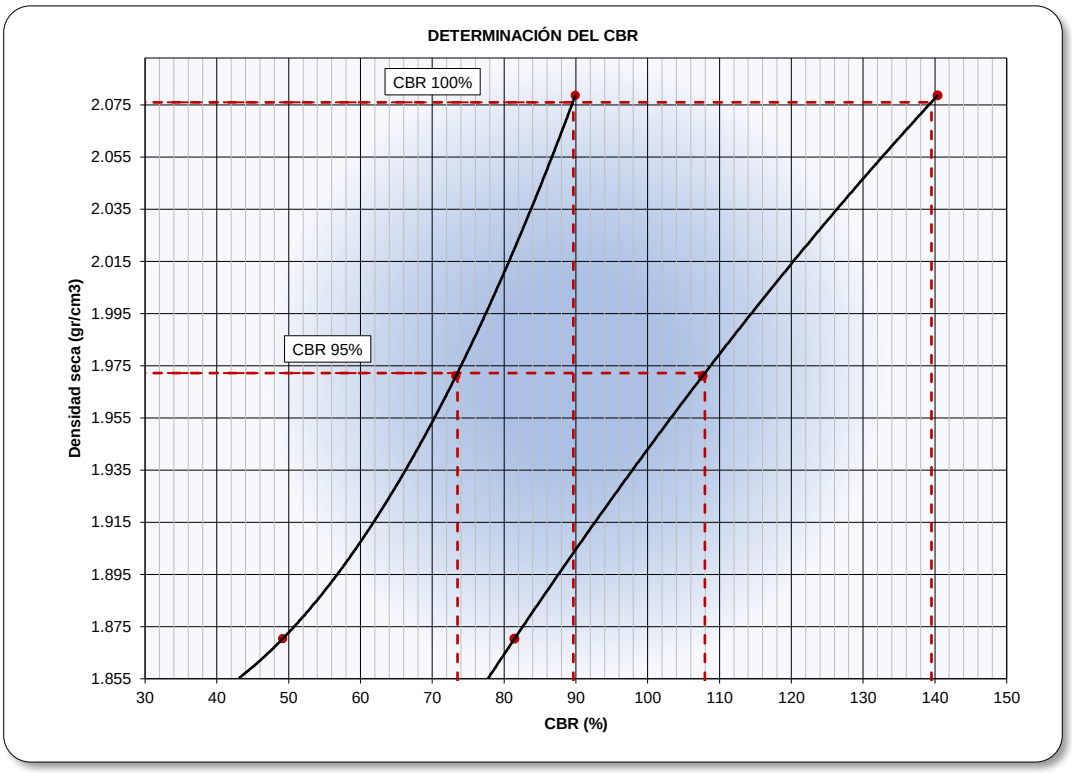


Figura 10. Curvas típicas de relación CBR-densidad seca del material ensayado
Fuente: Elaboración propia

Estabilización y rehabilitación de pavimentos.

La rehabilitación de pavimentos se realiza posteriormente a la identificación de una necesidad de acción. Identificado el problema se recolecta la información disponible realizando una investigación detallada mediante juicio experto para determinar la raíz del deterioro. El proceso de diseño de estabilización y rehabilitación de pavimentos fundamentalmente involucra cuatro variables indispensables tales como el análisis de tráfico, identificación de las soluciones, diseño de mezclas y el diseño de pavimentos.
Considerando estas variables, es de vital importancia identificar dos reglas de oro que se aplican a todo tipo de actividades de rehabilitación
La primera regla enuncia que debe existir un entendimiento claro de lo que las entidades o clientes esperan de la vía rehabilitada o estabilizada, por ende, se requiere responder tres preguntas claves:

- ¿Qué propiedades funcionales se esperan?
- ¿Es requerida una vida útil de diseño a corto o largo plazo?
- ¿Cuál es el nivel de financiamiento brindado para el mantenimiento rutinario de la estructura?

La segunda regla es realizar los estudios necesarios para obtener información sobre el desempeño actual de la estructura existente y evaluar su deterioro progresivo.

A continuación, se presenta un diagrama de flujo que ilustra la metodología usada en la presente investigación, en el cual se esquematizan los métodos y procedimientos usados.

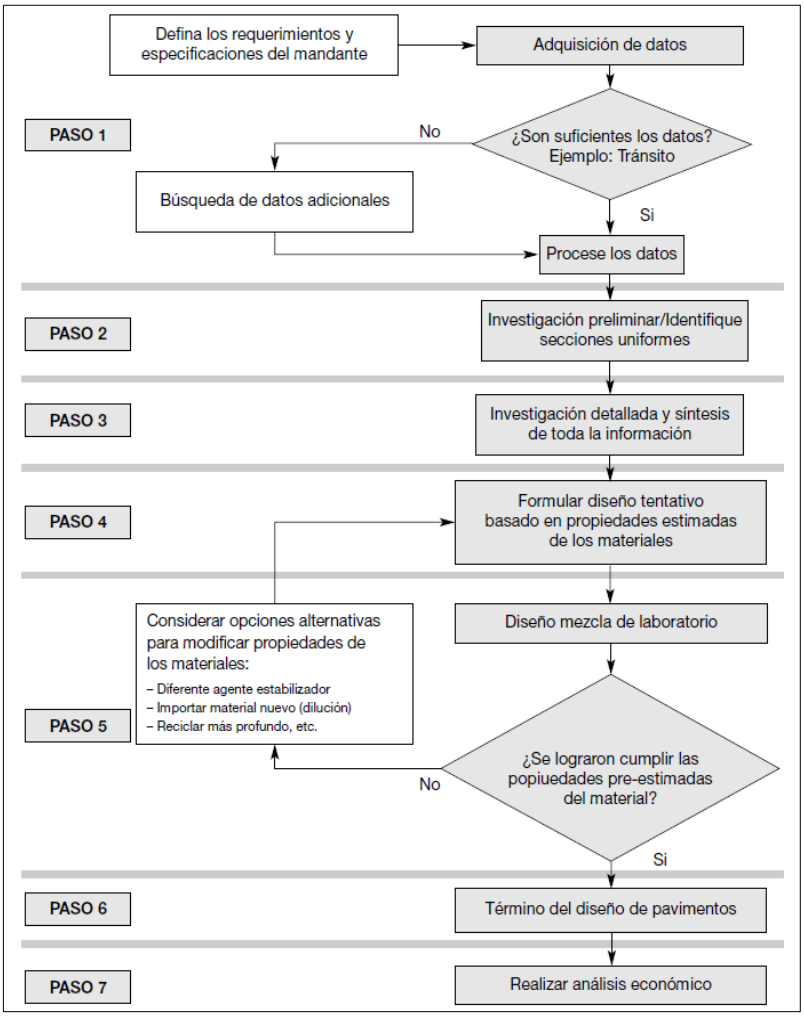


Figura 11. Diagrama de flujo del proceso de evaluación técnico económica
Fuente: Manual de Reciclado en Frío – 2004

Reciclado en frío.

El reciclado en frío se puede ejecutar en dos escenarios distintos: en planta e in-situ. El proceso de reciclar en planta inicia con el transporte del material recuperado de una estructura existente que previamente se determinó como inadecuada; el material es acopiado en un depósito para que posteriormente este sea reutilizado en una planta mezcladora continua con la adición de algún agente estabilizador

Análogamente, el reciclado in-situ se logra mediante el uso de una máquina recicladora móvil, la cual por medio de un tambor rotatorio que posee picas metálicas tritura la estructura existente a una profundidad previamente determinada en el diseño.

La estabilización y rehabilitación de suelos in-situ es la opción más económica frente a la que se realiza en planta, pero las desventajas radican en el control de los materiales de entrada (in-situ el control es limitado), calidad de mezclado (en planta es posible modificar el tiempo de mezclado) y la posibilidad de acopiar el material para ser utilizado cuando sea requerido (particularmente en suelos tratados con asfalto espumado).

Maquinaria empleada.

Para lograr la estabilización de un suelo es necesario que este sea mezclado con algún agente estabilizador, los cuales para esta investigación son el cemento Portland y la emulsión asfáltica.

Cuando se pretende usar el material existente y trabajarlo in-situ con algún agente estabilizador añadido, se realiza la técnica de reciclado.
En ciertos escenarios cuando se exige usar material de canteras selectas y no se cuenta con una planta mezcladora, previamente se realiza el tendido del material selecto en la vía y el rodillo liso realiza un ciclo de compactación para mantener la humedad.
Seguidamente se realiza el mismo proceso de reciclado estándar y se cumple el diseño establecido (100% del material selecto o mezcla de este último con material existente).
El tren de trabajo in-situ se puede configurar de distintas maneras, dependiendo del agente estabilizador y la aplicación a realizar.

A continuación, se muestra el tren de reciclado típico, compuesto de una recicladora móvil WR 240, la cual ejerce la tracción en el tren (empuja y tira de las máquinas conectadas a esta mediante lanzas o barras de empuje), una cisterna de agua y otra de emulsión (depende de la solución a aplicar), una motoniveladora y los rodillos vibratorios y neumáticos.

El material que es expulsado de la recicladora se compacta con un rodillo vibratorio liso en el ancho de 2.40 metros (ancho máximo de reciclado) para obtener una densidad uniforme, posteriormente ingresa la motoniveladora para perfilar la capa y finalmente ser compactada con el uso de rodillos vibratorios y neumáticos.

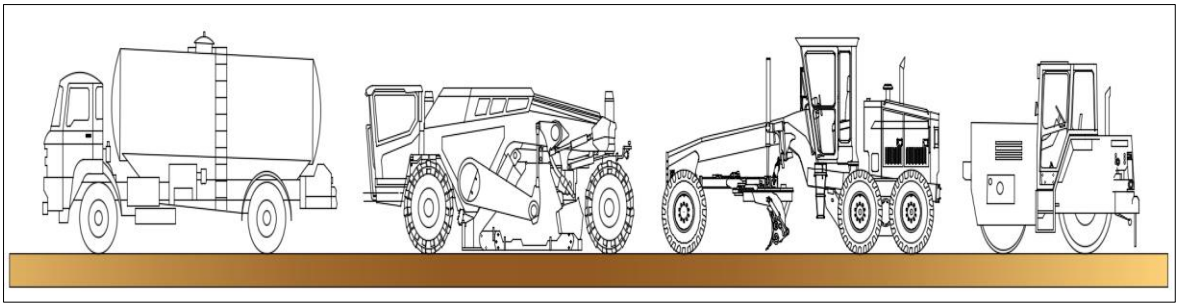


Figura 12. Tren de reciclado convencional
Fuente: Elaboración propia

En el caso de la estabilización en planta, la maquinaria usada varía ya que mediante una planta mezcladora (KMA 220 para la presente investigación) el material reciclado o selecto de cantera es mezclado de manera continua y cargado en volquetes; cuando el material está estabilizado se transporta a la zona en donde será colocado y se procede a descargarlo en una esparcidora de suelos o en el caso de que no exista una, ser descargado a la vía y mediante una motoniveladora ser extendida y perfilada para que ingresen los rodillos a compactar la capa.

Cabe resaltar que la planta mezcladora KMA 220 es la primera máquina en Perú y segunda en Sudamérica, la cual brinda como principal característica realizar mezclas con asfalto espumado, pero por su versatilidad permite estabilizar y realizar mezclas de suelos con cal hidratada, cemento hidráulico y emulsiones asfálticas

Dentro de este marco es importante recalcar que la planta produce 220 toneladas de material por hora (producto final) con carga directa a volquetes, superando el rendimiento de plantas de suelo y asfalto convencionales.

La figura 13 muestra una vista aérea de la planta KMA 220 durante la producción de material estabilizado con ambas soluciones.



Figura 13. Planta mezcladora KMA 220
Fuente: Elaboración propia

Diseño del material granular estabilizado con cemento Portland.

El agente estabilizador más usado es el cemento hidráulico debido a su disponibilidad, propiedades que provee y el historial que posee como material de construcción. La estabilización con cemento hidráulico depende mucho del enfoque de diseño, ya que el principal motivo por el cual se usa es el de aumentar la resistencia del material estabilizado.

El producto estabilizado es medido mediante el ensayo de Resistencia a la compresión no confinada o Unconfined Compressive Strenght (UCS por sus siglas en inglés), el cual es usado a nivel mundial por su gran aceptación y por ser criterio de diseño fundamental.

La resistencia de un suelo estabilizado con cemento depende fundamentalmente de la cantidad de cemento que se agrega, el material a estabilizar y la densidad del material compactado.

Por lo general, la resistencia aumenta linealmente en función del contenido de cemento, considerando que todos los materiales tratados con cemento son propensos a sufrir agrietamiento debido a las tensiones de tracción que se presentan por la retracción y el tránsito.

Es por tal motivo que, durante el diseño, las briquetas Suelo Cemento son curadas en una cámara húmeda o en su defecto selladas herméticamente y enterradas en arena húmeda durante 7 días.

Tipo y calidad de cemento.

Como regla general, el uso de cementos con granulometría muy fina y propiedades de endurecimiento veloz no son adecuados; por otra parte, el cemento tiene una vida de almacenamiento determinada y no debe ser usado después de 3 meses de su fecha de fabricación. Para comprobar la edad o cualquier otro parámetro de calidad del insumo se deberán obtener muestras y así evaluar la resistencia en laboratorio.

Procedimiento de diseño.

El primer paso a considerar es el muestreo adecuado de material, las capas de la estructura del pavimento deben ser almacenadas por separado y se requieren 150 kilogramos de material por capa aproximadamente.

Se realizan los ensayos de clasificación que se mencionaron en la subsección “Clasificación de los materiales pétreos y suelos”, enfatizando la determinación de la granulometría (ASTM C 136) y el índice de plasticidad (ASTM D 4318) del material muestreado.

En caso sea necesario mezclar el material muestreado entre las diferentes capas para obtener una capa combinada que sea representativa de material reciclado o material selecto añadido, estos deben ser expresados en porcentaje en proporción en peso, por ende, los materiales son mezclados en proporción al espesor de capas y a la densidad del material in-situ

El segundo paso una vez obtenidos los porcentajes de cada componente de la muestra total a diseñar, es la reconstitución de muestras representativas que se obtuvieron a partir de la granulometría. Los tamices que intervienen en este proceso son: ¾” y N°4.

La muestra usada para diseño se reconstituye en función del porcentaje retenido en la malla N° 4, la cual divide el agregado grueso del fino, asimismo el material que se retiene

en la malla de ¾" es reemplazado por material que pase por este, pero que se retenga en la N°4.

El tercer paso es la determinación de la Máxima Densidad Seca y el Óptimo Contenido de Humedad, por tal motivo se procede a pesar la cantidad de cemento hidráulico para cinco muestras de 6 kilogramos cada una

Cabe mencionar que la cantidad de cemento requerida es un parámetro expresado en porcentaje del peso seco del material a estabilizar y si no existe historial de ensayos o diseños previos se recomienda usar valores de 2% a 3% y 4% a 6% para capas de subbase y base respectivamente; considerando que se usa una proporción más baja de cemento si el material retenido en la malla N°4 es mayor a 50% y caso contrario si el material retenido es menor a 50% conviene usar proporciones más altas.
Inmediatamente hallada la cantidad de cemento a añadir, este se mezcla con el material a estabilizar antes de agregar agua.

Añadido y mezclado el agua, el material global se almacena durante una hora en contenedores herméticos y es mezclado cada quince minutos (generalmente en bolsas de polietileno) para evitar la pérdida de humedad y simular las condiciones del terreno.
Finalmente se procede a determinar la Máxima Densidad Seca y el Óptimo Contenido de Humedad del material estabilizado de acuerdo a los lineamientos establecidos en el procedimiento del ensayo Proctor Modificado (ASTM D 1557).

El cuarto paso durante el diseño es la fabricación de briquetas para ensayarlas a compresión no confinada, por tal motivo se requiere determinar la masa seca de la muestra usando la siguiente ecuación:

$$M_{seca} = \frac{M_{húmedo}}{(1 + \frac{W_{muestra}}{100})}$$

Donde:

- M_{seca} = Masa seca de la muestra (gr),
- $M_{húmedo}$ = Masa húmeda de la muestra (gr),
- $W_{muestra}$ = Contenido de humedad de la muestra (%).

Por su parte, la siguiente ecuación permite determinar la cantidad requerida de cemento a agregar a la muestra:

$$M_{cemento} = \left(\frac{C_{requerido}}{100}\right) * M_{muestra}$$

Donde:

- $M_{muestra}$ = Masa seca de la muestra (gr),
- $C_{requerido}$ = Cemento requerido (%),
- $M_{cemento}$ = Masa de cemento requerido (gr).

Una vez hallada la cantidad de masa seca de la muestra, masa de cemento requerido a añadir y el Óptimo Contenido de Humedad se procede a determinar la masa de agua a añadir, por tal motivo se usan las dos ecuaciones que se presentan a continuación:

$$W_{agua\ a\ adicionar} = W_{OCH} - W_{muestra}$$

$$M_{agua\ a\ adicionar} = \left(\frac{W_{agua\ a\ adicionar}}{100}\right) * (M_{seca} + M_{cemento})$$

Donde:

- $W_{agua\ a\ adicionar}$ = Agua a adicionar (%),
- W_{OCH} = Óptimo Contenido de Humedad de la muestra (%),
- $W_{muestra}$ = Contenido de humedad de la muestra (%),
- $M_{agua\ a\ adicionar}$ = Masa de agua a adiciona (gr),
- M_{seca} = Masa seca de la muestra, (gr),
- $M_{cemento}$ = Masa de cemento requerido (gr).

El quinto paso es mezclar los tres componentes de diseño (suelo, cemento y agua) hasta uniformizar el material y dejar reposar por una hora para iniciar con el moldeo de las briquetas.

Muestrear material durante el proceso de compactación cada briqueta para obtener el contenido de humedad y repetir el proceso para un mínimo de tres contenidos de cemento diferentes (mínimo 9 briquetas por diseño).

Como procedimiento final de este quinto paso, se desmoldan las briquetas desmontando el molde partido o en caso se usen moldes comunes usar un extractor de briquetas para evitar el daño de estas. Una vez extraídas, se registra la masa y el volumen de cada

briqueta y de esta manera se obtiene la densidad seca con la siguiente ecuación que se presenta a continuación:

$$\rho_{seca} = \left(\frac{M_{briqueta}}{V_{briqueta}}\right) * \left(\frac{100}{W_{briqueta} + 100}\right) * 1000$$

Donde:

- ρ_{seca} = Densidad seca $(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3})$,
- $M_{briqueta}$ = Masa de la briqueta (gr),
- $V_{briqueta}$ = Volumen de la briqueta (cm^3),
- $W_{briqueta}$ = Contenido de humedad de la briqueta (%).

El sexto paso es el curado de las briquetas estabilizadas durante 7 días en una cámara húmeda manteniendo una humedad relativa entre 95% y 100%, y una temperatura entre 20 y 25°C; o en su defecto colocar las briquetas en bolsas herméticas y enterrarlas en arena húmeda.

Finalmente, el sétimo paso consiste en determinar el óptimo contenido de cemento. Transcurrido los 7 días, sacar las briquetas y sumergirlas en agua durante 4 horas previamente a ser ensayadas a compresión no confinada. Los valores de resistencia obtenidos son promediados omitiendo resultados dispersos producto de algún daño a las briquetas antes de ser ensayadas; el contenido óptimo de cemento que se obtiene a partir del diseño en laboratorio es aquel que cumple con los criterios mínimos establecidos por el diseño estructural o las especificaciones técnicas del proyecto.

Diseño del material granular estabilizado con emulsión asfáltica.

No existe un procedimiento de diseño de suelos estabilizados con emulsión que sea definitivo y existen distintas propuestas tales como:

- Método de compresión simple y pérdida de estabilidad.
- Método Argentino.
- Método Alemán.
- Método Marshall Modificado.

Se debe tener en cuenta que los métodos listados líneas arriba tienen por finalidad determinar el contenido óptimo de asfalto residual, peso volumétrico máximo y el desempeño de este en condiciones de humedad y temperatura críticas.
La investigación se realizó considerando la metodología Marshall Modificada propuesta por la Universidad de Illinois.
El procedimiento de diseño será detallado en la siguiente subsección, sin embargo, este método básicamente consiste en fabricar especímenes cilíndricos, para obtener parámetros de diseño que permitan determinar si el suelo estabilizado es adecuado para su aplicación en campo. Dichos parámetros son:

- Estabilidad seca y húmeda.
- Flujo.
- Pérdida de estabilidad.
- Peso específico.
- Porcentaje de vacíos.

Clasificación de emulsiones asfálticas.

Las emulsiones asfálticas tienen la capacidad de vencer la tensión interfacial producida entre el agua y el asfalto, logrando dispersar el asfalto en la fase acuosa.
Existen tres categorías de emulsiones asfálticas según su carga eléctrica:

- Aniónicas, partículas de asfalto cargadas negativa.
- Catiónicas, partículas de asfalto cargadas positivamente.
- No iónicas, partículas sin carga (neutras).

Las primeras dos categorías son las más utilizadas en los proyectos viales, a pesar de que se están realizando estudios y pruebas con emulsiones no iónicas que a futuro ganaran importancia a medida que la tecnología progrese.
De la misma manera, existe una segunda clasificación basada en la velocidad con que las gotas de asfalto coalescen (velocidad de rotura); las siglas provienen de las definiciones en inglés, pero su uso es normalizado a nivel mundial:

- RS, Rapid-Setting o rotura rápida.
- MS, Medium-Setting o rotura media.
- QS, Quick-Setting o rotura controlada.
- SS, Slow-Setting o rotura lenta.

De acuerdo al Instituto del Asfalto (1993), las emulsiones RS poseen la capacidad mínima o nula para mezclarse con los agregados, las emulsiones MS se mezclan con el agregado grueso mas no con el fino, las emulsiones SS y QS son las que están diseñadas para mezclarse con el agregado fino, con la diferencia que las emulsiones QS poseen un tiempo de rotura más acelerado.

Por último, las emulsiones se identifican con distintos números y letras que hacen referencia a la viscosidad y consistencia de la base del cemento asfáltico. Siendo el valor "1" una emulsión menos viscosa que un valor "2". Las letras "h" y "s" significan "hard" y "soft", las cuales se incluyen en algunos grados para especificar que la base es más consistente o más blanda.

En el mundo, se estima que el 90% de los agregados posee carga aniónica; por tal motivo, casi siempre se eligen emulsiones asfálticas catiónicas, sin embargo, es necesario realizar ensayos de compatibilidad emulsión-agregado para cerciorar que la combinación realizada es la adecuada.
La investigación presenta resultados de suelos estabilizados con emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta (CSS-1), fabricado por la empresa TDM ASFALTOS.

Procedimiento de diseño.

Cuando se diseñan mezclas asfálticas, existen diversas fórmulas para obtener el contenido mínimo tentativo de producto asfáltico, fórmulas que forman parte de ciertos métodos tales como el Método del Instituto del Asfalto o el Método de Marius Duriez.
A diferencia de los suelos estabilizados, el diseño no contempla una fórmula que permita obtener dicho valor, ya que el contenido de producto asfaltico es ínfimo en comparación al contenido de una mezcla asfáltica.

Generalmente el porcentaje de emulsión asfáltica para estabilizar suelos varía entre 3% y 6% del peso seco del suelo a estabilizar, sin embargo, la dosificación adecuada está sujeta a los resultados que se obtengan en el diseño en laboratorio y posteriormente en el tramo de prueba y a lo que se requiera o establezca en las especificaciones técnicas del proyecto.

El primer paso de este diseño se enfoca en el recubrimiento de la mezcla o también llamado revestimiento, el cual debe superar el 50%, por ende, se realizan distintas combinaciones manteniendo el contenido óptimo de residuo asfáltico elegido tentativamente, pero

variando el contenido de humedad de cobertura. Por lo general se elaboran cuatro pastones aumentando el contenido de humedad en 1% gradualmente y aquel que visualmente posee mejor recubrimiento es el que se elige. Todo este proceso da inicio una vez se haya caracterizado los agregados y la emulsión asfáltica.

El segundo paso es determinar el contenido óptimo de humedad de compactación, generalmente se elaboran cuatro muestras comenzando a partir del contenido óptimo de humedad hallado mediante el ensayo de Proctor Modificado y reduciendo el contenido de humedad de manera decreciente en 2% para cada muestra.
Posteriormente las muestras homogenizadas se compactan considerando los lineamientos establecidos en el ensayo de resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall (ASTM D 6926-27) y reposan durante 24 horas dentro del molde.

Una vez desmoldadas las briquetas se ensayan en el aparato Marshall y se grafica una parábola similar a la que se obtiene en el ensayo de Proctor Modificado donde los componentes de los ejes de abscisas y ordenadas son: contenido de humedad de compactación y estabilidad respectivamente; se elige como valor óptimo de humedad de compactación aquel que presente mayor estabilidad.

El tercer paso es la determinación y variación del contenido de asfalto residual. Con el contenido óptimo de asfalto residual elegido tentativamente, se realizan cinco muestras variando dos muestras gradualmente en 0.5% por debajo y dos muestras por encima del óptimo tentativo de asfalto residual.
Cada muestra elaborada debe ser suficiente para elaborar seis briquetas por cada contenido de asfalto residual, sumando un total de 30 briquetas.

Estas muestras se compactan y someten a un curado durante 24 horas dentro del molde a temperatura ambiente, posteriormente se colocan en un horno a una temperatura de 38°C durante 24 horas.

De las seis briquetas de cada muestra, la mitad será ensayada en el aparato Marshall (vía seca) una vez determinada la densidad especifica Bulk, mientras que la otra mitad será sometida a un ensayo de inmersión y vacío parcial (vía húmeda) para después obtener la densidad especifica Bulk y ser ensayadas de igual manera en el aparato Marshall

El cuarto paso se enfoca en el análisis e interpretación de resultados obtenidos, en donde se evalúan parámetros tales como:

- Estabilidad seca y húmeda.
- Pérdida de estabilidad.
- Flujo en 1/100”.
- Densidad específica Bulk.
- Vacíos totales.
- Humedad absorbida.
- Recubrimiento.

Una vez interpretados, se concluye el diseño con la elección del contenido óptimo de residuo asfáltico que satisfaga todos los parámetros, caso contrario se reinicia el procedimiento de diseño variando y realizando ajustes en la emulsión asfáltica (contenido de emulsificante o afinidad con el agregado).

Evaluación de la subrasante.

La subrasante por definición es la capa sobre la cual el pavimento se apoya o estructuralmente se considera como la capa superior de un terraplén (corona) y el parámetro que permite evaluar esta capa de la estructura es conocido como Módulo Resiliente, el cual fue definido como la magnitud del esfuerzo desviador repetido en compresión triaxial dividido entre la deformación axial recuperable y se representa como sigue:

$$M_r = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{\varepsilon_{axial}} = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_{axial}}$$

Donde:

- M_r = Módulo Resiliente (psi),
- σ_1 = Esfuerzo principal mayor (psi),
- σ_3 = Esfuerzo principal menor (psi),
- σ_d = Esfuerzo desviador (psi),
- ε_{axial} = Deformación recuperable.

Al repetir la carga en la prueba, después de un cierto número de ciclos, el módulo es constante y la respuesta del suelo se asume como elástica.

Existen correlaciones que usan como parámetro de entrada el Valor Relativo de Soporte (CBR) para obtener el Módulo Resiliente, por ende, es necesario realizar estudios que determinen la condición actual y las propiedades del pavimento existente. Entre estos tipos de exploración geotécnica, se encuentran: los métodos destructivos y no destructivos.

Existe una variación de precisión de resultados obtenidos, debido a que los deflectómetros de impacto (métodos no destructivos) causan deflexiones y miden la respuesta estructural del pavimento, las cuales son analizadas por medio de técnicas enfocadas al cálculo inverso o retrocálculo como AASHTO 1993, LUKANEN, YONAPAVE o RODHE.
Las técnicas mencionadas permiten obtener la cuantificación y cualificación del nivel de daño estructural de una estructura en función de dos parámetros fundamentales los cuales son la deflexión característica y el Módulo Resiliente.

A diferencia de estos métodos, realizar una exploración geotécnica mediante la ejecución de calicatas (método destructivo) de 1.50 metros de profundidad, permite obtener un estudio detallado con las características y espesores del paquete estructural evaluado; sacrificando el equilibrio de este último.

En la investigación se optó por la evaluación del pavimento mediante métodos destructivos a raíz de que la información requerida exigió presión de resultados e información de los espesores de la estructura existente para poder realizar el diseño de espesores mediante el Método AASHTO 1993.

El entregable final de los estudios muestra el perfil estratigráfico a lo largo de los tramos 7 y 8, con información suficiente como:

- Profundidad.
- Humedad Natural.
- Material pasante por la malla N°200.
- Índice de plasticidad.
- Materia Orgánica.
- Clasificación SUCS y AASHTO.
- Máxima Densidad Seca (MDS) y Óptimo Contenido de Humedad (OCH).
- CBR al 100% de la MDS.
- Nivel Freático (en caso hubiese).

Determinación de tramos homogéneos.

Se entiende por tramos homogéneos aquellos sectores que poseen características o propiedades similares; determinar tramos homogéneos es posible mediante el uso del Método de las diferencias acumuladas.

Este método es una herramienta estadística utilizada en la "Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos – 1993" conforme al apéndice J, que permite tramificar mediante un criterio en común de la estructura del pavimento. Los criterios o mediciones de respuesta que se pueden considerar para la tramificación son:

- CBR de la subrasante.
- IRI (Índice de Regularidad Internacional).
- Deflexión.
- Serviciabilidad.
- Fricción.

La metodología se enfoca en una serie de pasos que se detallan a continuación:

- Elaborar una hoja de cálculo en donde la primera columna referencie el nombre o nomenclatura del punto evaluado.
- La segunda columna denota la progresiva del ensayo correspondiente.

$$X_1, X_{,2}, X_3, X_4, \dots, X_n$$

Donde:

X_1 = La progresiva en el punto 1,

X_n = La progresiva en el enésimo punto.

- La tercera columna representa la respuesta "r" del pavimento; para la presente investigación el valor de CBR de la subrasante.
- La cuarta columna identifica el número de intervalo.
- La quinta columna denominada Distancia entre Intervalo muestra la diferencia entre las progresivas de la columna 2 expresada en metros, donde:

$$\Delta X_1 = X_2 - X_1$$

$$\Delta X_2 = X_3 - X_2$$

$$\Delta X_n = X_{n+1} - X_n$$

- La sexta columna denominada Distancia Acumulada entre Intervalos proviene del cálculo acumulado de las distancias de la columna 5.

$$\sum \Delta X_1 = \Delta X_1$$

$$\sum \Delta X_2 = \sum \Delta X_1 + \Delta X_2$$

$$\sum \Delta X_3 = \sum \Delta X_2 + \Delta X_3$$

$$\sum \Delta X_n = \sum \Delta X_{n-1} + \Delta X_n$$

- La sétima columna expresa la media entre los valores de respuesta del pavimento (CBR) de la columna 3.

$$\bar{r_1} = r_1$$

$$\bar{r_2} = \frac{r_1 + r_2}{2}$$

$$\bar{r_n} = \frac{r_{n-1} + r_n}{2}$$

- La octava columna denominada Área del Intervalo se determina mediante la expresión siguiente:

$$a_1 = \Delta X_1 * \bar{r_1}$$

$$a_2 = \Delta X_2 * \bar{r_2}$$

$$a_n = \Delta X_n * \bar{r_n}$$

- La novena columna denominada Área Acumulada se determina mediante la expresión siguiente:

$$\sum a_1 = a_1$$

$$\sum a_2 = \sum a_1 + a_2$$

$$\sum a_n = \sum a_{n-1} + a_n$$

- Las últimas celdas de la columna 9 contienen los valores de Área Acumulada Total, Distancia Acumulada entre Intervalos Total y Factor de diferencia; este último se determina mediante la ecuación siguiente:

$$F = \frac{Área\ Acumulada}{Distancia\ Acumulada} = \frac{\sum a_n}{\sum \Delta X_n}$$

- La décima columna denominada Diferencia Acumulada se determina a través de la siguiente expresión:

$$Z_{X_1} = \sum a_1 - (F * \sum \Delta X_1)$$

$$Z_{X_2} = \sum a_2 - (F * \sum \Delta X_2)$$

$$Z_{X_n} = \sum a_n - (F * \sum \Delta X_n)$$

- Realizar un gráfico Z_x vs Progresiva, con el fin de visualizar las secciones homogéneas.

La teoría de este método indica que cuando exista un cambio de pendiente, este cambio determina una nueva sección o tramo; considerando que tramos homogéneos muy cortos no son económicos para proyectos de rehabilitación.

Diseño de la sección estructural del pavimento.

La metodología de diseño AASHTO, inicialmente conocida como AASHO, se desarrolló en el estado de Illinois en los años 60, realizando un ensayo a escala real que duró dos años; para suelos y climas uniformes a lo largo de todo el país. La finalidad de este ensayo fue desarrollar fórmulas, gráficos y tablas que representen de la mejor manera las relaciones solicitación-deterioro de todas las secciones ensayadas.
Las versiones mejoraron con el tiempo, el Método AASHTO 1993 introdujo conceptos mecanicistas para representar mejor los parámetros a distintas condiciones que no se consideraron inicialmente.

El Método AASHTO 1993 se enfoca en hallar un “Número Estructural (SN)” para la estructura del pavimento, la cual está ligada a la resistencia estructural del pavimento requerido para una combinación de distintos parámetros que se detallarán posteriormente.

La siguiente ecuación permite determinar el Número Estructural Requerido:

$$logW_{18} = Z_R * S_0 + 9.36\,log(SN_{REQ} + 1) - 0.20 + \frac{log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + (\frac{1094}{(SN_{REQ} + 1)^{5.19}}} + 2.32 * logM_r - 8.07$$

Donde:

- W_{18} = Número acumulado de ejes simples equivalentes de 18000 libras para el periodo de diseño o “Equivalent single axle load” (ESAL por sus siglas en ingles),
- Z_R = Coeficiente estadístico de la Desviación Estándar Normal,
- S_0 = Desviación Estándar Total,
- SN_{REQ} = Número Estructural Requerido,
- ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad,
- M_r = Módulo Resiliente de la subrasante.

Estos parámetros son de suma importancia a la hora de evaluar el Número Estructural Requerido y se detallan a continuación.

Número de ejes equivalentes para el periodo de diseño.

Es indispensable determinar los daños causados por las cargas producidas por los vehículos sobre la estructura del pavimento, por ende, es requisito fundamental conocer la cantidad y tipo de vehículos que transitan por la vía; asimismo conocer la configuración del eje que aplica la carga y la intensidad de esta.

Es mediante tal razonamiento que se realiza un estudio de tráfico que permite conocer el número de repeticiones de ejes equivalentes a 18000 libras.

El resultado final del estudio de tráfico proviene de la proyección del volumen medio diario de vehículos pesados considerando una serie de factores tales como:

- Factor de deterioro producto de la combinación de ejes equivalentes en un periodo de análisis.
- Factor de carga equivalente

El número de ejes equivalentes para el periodo de diseño se calculó como sigue:

$$ESAL = 365 * IMDA * FD * FC * \%(B + C) * \frac{(1+r)^{n-1}}{ln(1+r)}$$

Donde:

- $ESAL$ = Número de ejes equivalentes para el periodo de diseño,
- $IMDA$ = Índice Medio Diario Anual,
- FD =Factor direccional que depende del uso de los carriles de la vía,
- FC = Número de ejes equivalentes para el periodo de diseño,
- $\%(B + C)$ = Porcentaje de buses y camiones (vehículos pesados),
- r = Tasa de crecimiento,
- n = Periodo de tiempo en años.

Confiabilidad (R).

El parámetro de confiabilidad es la probabilidad de que una sección de la estructura del pavimento diseñada mediante el Método AASHTO 1993 se comporte de acuerdo a lo proyectado durante el periodo estimado y bajo las condiciones de tráfico definidas.
La confiabilidad directamente no es una variable de la fórmula, sin embargo, mediante una tabla es correlacionada para obtener la Desviación Estándar Normal (Z_R).

Desviación Estándar Normal (Z_R).

La Desviación Estándar Normal como se mencionó en el párrafo anterior se obtiene de acuerdo a la tabla 1 que se presenta a continuación.

Tabla 1.
Relación Confiabilidad vs. Desviación Estándar Normal

Confiabilidad (R)	Desviación Estándar Normal (Z_R)
50	0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282

Confiabilidad (R)	Desviación Estándar Normal (Z_R)
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Fuente: Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos - 1993

Desviación Estándar Total (S_o).

Este parámetro se relaciona directamente con las condiciones locales particulares, considerando posibles variaciones en el comportamiento de la estructura y de la predicción del tráfico.

El intervalo para pavimentos flexibles se encuentra entre 0.40 y 0.50, por ende, se recomienda usar un valor promedio de 0.45. Ver tabla 2.

Tabla 2.
Valores típicos de Desviación Estándar Total

Desviación Estándar (S_0)	Tipo de pavimento
0.30 - 0.40	Rígido
0.40 - 0.50	Flexible

Fuente: Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos - 1993

Índice de Serviciabilidad (PSI).

Serviciabilidad es la condición de los pavimentos para brindar confort al usuario y condiciones de manejo seguro en un determinado periodo, esta varía entre 0 y 5; siendo 0 un índice de serviciabilidad clasificado como intransitable y 5 una vía en perfectas condiciones.

Para el cálculo de pérdida de serviciabilidad se usan dos índices como se presenta en la ecuación:

$$\Delta PSI = P_0 - P_f$$

Donde:

- P_0 = Serviciabilidad inicial
- P_f = Serviciabilidad final

Módulo Resiliente (M_r).

Previamente ya se describió este término y la manera de determinarlo, pero existen alternativas que permiten obtener el Módulo Resiliente mediante la determinación del CBR de la subrasante.

El estudio geotécnico realizado determinó zonas en donde existen más de un estrato correspondiente al terreno de fundación, por ende, se considera más adecuado realizar el ensayo a capa tipo de material y presentar como valor de CBR el cálculo de la combinación de estos, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$CBR_{comp} = \sum_{i=1}^{n} \frac{CBR_i * {e_i}^3}{{e_i}^3}$$

Donde:

- CBR_{comp} = CBR compuesto,
- CBR_i = CBR del material de la capa i,
- e_i = espesor de la capa i.

El valor de CBR compuesto no es un parámetro de ingreso directo en la ecuación AASHTO, por lo tanto, es necesario usar una fórmula de correlación; el Método AASHTO 2002 propone una fórmula que es válida para cualquier valor de CBR, la cual se presenta a continuación:

$$M_r = 2555 * CBR^{0.64} \ (psi)$$

Determinación del Número Estructural Propuesto.

Calculado el valor del Número Estructural Requerido mediante la ecuación AASHTO 1993, es necesario proponer la combinación adecuada de capas estructurales que soportaran las

cargas estimadas, por tal motivo es necesario utilizar el criterio de coeficientes de capa y la ecuación para realizar el cálculo del Número Estructural Propuesto.

$$SN_{PROP} = a_1 * D_1 + a_2 * m_2 * D_2 + a_3 * m_3 * D_3$$

Donde:

- SN_{prop} = Número Estructural Propuesto,
- $a_{1,2,3}$ = Coeficiente estructural de las capas (carpeta asfáltica, base granular y subbase granular),
- $D_{1,2,3}$ = Espesor de las capas,
- $m_{1,2,3}$ = Coeficiente de drenaje de las capas.

De acuerdo a AASHTO, la ecuación permite realizar una gran cantidad de combinaciones, es decir, no existe una solución única y es posible modificar los espesores, coeficientes de drenaje y coeficientes estructurales. La investigación desarrolló el análisis de la variación de los coeficientes estructurales mediante la estabilización de suelos granulares.

Los espesores de cada capa son las únicas variables que se eligen a criterio sin el uso de tablas o figuras recomendadas. Generalmente por experiencia obtenida en el proceso constructivo se sugiere proponer capas con espesores no menores a cuatro pulgadas.

Coeficientes de aporte estructural.

Los coeficientes de aporte estructural influyen directamente en el valor del Número Estructural Propuesto, estos se obtienen por medio de figuras que correlacionan valores de CBR, confiabilidad o Módulo Resiliente. La figura 14 permite obtener el valor del coeficiente estructural para la carpeta asfáltica usando como valor de entrada el Módulo Elástico (Resiliente) de la carpeta asfáltica.

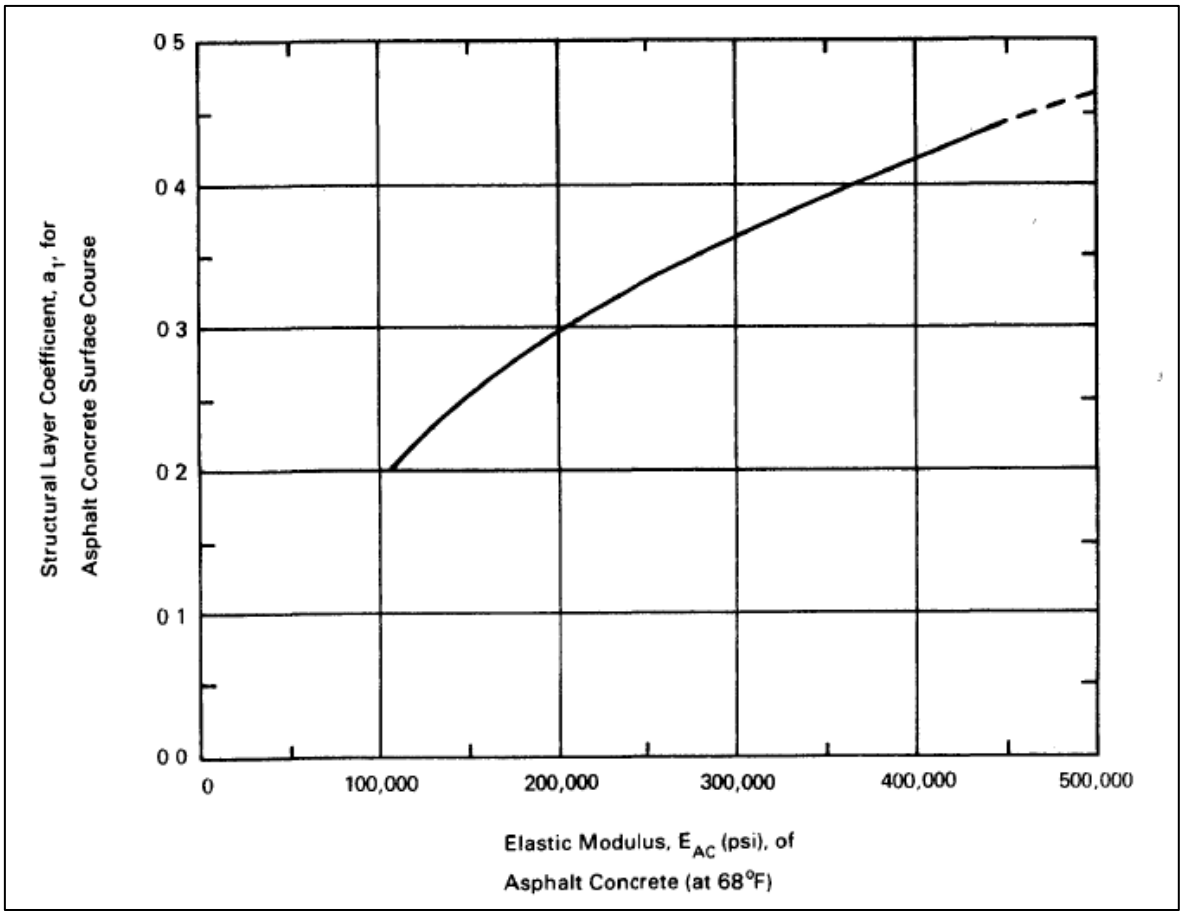


Figura 14. Estimación del coeficiente estructural de capa de concreto asfáltico de gradación densa basado en el Módulo Elástico
Fuente: Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos - 1993

De la misma manera, existen tres figuras para obtener el valor del coeficiente estructural de base granulares, ya que estas pueden ser bases granulares tratadas con cemento hidráulico, cemento asfáltico o bases granulares no tratadas.

Se consideró adecuado usar las figuras de bases no tratadas y bases estabilizadas con cemento hidráulico de la “Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos – 1993”; sin embargo, la figura usada para obtener el coeficiente estructural de bases tratadas con cemento asfáltico fue la que recomienda el “Manual de Reciclado en Frío” propuesta por Wirtgen.

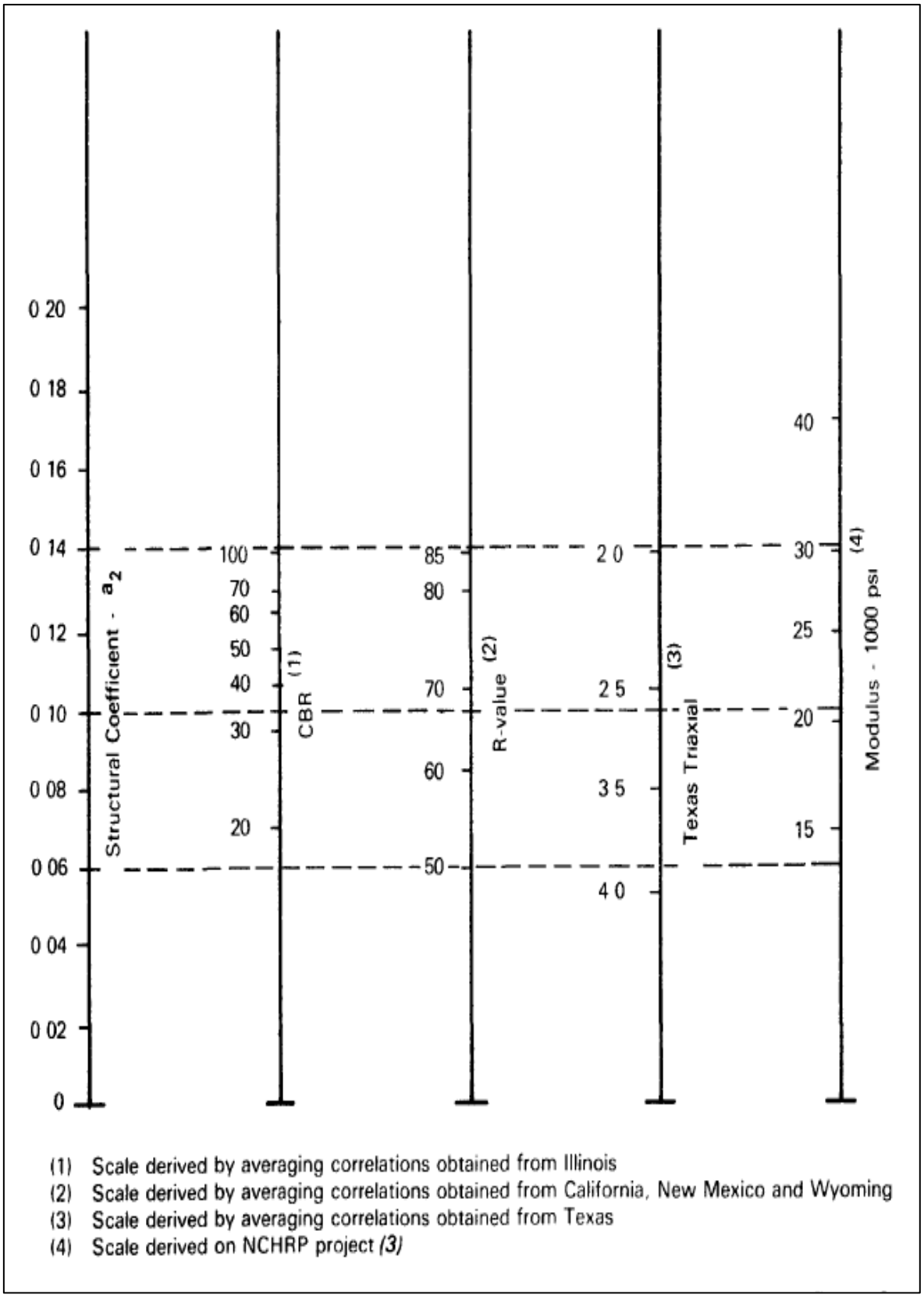


Figura 15. Variación del coeficiente estructural de capa de base con diferentes parámetros de resistencia
Fuente: Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos - 1993

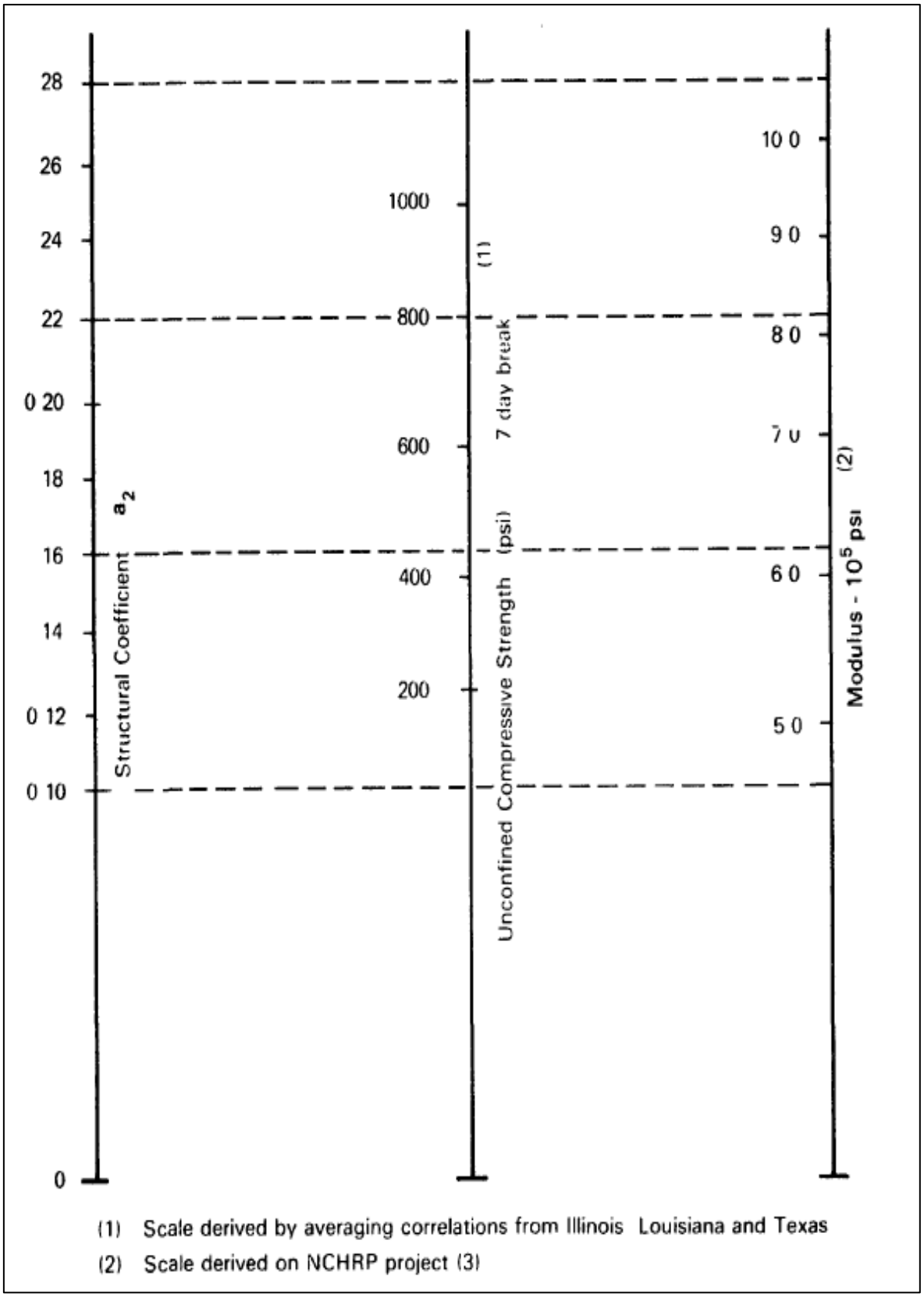


Figura 16. Variación del coeficiente estructural en bases tratadas con cemento con los parámetros de resistencia de la base
Fuente: Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos - 1993

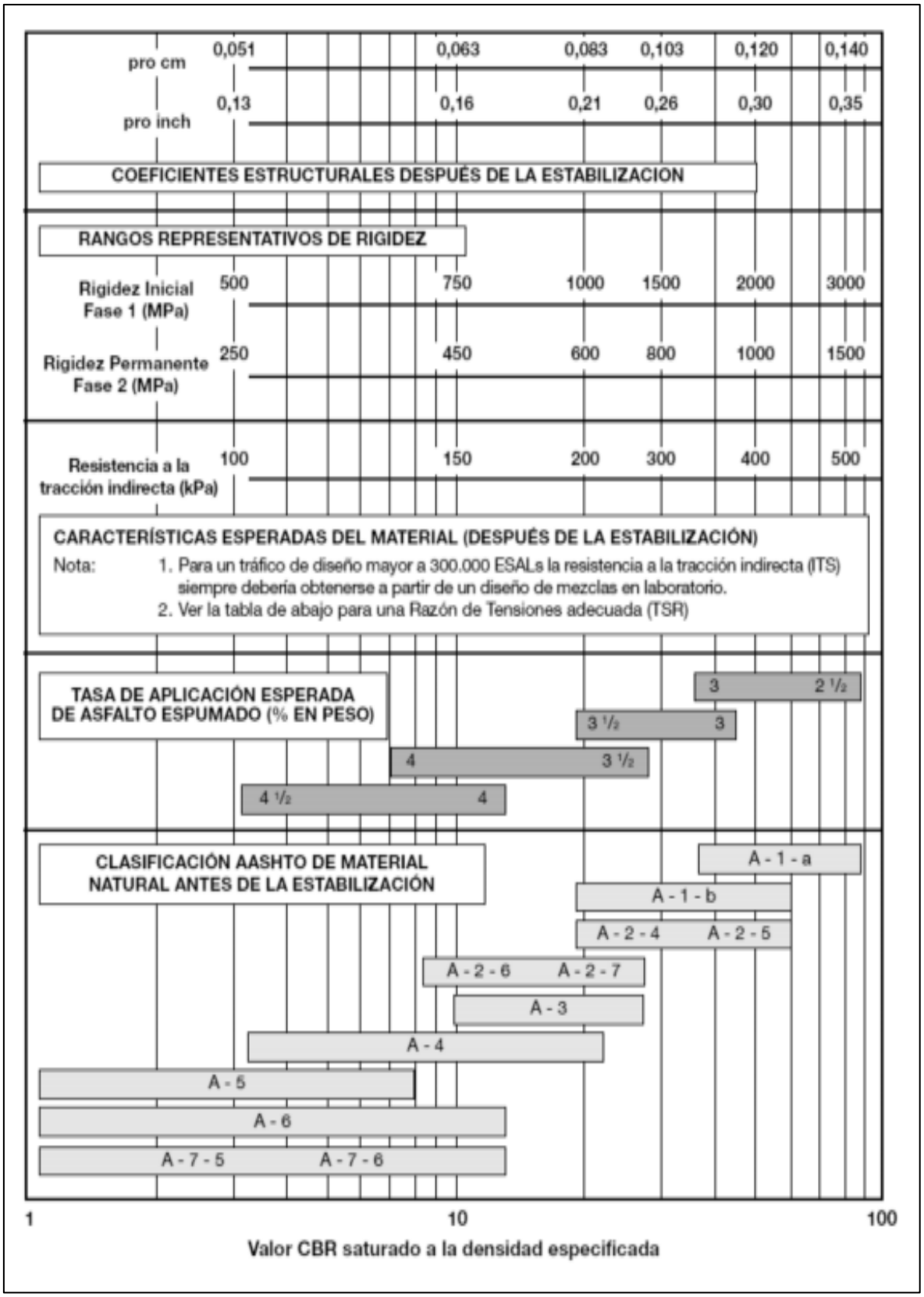


Figura 17. Variación del coeficiente estructural en bases tratadas con asfalto con los parámetros de resistencia de la base
Fuente: Manual de Reciclado en Frío - 2004

El último coeficiente de aporte pertenece a la capa de subbase, la cual es una capa de suelo granular no tratada, por tal motivo es recomendable usar la figura que AASHTO sugiere y se muestra a continuación.

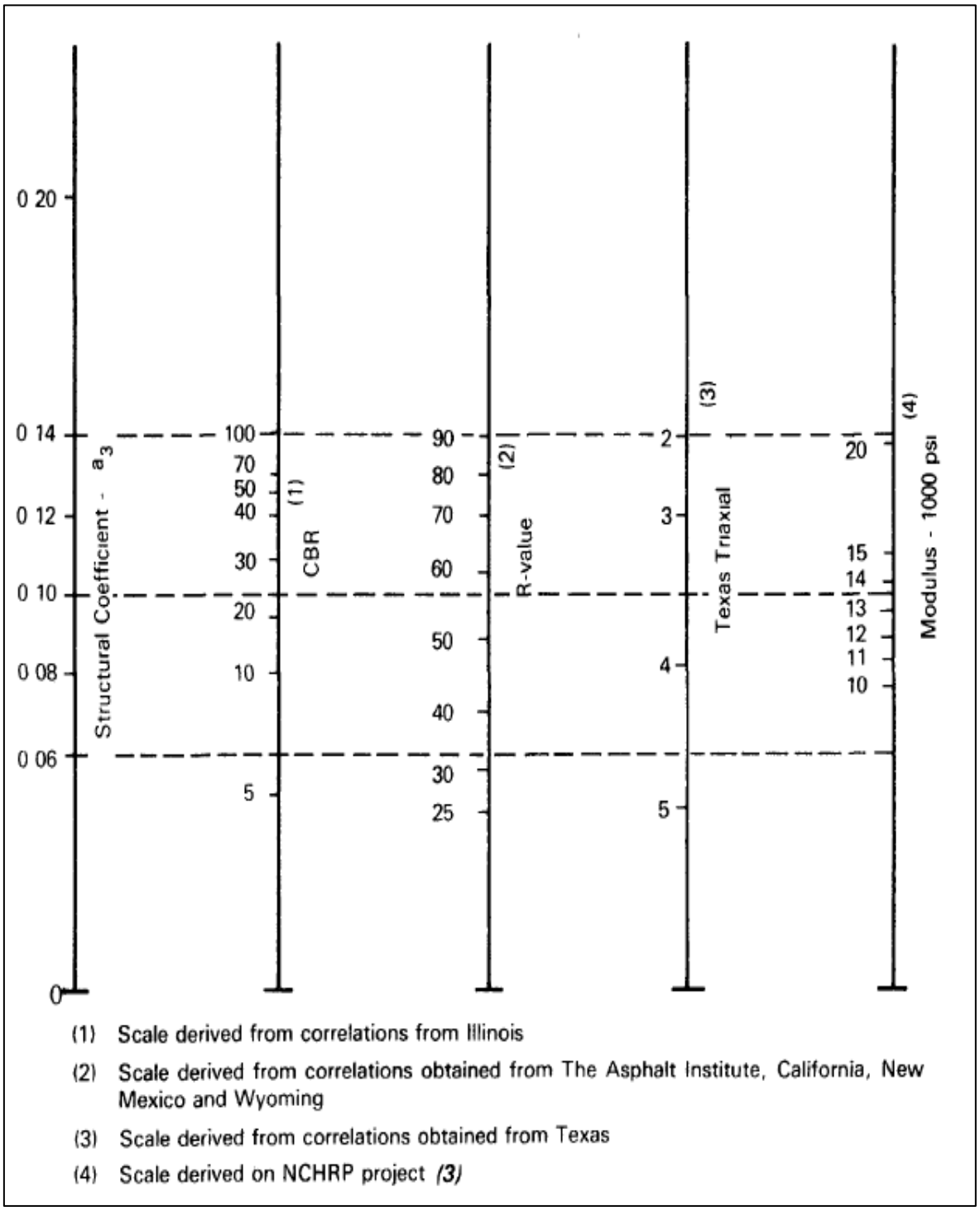


Figura 18. Variación del coeficiente estructural de capa de subbase con diferentes parámetros de resistencia
Fuente: Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos - 1993

Coeficiente de drenaje.

En la capa de rodadura o carpeta asfáltica, el método de diseño no considera relevante los efectos por drenaje, por tal motivo la ecuación para obtener el Número Estructural Propuesto sólo considera coeficientes de drenaje para las capas de base granular y subbase granular.

Las tablas 3 y 4 muestran valores recomendados en la “Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos – 1993”, en función a la calidad de drenaje que la estructura poseerá y al tiempo de exposición de la estructura a niveles de saturación.

Tabla 3.
Calidad del drenaje en función del tiempo de evacuación del agua

Calidad del drenaje	Tiempo en que tarda el agua en ser evacuada
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Malo	1 mes
Muy Malo	El agua no evacua

Fuente: Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos - 1993

Tabla 4.
Valores recomendados del coeficiente de drenaje para bases y subbases granulares

Calidad del Drenaje	Porcentaje del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	Menor que 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor que 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.2
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.0
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.8
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.6
Muy Pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.4

Fuente: Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos - 1993

Tramo de prueba y controles sobre la vía.

En obras de gran envergadura, los procesos constructivos inadecuados y la detección de problemas en el diseño están asociados a patologías propias de los pavimentos flexibles y rígidos; tales como: deformaciones, roturas, desprendimientos, exudación, entre otros.

No detectarlos oportunamente incurre en gastos por proceso, transporte, tiempo de espera, competencias o defectos (calidad inadecuada, especificaciones técnicas no cumplidas, agentes externos adversos, reparaciones, entre otros). Por lo tanto, debido a la susceptibilidad de ejecución a gran escala, es conveniente realizar previamente un tramo de prueba cuya longitud puede ser definida en función del grado de análisis que uno considere adecuado; donde se puedan realizar los ensayos y ajustes correspondientes; de igual manera, evaluar los factores internos y externos que afecten al proceso y producto terminado.

Así como se realizan tramos de prueba para mitigar los riesgos y peligros, también se realizan tramos de prueba cuando existen actividades o soluciones que no son típicas, en donde el "know-how" técnico del grupo es limitado respecto a soluciones que se usan comúnmente.

Los controles más importantes que aseguran la capacidad estructural y funcional de una capa son:

- Deflectometría.
- Grado de compactación.
- Espesores.
- IRI.

Proyecto Perú Fase II.

El proyecto Peru Fase II brinda la oportunidad de realizar innovación tecnológica directamente (a través de los materiales, procedimientos constructivos, equipos de medición, metodología y modelos de cálculo.) debido a que los contratos de construcción de carreteras convencionales tenían como misión la ejecución del expediente técnico a cabalidad sin dar lugar a mejoras significativas u optimización en cualquiera de las etapas del proyecto.

Mediante el nuevo concepto de Conservación Vial por Niveles de Servicio (CVNS) enmarcados en el proyecto Perú Fase II, se pretende aumentar el nivel de competitividad de zonas rurales a lo largo de la Red Vial Nacional Departamental y Vecinal, entendiendo por Niveles de Servicio aquellos indicadores cualitativos y cuantitativos que evalúan las condiciones de circulación de los vehículos considerando una serie de variables (velocidad, tiempo de recorrido, confort, seguridad, etc.) que varían en función de factores técnicos y económicos dentro de un esquema general de satisfacción del usuario.

En esta modalidad de contratos, existen tres etapas muy bien definidas las cuales son:

- Conservación Rutinaria antes de la Conservación Periódica.
- Conservación Periódica.
- Conservación Rutinaria después de la Conservación Periódica.

La primera etapa da inicio a la ejecución de los estudios definitivos del proyecto que posteriormente se presentan a la entidad para aprobación, mientras en paralelo se realizan actividades en la vía que brinden confort al usuario; actividades a nivel superficial (tratamiento de fisuras, grietas, parchado, fresado, roce de vegetación, limpieza de elementos y estructuras viales, etc.)

La segunda etapa da inicio una vez sea aprobado el Plan de Conservación Vial, entendiendo por este último los estudios realizados y planes de intervención propuestos por el contratista. Es en este punto en donde se da inicio a las actividades de Rehabilitación y Mejoramiento (reciclado, construcción rellenos estructurales, subbases, bases, micropavimento, cunetas, señales verticales y horizontales, etc.).

Por último, la tercera etapa inicia cuando los tramos intervenidos durante la Conservación Periódica hayan sido valorizados y entregados a la entidad o cliente. En adelante el contratista mensualmente se encarga de cumplir los valores admisibles establecidos en los indicadores de Niveles de Servicio los cuales son visuales e instrumentales hasta que el proyecto finalice.

En las tablas 5 y 6 se presentan los indicadores de Niveles de Servicio para las etapas de Conservación Rutinaria antes y después de la Conservación Periódica.

Tabla 5.
Indicadores de Niveles de Servicio de la Conservación Rutinaria antes de la Conservación Periódica

Variable	Indicador	Forma de medición	Tolerancia
Calzada	Baches	Visual	0%
Limpieza	Calzada y Bermas	Visual	Siempre limpia libre de materiales finos (tipo suelo o granular, granos u otros) u obstáculos (materiales de derrumbes, vegetación, caída, restos de accidentes, animales muertos, basura, etc.) que afecten la seguridad del tránsito o el escurrimiento de las aguas superficiales.
Obras de arte y Drenaje	Cunetas, alcantarillas. Badenes, zanjas de coronación, canal de bajada	Visual	Siempre limpia libre de vegetación, sedimentación, colmataciones u otros elementos que obstaculicen o alteren el libre escurrimiento de las aguas superficiales, incluyendo los cauces de ingreso y salida.

Variable	Indicador	Forma de medición	Tolerancia
Señalización	Vertical	Visual	Limpias y sin vegetación en su entorno que impida la visibilidad.
	Postes kilométricos	Visual	Limpias y sin vegetación en su entorno que impida la visibilidad.
Elementos de Seguridad	Guardavías y/o barreras de seguridad	Visual	Limpias y sin vegetación en su entorno que impida la visibilidad.
	Delineadores	Visual	Limpias y sin vegetación en su entorno que impida la visibilidad.
	Reductor de velocidad	Visual	Limpios.
Estructuras Viales	Puentes y pontones	Visual	Limpios y libres de obstáculos en juntas, apoyos y drenajes, y limpio en zonas aledañas.
Zonas laterales (Derecho de vía)	Roce	Visual	En zonas de visibilidad se admitirá hasta 30 centímetros, excepto en calzada, bermas y cunetas donde no se admite vegetación.
	Talud inferior	Visual	No se admiten erosiones producto de escorrentía superficial, luego del inicio del servicio
	Aguas empozadas	Visual	No se admiten aguas empozadas en las zonas laterales contiguas a la plataforma.
DME o Botaderos	Material excedente o derrumbes en DME o botaderos	Visual	No se admitirá material excedente o de derrumbes mal acondicionados en los DME o botaderos.

Fuente: Términos de Referencia del proyecto – 2016

Tabla 6.

Indicadores de Niveles de Servicio de la Conservación Rutinaria después de la Conservación Periódica

Variable	Indicador	Forma de medición	Tolerancia
Calzada	Baches	Visual	0%
	Reparaciones o parchados	Visual	0% máximo de reparaciones o parches en mal estado.
	Fisuras > 3mm	Visual	0%
	Fisuras > 1mm y < 3mm	Visual	5% máximo de área con fisuras respecto de la muestra materia de evaluación
	Fisuras < 1mm	Visual	No se controlan, serán observadas por el Contratista Conservador para evitar el incremento.
	Piel de cocodrilo	Visual	0%
	Ahuellamiento	Regla	0% máximo de área con ahuellamiento mayor a 6 mm.
	Peladuras y Desprendimientos	Visual	2% máximo de área respecto de la muestra materia de evaluación.
	Exudaciones	Visual	2% máximo de área respecto de la muestra materia de evaluación, con manchas de exceso de asfalto de área mayor a 0.01 m^2.
	Desprendimiento de bordes	Visual	0%
	IRIc	Instrumental	IRI máximo 4.2 m/Km al final del servicio (partiendo de 3.0 m/Km y un incremento anual de 0.4 m/Km).

Variable	Indicador	Forma de medición	Tolerancia
Limpieza	Calzada y Bermas	Visual	Siempre limpia libre de materiales finos (tipo suelo o granular, granos u otros) u obstáculos (materiales de derrumbes, vegetación caída, restos de accidentes, animales muertos, basura, etc.) que afecten la seguridad del tránsito o el escurrimiento de las aguas superficiales.
Obras de arte y Drenaje	Cunetas, alcantarillas, badenes, zanjas de coronación, canal de bajada, bordillo	Visual	Siempre limpia libre de vegetación, sedimentación, colmataciones u otros elementos que obstaculicen o alteren el libre escurrimiento de las aguas superficiales, incluyendo los cauces de ingreso y salida.
	Fallas estructurales e hidráulicas en cunetas, zanjas, canales y badenes	Visual	No se admitirán socavaciones, pérdida de juntas, asentamientos, pérdida de geometría, fallas que afecten la capacidad estructural.
Señalización	Vertical	Visual	Completas, limpias, en buen estado y sin vegetación en su entorno que impida su visibilidad.
		Retroreflectómetro vertical (Tipo IV: ángulo de observación 0.2° y ángulo de entrada -4°)	Retroreflectancia mínima: Blanco: 360 cd/lux*m^2, Amarillo: 250 cd/lux*m^2, Verde: 70 cd/lux*m^2.
	Horizontal	Regla	Limpias, con ancho de líneas mínimo en demarcación de eje y borde de 10 centímetros y sin desviaciones (zigzagueo).
		Retroreflectómetro horizontal (ángulo de observación 1.05° y ángulo de entrada 88.76°)	Retroreflectancia inicial mínima: Blanco: 230 cd/lux*m^2, Amarillo: 175 cd/lux*m^2. Retroreflectancia para repintado: Blanco: 100 cd/lux*m^2, Amarillo: 80 cd/lux*m^2.
	Postes kilométricos	Visual	Completos, pintados, limpios y en buen estado.
Elementos de seguridad	Guardavías y/o barreras de seguridad	Visual	Completos, pintados, limpios, sin deformación y sin vegetación en su entorno que impida la visibilidad.
	Delineadores	Visual	Completos, pintados y limpios.
	Parapetos o muros	Visual	No se admitirán deficiencias o ausencia de pintura o lámina retroreflectiva.
Estructuras Viales	Puentes y pontones	Visual	No se admitirán: - Superficies sin recubrimiento. - Suciedades o elementos extraños. - Deficiencias en las juntas extremas o intermedias. - Deterioro o falta de elementos metálicos y/o concreto. - Deterioro de barandas y parapetos. - Socavación de fundaciones. - Obstrucciones al libre escurrimiento
Zonas Laterales (Derecho de vía)	Roce	Visual	En zonas de visibilidad se admitirá hasta 30 centímetros, excepto en calzada, bermas y cunetas donde no se admite vegetación.
	Talud inferior	Visual	No se admiten erosiones producto de escorrentía superficial, luego del inicio del servicio.
	Aguas empozadas	Visual	No se admiten aguas empozadas en las zonas laterales contiguas a la plataforma.
DME o Botaderos	Material excedente o de derrumbes en DME o botaderos	Visual	No se admitirá material excedente o de derrumbes mal acondicionados en los DME o botaderos.

Fuente: Términos de Referencia del proyecto – 2016

El proyecto Perú Fase II se enfoca en gestionar la infraestructura vial de las carreteras, administrándolas a través de funciones de planeamiento, ejecución, mantenimiento, operación y preservación de la integridad física del derecho de vía.
La planificación vial es un componente principal dentro de la estrategia nacional de desarrollo, el cual tiene como finalidad reducir los tiempos y costos de transporte.

La estrategia del proyecto Perú Fase II se centra en contar con planes y programas con recursos presupuestales más elevados que permitan recuperar los Niveles de Servicio de las carreteras considerablemente extensas (300 a 400 kilómetros) mediante contratos a mediano plazo (5 años). El resultado es el buen estado de las vías nacionales con adecuados niveles de confort para el usuario.

De esta manera, el aseguramiento en esta modalidad de contratos es doble: la calidad de la propuesta técnica y segunda la calidad de oportunidad y gestión de las actividades de conservación.
A continuación, se muestran las intervenciones programadas y el porcentaje que representan los proyectos de Conservación Vial por Niveles de Servicio bajo la modalidad del proyecto Perú II.

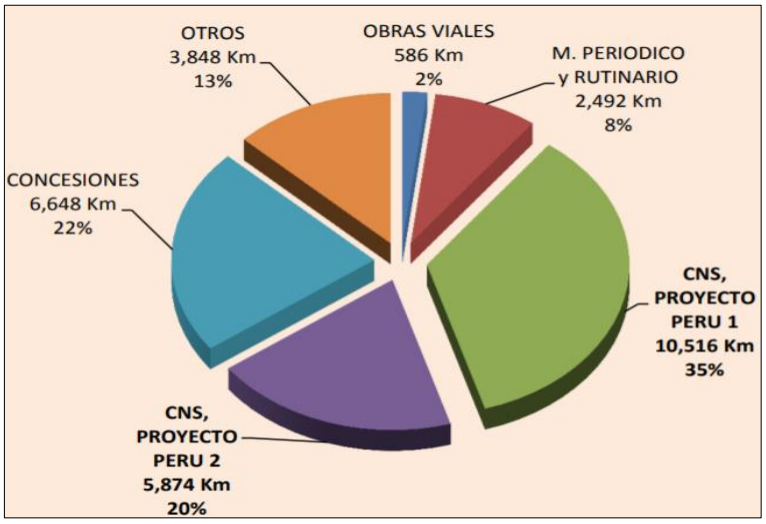


Figura 19. Intervenciones programadas en el Red Vial Nacional
Fuente: Intervenciones en la red vial nacional – 2016

Mediante el proyecto Perú Fase II se pretende desarrollar una cultura de conservación preventiva, a fin de evitar el deterioro prematuro.
En la práctica eso significa, realizar actividades permanentemente para mantener un estado adecuado en las carreteras y asegurar la transitabilidad.

Es conveniente precisar que el proyecto no se limita únicamente a prevenir; por lo contrario, contrastando con sistemas de mantenimiento tradicionales, este permite la evolución de la estructura; desde una camino no pavimentado o comúnmente llamado afirmado a un pavimento básico y finalmente un camino pavimentado, en función del incremento de tráfico generado producto de la mejora de condiciones de la vía y el confort brindado a los usuarios.

La presente investigación propone soluciones básicas, entendiéndose por estas aquellas propuestas técnicas que poseen una capa material granular estabilizado con algún agente y una capa de rodadura asfáltica cuyo aporte estructural es nulo.

De este modo, el proyecto Peru Fase II interviene afirmados de bajo volumen de tráficos, con la finalidad de derivar (o generar) tráfico; estando a nivel de pavimento básico se realizan nuevos estudios de tráfico que contempla el contrato para que posteriormente estos puedan ser proyectos viables de inversión.

Los contratos de gestión y conservación vial bajo este programa están obligados a ofrecer un cierto nivel de comodidad de acuerdo a un estándar de calidad durante la duración del proyecto.

En tal sentido, el fin de este programa no es obtener un producto en condiciones perfectas ni asumir riesgos al momento de la elaboración del perfil; por el contrario, estos contratos transfieren el riesgo, exigen resultados adecuados permanentemente e innovación, para los dos escenarios conocidos:

- En caminos de alto volumen de tránsito, reciclado de pavimentos.
- En caminos de bajo volumen de tráfico, pavimentos básicos.

Método

Tipo y Diseño de Investigación

Tipo de Investigación.

El tipo de investigación de acuerdo al nivel de complejidad es descriptivo – explicativa, puesto que el problema se observó y fue descrito durante los diseños, ensayos y tramos de prueba realizados.

El enfoque es cuantitativo, debido a que las variables se desarrollan en una etapa empírico-analista; asimismo, fueron medidas y analizadas con el fin de obtener respuestas de la muestra a preguntas específicas.
La orientación es aplicada, ya que la investigación tuvo por finalidad predecir un comportamiento específico bajo conocimientos previamente obtenidos.

Diseño de Investigación.

El diseño de la investigación es experimental, longitudinal y prospectivo.

Experimental, puesto que los entregables de los estudios definitivos para los tramos 7 y 8 del Servicio de Gestión, Mejoramiento y Conservación Vial por Niveles de Servicio del Corredor Vial: “Dv. Humajalso - Desaguadero y Tacna - Tarata - Capazo - Mazocruz” se evaluarán y de esta manera observar los efectos en las variables independientes.
Longitudinal, ya que se investigó una misma muestra de manera repetitiva durante un periodo de meses.
Prospectivo debido a que se describió los resultados a lo largo del tiempo.

La metodología que se empleó fue:

- Definición preliminar del proyecto.
- Evaluación de canteras de los tramos 7 y 8 a través de excavaciones a cielo abierto para conocer ciertos parámetros como volumen, potencia, uso, disponibilidad, acceso y realizar ensayos de clasificación geotécnica.
- Determinación de los agentes estabilizadores.
- Realización de los ensayos de caracterización y certificados de calidad (detallados en los instrumentos de investigación líneas abajo).
- Determinación de los diseños de mezcla óptimos.
- Determinación de los espesores de capas del pavimento básico, en donde se evaluaron tres propuestas para cada tramo, es decir dos propuestas con los estabilizadores mencionados anteriormente y una sin ninguna adición (suelos selectos de cantera).
- Estudio del comportamiento del suelo con los estabilizadores propuestos.
- Evaluación técnica del pavimento.
- Evaluación económica del pavimento.

Variables

Identificación de las variables.

Para la identificación de las variables se procede a colocar una tabla de tres columnas las cuales contienen las hipótesis, variables independientes, dependientes y la definición de estas para lograr un análisis a mayor detalle con el fin de ser controladas, medidas y analizadas a lo largo del proceso de elaboración de la presente investigación.

Tabla 7.

Identificación de las variables de la investigación

Hipótesis	Variables	Definición
Se estima que los suelos estabilizados con emulsión asfáltica y/o suelos estabilizados con cemento Portland cumplan un diseño más satisfactorio que los suelos típicos bajo las mismas condiciones para soportar las cargas que se presentan con el paso de los vehículos.	**VI.** Efectos de las cargas generadas por el tráfico de vehículos.	Magnitudes aplicadas por el tráfico a lo largo de una vía de comunicación.
	VD. Estabilización con emulsión asfáltica. Estabilización con cemento Portland.	Mejoramiento de las propiedades físicas como la permeabilidad, densidad, resistencia mecánica, viscosidad de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos.
Los agregados de cantera poseen mejores propiedades físicas y mecánicas que los de la plataforma existente.	**VI.** Agregados de cantera y plataforma existente.	Material pétreo de origen aluvial o coluvial que se usa para la construcción de estructuras.
	VD. Propiedades físicas y mecánicas.	Características que permiten diferenciar un material de otro.
Dosificaciones de emulsión asfáltica y cemento Portland menores a 1% no mejoran las propiedades mecánicas de la mezcla.	**VI.** Dosificaciones de emulsión asfáltica y cemento Portland.	Determinación de la cantidad de un componente.
	VD. Propiedades mecánicas de la mezcla.	Características que permiten diferenciar un material de otro.
Estabilizar mediante procesos convencionales genera mayor productividad.	**VI.** Procesos convencionales.	Procesos constructivos que emplean métodos típicos
	VD. Productividad.	Cantidad de producción de una unidad de producto o servicio por insumo de cada factor utilizado por unidad de tiempo.
Las propiedades mecánicas de suelos estabilizados con emulsión asfáltica superan considerablemente a las propiedades mecánicas de suelos estabilizados con cemento Portland.	**VI.** Suelos estabilizados con emulsión asfáltica y cemento Portland.	Suelos granulares que han sido modificados con agentes estabilizadores en baja dosificación.
	VD. Propiedades mecánicas,	Características que permiten diferenciar un material de otro.

Hipótesis	Variables	Definición
Los coeficientes de aporte estructural incrementarán considerablemente la capacidad de carga de la capa de suelo estabilizado.	**VI.** Coeficientes de aporte estructural.	Coeficientes que están relacionados con parámetros resistentes de bases granulares, subbases granulares, bases tratadas con asfalto y bases tratadas con cemento.
	VD. Capacidad portante del suelo estabilizado.	Máxima presión media de contacto entre la estructura del pavimento y el terreno tal que no se produzcan fallas en el suelo o un asentamiento diferencial excesivo.
Se estima que las capas estabilizadas con cemento Portland son las más económicas ante los requerimientos del proyecto debido al costo y proceso de manufacturación de las emulsiones asfálticas.	**VI.** Requerimientos del proyecto.	Parámetros que el proyecto exige que se cumplan, tales como los Niveles de Servicio requeridos, especificaciones detalladas en los términos de referencia, etc.
	VD. Capas estabilizadas con cemento Portland.	Suelos granulares que han sido modificados con cemento.
El diseño óptimo de mezclas cementadas depende fundamentalmente de las características mecánicas, físicas y químicas de los agregados.	**VI.** Características mecánicas, físicas y químicas de los agregados.	Rasgos que permiten diferenciar un material de otro.
	VD. Diseño óptimo de mezclas cementadas.	Tipo de diseño que usa la mejor combinación de puntos de diseño original, obtenido al disminuir o aumentar el número de corridas experimentales.
Existen diversas combinaciones de las variables de diseño para calcular los espesores de las capas granulares.	**VI.** Variables de diseño.	Valores cualitativos que permiten obtener una configuración final
	VD. Espesores de las capas granulares.	Dimensiones que se define de acuerdo a diseño AASHTO 1993.

Fuente: Elaboración propia

Operacionalización de las variables.

Tabla 8.

Operacionalización de las variables de la investigación

Hipótesis	Variables	Indicadores	Escala
Se estima que los suelos estabilizados con emulsión asfáltica y/o suelos estabilizados con cemento Portland cumplan un diseño más satisfactorio que los suelos típicos bajo las mismas condiciones para soportar las cargas que se presentan con el paso de los vehículos.	**VI.** Efectos de las cargas generadas por el tráfico de vehículos.	Ejes equivalentes	Nominal
	VD. Estabilización con emulsión asfáltica.	Coeficientes de aporte estructural	Razón
	Estabilización con cemento Portland.		
Los agregados de cantera poseen mejores propiedades físicas y mecánicas que los de la plataforma existente.	**VI.** Agregados de cantera y plataforma existente.	Caracterización geotécnica	Intervalo
	VD. Propiedades físicas y mecánicas.	Resistencia estructural	Razón
Dosificaciones de emulsión asfáltica y cemento Portland menores a 1% no mejoran las propiedades mecánicas de la mezcla.	**VI.** Dosificaciones de emulsión asfáltica y cemento Portland.	Porcentaje de agente estabilizador	Razón
	VD. Propiedades mecánicas de la mezcla.	Resistencia estructural	Razón
Estabilizar mediante procesos convencionales genera mayor productividad.	**VI.** Procesos convencionales.	Valoración desde Muy bueno hasta Muy Malo	Ordinal
	VD. Productividad.	Servicio producido / recurso utilizado	Razón

Hipótesis	Variables	Indicadores	Escala
Las propiedades mecánicas de suelos estabilizados con emulsión asfáltica superan considerablemente a las propiedades mecánicas de suelos estabilizados con cemento Portland.	**VI.** Suelos estabilizados con emulsión asfáltica y cemento Portland.	Resistencia estructural	Razón
	VD. Propiedades mecánicas,	Resistencia estructural	Razón
Los coeficientes de aporte estructural incrementarán considerablemente la capacidad de carga de la capa de suelo estabilizado.	**VI.** Coeficientes de aporte estructural.	1/pulgadas	Razón
	VD. Capacidad portante del suelo estabilizado.	Porcentaje relativo	Razón
Se estima que las capas estabilizadas con cemento Portland son las más económicas ante los requerimientos del proyecto debido al costo y proceso de manufacturación de las emulsiones asfálticas.	**VI.** Requerimientos del proyecto.	Especificaciones técnicas	Nominal
	VD. Capas estabilizadas con cemento Portland.	Resistencia estructural	Razón
El diseño óptimo de mezclas cementadas depende fundamentalmente de las características mecánicas, físicas y químicas de los agregados.	**VI.** Características mecánicas, físicas y químicas de los agregados.	Resistencia estructural	Razón
	VD. Diseño óptimo de mezclas cementadas.	Valoración desde Muy bueno hasta Muy Malo	Nominal
Existen diversas combinaciones de las variables de diseño para calcular los espesores de las capas granulares.	**VI.** Variables de diseño.	Ejes equivalentes, serviciabilidad, pulgadas, Confiabilidad, coeficientes de drenaje y aporte estructural	Razón
	VD. Espesores de las capas granulares.	Pulgadas	Razón

Fuente: Elaboración propia

Población y Muestra

La población es el proyecto bajo el nombre de “Servicio de Gestión, Mejoramiento y Conservación Vial por Niveles de Servicio del Corredor Vial: “Dv. Humajalso - Desaguadero y Tacna - Tarata - Capazo - Mazocruz”, con un plazo de ejecución de cinco años y bajo la supervisión de Provias Nacional Puno.

El proyecto esta subdividido en ocho tramos, en los seis primeros se realizan actividades de conservación y las dos últimas, actividades de mejoramiento y rehabilitación.
Para la investigación la muestra representa los tramos 7 (Tarata Km.:91+182 – Capazo Km.:172+665) y 8 (Capazo Km.:172+665 – Mazocruz Km.:227+049), los cuales serán la raíz y el punto de partida para realizar todos los ensayos, estudios y diseños que el proyecto de tesis propone.

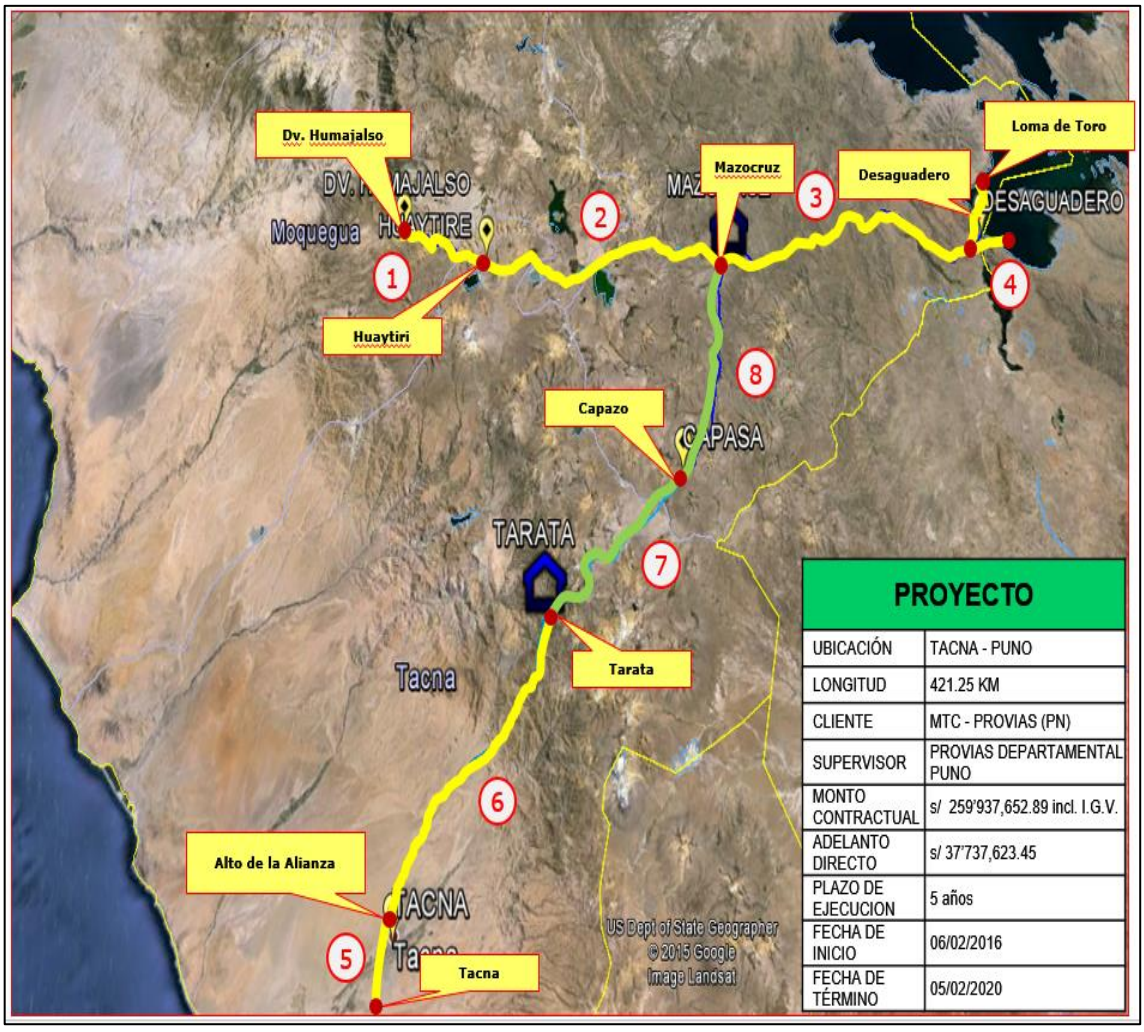


Figura 20. Plano e información del proyecto
Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa – 2016

Instrumentos de Investigación

- Exploración geotécnica (Calicatas).
- Hojas de Cálculo del Programa MS Excel 2016.
- Laboratorio del Consorcio Vial Santa Rosa (Mazocruz). Los ensayos de mayor frecuencia son:
- Análisis granulométrico por tamizado Norma ASTM C 136.
- Humedad Natural Norma ASTM D 2216.
- Límites de Atterberg Norma ASTM D 4318.
- Abrasión Los Ángeles Norma ASTM C 131.
- Materia Orgánica Norma AASHTO T 267.
- Proctor Modificado Norma ASTM D 1557.
- Valor Relativo de Soporte (CBR) Norma ASTM D 1883.
- Ensayos de Laboratorio Universidad San Ignacio de Loyola (USIL).
- Ensayos de clasificación y Diseño Suelo Cemento.

Procedimientos

La información se obtuvo a partir de los datos en campo y posteriormente procesados en los laboratorios. Una vez obtenidos, se procede a realizar el diseño de las mezclas y de los espesores de capas, para poder realizar lo mencionado líneas arribas en el numeral referido a los objetivos principales y secundarios.

Factibilidades

Factibilidad de Información.

La información que se presenta en la investigación se detalla continuación:

Trabajos de Campo.

- Evaluación de la plataforma con calicatas.
- Identificación y evaluación de canteras (Los criterios han sido mencionados en el punto de diseño de la información).
- Identificación de fuentes de agua.

- Evaluación de la condición inicial del pavimento (deflectometría, rugosidad superficial, daños, etc.).

- Estudio de Tráfico (Informativo).

Trabajos de laboratorio.

- Ensayos para evaluación del terreno de fundación (Análisis granulométrico por tamizado ASTM D 6913, Humedad Natural ASTM D 2216, Límites de Atterberg ASTM D 4318, Abrasión Los, Ángeles ASTM C 131, Materia Orgánica AASHTO T 267, Proctor Modificado ASTM D 1557, Valor Relativo de Soporte (CBR) ASTM D 1883.
- Ensayos del pavimento – Mezclas. (los ensayos mencionados en el párrafo anterior aplican para el diseño de las mezclas Suelo Cemento y adicionalmente el último control es el ensayo estándar para la Resistencia a la compresión no-confinada ASTM D 2166-66. En el caso de mezclas con emulsión asfáltica hay una serie de ensayos a realizar (Densidad Específica Bulk ASTM D 1188, Estabilidad Marshall y Flujo a la temperatura ambiente, Estabilidad Marshall y Flujo, después de la inmersión, Análisis de densidad y vacíos C 29/ C 29M, Humedad absorbida después de inmersión).
- Ensayos para evaluación de fuentes de agua (ensayos realizados en laboratorios químicos externos tales como: Potencial de Hidrógeno, Cloruros como Cl-, Sulfatos como SO4, Alcalinidad como CaCO3, Sólidos totales, Conductividad).
- Trabajos de Gabinete.
- Digitalización de Certificados de Control de Calidad de Materiales.
- Elaboración del perfil estratigráfico – SUCS / AASHTO.
- Fichas técnicas y diagramas de canteras.

Diseño Estudio del Pavimento. (Cabe resaltar que todos los datos e información extraídos son obtenidos de campo y de documentos oficiales proporcionados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones).

Diseño de la Capa de Rodadura Asfáltica.

Resultados

Presentación de resultados

El desarrollo de la investigación tuvo como finalidad dar a conocer los resultados de las distintas alternativas de estabilización, previa evaluación del material a emplear. Con ello se busca poseer las herramientas adecuadas para fundamentar técnicamente el presente trabajo y obtener conclusiones apropiadas y precisas, además de brindar soluciones objetivas al planteamiento del problema.

Como ya se describió en la metodología, se siguieron los procedimientos establecidos y normados, con el fin de diseñar pavimentos en condiciones climáticas y así poder evaluar técnica y económicamente; considerando que toda la investigación está regida bajo los lineamientos del proyecto Perú Fase II.

El control de calidad realizado durante todo el proceso estuvo guiado por los siguientes documentos oficiales publicados por el MTC:

- Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013”.
- Manual de Ensayo de Materiales EM-2016.

Los ensayos realizados, frecuencia y lugar de muestreo se detallan a continuación en la tabla 9.

Tabla 9.
Ensayos y frecuencias realizados a canteras

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	NORMA DEL ENSAYO			REQUISITO	FRECUENCIA DE ENSAYOS (m^3)	LUGAR DE MUESTREO
	AASHTO	ASTM	MTC			
Granulometría	T-27	C-136	E-204	Tamaño Máx. 2"	750	Cantera
Límites de Consistencia	T-89	D-4318	E-110	Ll< 25 %, IP < 4 %	750	Cantera
Abrasión	T-85	C-127	E- 207	50 % Máx.	2000	Cantera
Equivalente de Arena	T-176	D-2419	E- 114	35 % Mín.	2000	Cantera
C.B. R.	T-193	D-1883	E- 132	40 % Mín.	2000	Cantera
Partículas Chatas y Alargadas	-	D-4791	E- 211	20 % Máx.	2000	Cantera
Proctor Modificado	T-180	D-1557	E-115	Según Norma	2000	Cantera

Fuente: Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013

Características del Proyecto Perú Fase II.

El proyecto Perú en su fase inicial comprendió el planeamiento y programación de la conservación, considerando inventarios viales calificados (inicial y anuales), actividades de conservación, atención de emergencias viales, seguridad vial, operación, recuperación del derecho de vías, relevamiento de información, entre otros.

Las características más resaltantes que enmarcó el proyecto Peru Fase I en los contratos de Conservación Vial por Niveles de Servicio fueron:

- Contratos de conservación de 3 a 5 años donde se transfiere el riesgo al contratista del estado de la vía.
- Gasto corriente
- Mantenimiento Periódico y cambio de estándar (pavimento básico).
- Costo hasta por $100,000/km.
- Ensanches únicamente en zonas críticas.
- Extensas longitudes en corredores viales.

En la Fase II continuaron ciertas características que se determinaron convenientes, aquellas que se modificaron o aumentaron son:

- Gasto de Capital (Inversión).
- Elaboración de perfiles en 4 meses.
- Costo hasta por $220,000/km.
- Incluye ensanches y mejoras de obras de arte.
- Continúan los estudios de preinversión o inversión para intervenciones más definitivas.

Evaluación de canteras.

Fichas técnicas.

Cantera Poma.

La cantera Poma está ubicada en la progresiva 135+350 al lado izquierdo de la vía, se realizó la evaluación para establecer los criterios y datos de intervención que servirán para emplearla a lo largo del tramo 7.

El material de esta cantera es una extensión de corte de talud coluvial, el cual ya fue explotado y durante la intervención se necesitó realizar actividades de desbroce por la existencia de pastos de zonas altiplánicas.
Asimismo, la cantera posee un volumen de material considerable que se estimó en 179190 m^3 de material cuyo uso será para base y subbase granular.

La figura 21 muestra una vista de la cantera.



Figura 21. Cantera Poma Km.: 135+350 LI
Fuente: Elaboración propia

La figura 22 muestra la ficha técnica de la cantera Poma, realizada a partir de los ensayos ejecutados en laboratorio y la evaluación visual en campo.

FICHA TÉCNICA DE EVALUACIÓN DE CANTERA TRAMO 7 TARATA - CAPAZO			
1. INFORMACIÓN FUNDAMENTAL			
NOMBRE	Poma		
UBICACIÓN	Km.: 135+500 Izq.		
ACCESO	50 metros		
DISPONIBILIDAD	A tratar		
ÁREA A EXPLOTAR (m^2)	35838		
PROFUNDIDAD (m)	5.0		
POTENCIA (m^3)	179190		
ÉPOCA DE EXPLOTACIÓN	Todo el año		
FORMAS DE EXPLOTACIÓN	Tractor, cargador frontal, zaranda, volquetes y chancadora		

2. DATOS DEL MATERIAL DE CANTERA			
Piedra	50.5%	**Gradación granulométrica**	
Arena	32.5%	Bien gradada	X
Limos y Arcillas	17.0%	Mal gradada	
Porcentaje de bolonería > 2"	40%	**Partículas predominantes**	
Tamaño máximo (plg)	8"	Gruesas	X
Forma de las partículas		Finas	
Angular		**Material fino predominante**	
Sub angular	X	Arena	X
Redondeada		Arcilla	
Sub-redondeada			

3. CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES			
TIPO DE ENSAYO	**RESULTADO**	**TIPO DE ENSAYO**	**RESULTADO**
Análisis granulométrico (ASTM C 136)	SATISFACTORIO	Máxima Densidad Seca (ASTM D 1557)	2.054 gr/cm^3
Clasificación SUCS	GM	Humedad Óptima	9.6%
Clasificación AASHTO	A-1-$b_{(0)}$	CBR al 100% (ASTM D 1883)	51.4%
Límite Líquido (ASTM 43 18)	16.4	Abrasión Los Ángeles (ASTM C 131)	27.2%
Límite Plástico (ASTMD 4318)	NP	Materia orgánicas (ASTM C 40)	1.02%
Índice Plástico (ASTM D 4318)	NP	Sales solubles agregado fino	0.08
Equivalente de arena (ASTM D 2419)	26.3	N° SONDAJES EJECUTADOS	5
Humedad Natural (ASTM D 2216)	7.5%	N° MUESTRAS TOMADAS	5

USOS	RENDIMIENTO	TRATAMIENTO
Rellenos (Transitabilidad)	-	-
Sub-base granular (Recarga)	60%	Z,L
Base granular estabilizada	60%	Z,L
Micropavimento	-	-

LEYENDA DE TRATAMIENTOS	
N1 : Explotación directa del material	N2 : Explotación directa eliminando material mayor de 3"
L : Lavado	S : Secado
Z : Zarandeo	M : Mezcla
T : Trituración	

Figura 22. Ficha técnica de la cantera Poma
Fuente: Elaboración propia

Cantera Liwini.

La cantera Liwini está ubicada en la progresiva 149+350 al lado derecho de la vía.
El material de esta cantera es una extensión de corte de talud coluvial, el cual ya fue explotado y durante la intervención se necesitó realizar actividades de desbroce por la existencia de pastos de zonas altiplánicas.
Asimismo, la cantera posee un volumen de material considerable que se estimó en 33658 m^3 de material cuyo uso será para micropavimento, base y subbase granular.

La figura 23 muestra una vista de la cantera.

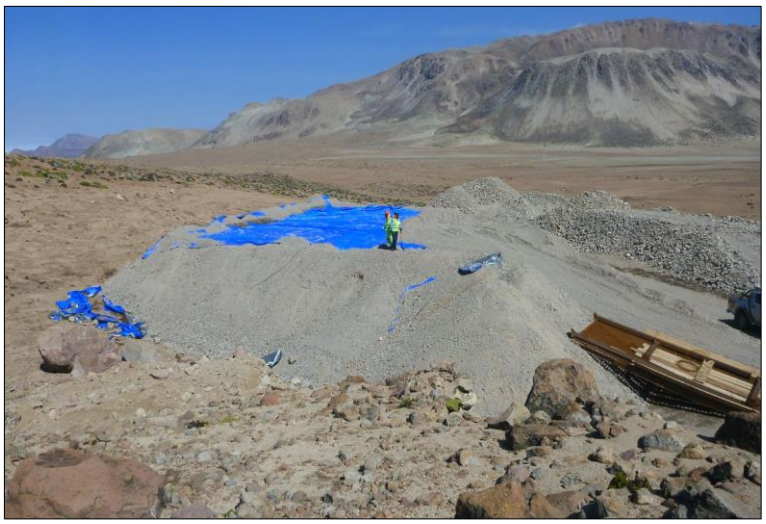


Figura 23. Cantera Liwini Km.: 149+350 LD
Fuente: Elaboración propia

La figura 24 muestra la ficha técnica de la cantera Liwini, realizada a partir de los ensayos ejecutados en laboratorio y la evaluación visual en campo.

FICHA TÉCNICA DE EVALUACIÓN DE CANTERA TRAMO 7 TARATA - CAPAZO			
1. INFORMACIÓN FUNDAMENTAL			
NOMBRE	Liwini		
UBICACIÓN	Km.: 149+350 Der.		
ACCESO	1200 metros		
DISPONIBILIDAD	Sí		
ÁREA A EXPLOTAR (m^2)	13463		
PROFUNDIDAD (m)	2.5		
POTENCIA (m^3)	33658		
ÉPOCA DE EXPLOTACIÓN	Estiaje		
FORMAS DE EXPLOTACIÓN	Tractor, cargador frontal, zaranda, volquetes y chancadora		
2. DATOS DEL MATERIAL DE CANTERA			
Piedra	57.1%	**Gradación granulométrica**	
Arena	38.3%	Bien gradada	
Limos y Arcillas	4.6%	Mal gradada	X
Porcentaje de bolonería > 2"	30%	**Partículas predominantes**	
Tamaño máximo (plg)	10"	Gruesas	X
Forma de las partículas		Finas	
Angular		**Material fino predominante**	
Sub angular	X	Arena	X
Redondeada		Arcilla	
Sub-redondeada			

3. CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES			
TIPO DE ENSAYO	**RESULTADO**	**TIPO DE ENSAYO**	**RESULTADO**
Análisis granulométrico (ASTM C 136)	SATISFACTORIO	Máxima Densidad Seca (ASTM D 1557)	2.061 gr/cm^3
Clasificación SUCS	GP-GM	Humedad Óptima	9.6%
Clasificación AASHTO	A-1-$a_{(0)}$	CBR al 100% (ASTM D 1883)	86.5%
Límite Líquido (ASTM 43 18)	21	Abrasión Los Ángeles (ASTM C 131)	33.1%
Límite Plástico (ASTMD 4318)	NP	Materia orgánicas (ASTM C 40)	1.03%
Índice Plástico (ASTM D 4318)	NP	Sales solubles agregado fino	0.122
Equivalente de arena (ASTM D 2419)	56%	N° SONDAJES EJECUTADOS	5
Humedad Natural (ASTM D 2216)	5.0%	N° MUESTRAS TOMADAS	5

USOS	**RENDIMIENTO**	**TRATAMIENTO**
Rellenos (Transitabilidad)	70%	Z
Sub-base granular (Recarga)	60%	Z
Base granular estabilizada	50%	Z
Pedraplén	50%	Z

LEYENDA DE TRATAMIENTOS	
N1 : Explotación directa del material	N2 : Explotación directa eliminando material mayor de 3"
L : Lavado	S : Secado
Z : Zarandeo	M : Mezcla
T : Trituración	

Figura 24. Ficha técnica de la cantera Liwini
Fuente: Elaboración propia

Cantera Calachaca.

La cantera Calachaca está ubicada en la progresiva 199+160 al lado izquierdo de la vía, se realizó la evaluación para establecer los criterios y datos de intervención que servirán para emplearla a lo largo del tramo 8.

El material de esta cantera es una extensión de corte de talud coluvial, el cual ya fue explotado y durante la intervención se necesitó realizar actividades de desbroce por la existencia de pastos de zonas altiplánicas.

Asimismo, la cantera posee un volumen de material considerable que se estimó en 117032 m^3 de material cuyo uso será para micropavimento, base y subbase granular.

La figura 25 muestra una vista de la cantera.



Figura 25. Cantera Calachaca Km.: 199+160 LI
Fuente: Elaboración propia

La figura 26 muestra la ficha técnica de la cantera Calachaca, realizada a partir de los ensayos ejecutados en laboratorio y la evaluación visual en campo.

FICHA TÉCNICA DE EVALUACIÓN DE CANTERA TRAMO 8 CAPAZO - MAZOCRUZ		
1. INFORMACIÓN FUNDAMENTAL		
NOMBRE	Calachaca	
UBICACIÓN	Km.: 199+160 Izq.	
ACCESO	20 metros	
DISPONIBILIDAD	Sí	
ÁREA A EXPLOTAR (m^2)	29258	
PROFUNDIDAD (m)	4.0	
POTENCIA (m^3)	117032	
ÉPOCA DE EXPLOTACIÓN	Todo el año	
FORMAS DE EXPLOTACIÓN	Tractor, cargador frontal, zaranda, volquetes y chancadora	

2. DATOS DEL MATERIAL DE CANTERA			
Piedra	59.3%	**Gradación granulométrica**	
Arena	32.4%	Bien gradada	
Limos y Arcillas	8.3%	Mal gradada	X
Porcentaje de bolonería > 2"	20%	**Partículas predominantes**	
Tamaño máximo (plg)	4"	Gruesas	X
Forma de las partículas		Finas	
Angular		**Material fino predominante**	
Sub angular	X	Arena	X
Redondeada		Arcilla	
Sub-redondeada			

3. CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES			
TIPO DE ENSAYO	**RESULTADO**	**TIPO DE ENSAYO**	**RESULTADO**
Análisis granulométrico (ASTM C 136)	SATISFACTORIO	Máxima Densidad Seca (ASTM D 1557)	1.925 gr/cm^3
Clasificación SUCS	GP-GM	Humedad Óptima	7.6%
Clasificación AASHTO	A-1-$a_{(0)}$	CBR al 100% (ASTM D 1883)	68.2%
Límite Líquido (ASTM 43 18)	19	Abrasión Los Ángeles (ASTM C 131)	22.6%
Límite Plástico (ASTMD 4318)	NP	Materia orgánicas (ASTM C 40)	1.14%
Índice Plástico (ASTM D 4318)	NP	Sales solubles agregado fino	0.277
Equivalente de arena (ASTM D 2419)	41%	N° SONDAJES EJECUTADOS	5
Humedad Natural (ASTM D 2216)	8.2%	N° MUESTRAS TOMADAS	5

USOS	**RENDIMIENTO**	**TRATAMIENTO**
Rellenos (Transitabilidad)	80%	N2
Sub-base granular (Recarga)	80%	Z
Base granular estabilizada	80%	Z
Micropavimento	20%	Z,T,L

LEYENDA DE TRATAMIENTOS	
N1 : Explotación directa del material	N2 : Explotación directa eliminando material mayor de 3"
L : Lavado	S : Secado
Z : Zarandeo	M : Mezcla
T : Trituración	

Figura 26. Ficha técnica de la cantera Calachaca
Fuente: Elaboración propia

Cantera Mazocruz.

La cantera Mazocruz está ubicada en la progresiva 225+650 al lado izquierdo de la vía. El material de esta cantera proviene de un depósito aluvial cercano al río Llusta, el cual ya fue explotado y durante la intervención no se requirió actividades de desbroce.
Asimismo, la cantera posee un volumen de material considerable que se estimó en 32561 m^3 de material cuyo uso será para base y subbase granular.

La figura 27 muestra una vista de la cantera.



Figura 27. Cantera Mazocruz Km.: 225+650 LD
Fuente: Elaboración propia

La figura 28 muestra la ficha técnica de la cantera Mazocruz, realizada a partir de los ensayos ejecutados en laboratorio y la evaluación visual en campo.

FICHA TÉCNICA DE EVALUACIÓN DE CANTERA TRAMO 8 CAPAZO - MAZOCRUZ		
1. INFORMACIÓN FUNDAMENTAL		
NOMBRE	Mazocruz	
UBICACIÓN	Km.: 225+650 Der.	
ACCESO	100 metros	
DISPONIBILIDAD	Sí	
ÁREA A EXPLOTAR (m^2)	32561	
PROFUNDIDAD (m)	2.0	
POTENCIA (m^3)	65122	
ÉPOCA DE EXPLOTACIÓN	Todo el año	
FORMAS DE EXPLOTACIÓN	Tractor, cargador frontal, zaranda, volquetes y chancadora	

2. DATOS DEL MATERIAL DE CANTERA			
Piedra	62.1%	**Gradación granulométrica**	
Arena	35.0%	Bien gradada	
Limos y Arcillas	2.9%	Mal gradada	X
Porcentaje de bolonería > 2"	0%	**Partículas predominantes**	
Tamaño máximo (plg)	2"	Gruesas	X
Forma de las partículas		Finas	
Angular		**Material fino predominante**	
Sub angular		Arena	X
Redondeada	X	Arcilla	
Sub-redondeada			

3. CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES			
TIPO DE ENSAYO	**RESULTADO**	**TIPO DE ENSAYO**	**RESULTADO**
Análisis granulométrico (ASTM C 136)	SATISFACTORIO	Máxima Densidad Seca (ASTM D 1557)	1.978 gr/cm^3
Clasificación SUCS	GP	Humedad Óptima	9.3%
Clasificación AASHTO	A-1-$a_{(0)}$	CBR al 100% (ASTM D 1883)	83.1%
Límite Líquido (ASTM 43 18)	17	Abrasión Los Ángeles (ASTM C 131)	26.4%
Límite Plástico (ASTMD 4318)	NP	Materia orgánicas (ASTM C 40)	0.92%
Índice Plástico (ASTM D 4318)	NP	Sales solubles agregado fino	0.282
Equivalente de arena (ASTM D 2419)	73%	N° SONDAJES EJECUTADOS	5
Humedad Natural (ASTM D 2216)	6.7%	N° MUESTRAS TOMADAS	5

USOS	**RENDIMIENTO**	**TRATAMIENTO**
Rellenos (Transitabilidad)	100%	N2
Sub-base granular (Recarga)	100%	N2
Base granular estabilizada	100%	N2
Micropavimento	90%	Z,T,S

LEYENDA DE TRATAMIENTOS	
N1 : Explotación directa del material	N2 : Explotación directa eliminando material mayor de 3"
L : Lavado	S : Secado
Z : Zarandeo	M : Mezcla
T : Trituración	

Figura 28. Ficha técnica de la cantera Mazocruz
Fuente: Elaboración propia

Ensayos de control de calidad.

A continuación, se presentan los cuadros de resumen de los ensayos realizados de cada cantera evaluada, siguiendo los lineamientos establecidos en el Manual de Ensayo de Materiales EM-2016.

Las tablas 10, 11, 12 y 13 muestran los resultados obtenidos durante la elaboración de los ensayos de control de calidad de las canteras Poma, Liwini, Calachaca y Mazocruz

Tabla 10.

Resumen de ensayo de materiales de la cantera Poma

CUADRO RESUMEN DE ENSAYO DE MATERIALES - CANTERA POMA KM.: 135+500 LADO IZQUIERDO																																
CALICATA	% QUE PASA EL TAMIZ																HUM. NAT. (%)	CONST. FÍSICAS N° 40			CLASIFICACIÓN		PRÓCTOR MODIFICADO		CBR AL 100% DE LA MDS A 0.1"	CHATAS Y ALARGADAS (%)	ABSORCIÓN (%)		EQUIV. DE ARENA (%)	ABRASIÓN (%)	DURABILIDAD (%)		SALES SOLUBLES		MAT. ORG. (%)
	3"	21/2"	2"	11/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°20	N°40	N°50	N°100	N°200			L L	L P	I P	SUCS	AASHTO	MDS (gr/cm^3)	OCH (%)			FINO	GRUESO			FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	
C-1	100.0	100.0	96.5	95.6	90.7	85.3	73.4	66.2	51.3	42.3	36.3	31.6	28.9	23.2	17.6	6.5	16	NP	NP	GM	A-1-b (0)	2.052	9.7	50.6	3.6	2.503	2.523	26.0	25.3	5.21	4.39	0.073	0.056	0.99
C-2	100.0	100.0	97.9	94.9	88.1	79.7	67.9	61.6	47.6	39.3	34.0	29.9	27.5	22.3	19.1	8.1	16	NP	NP	GM	A-1-b (0)	2.048	9.7	49.9	3.8	2.499	2.513	27.0	26.1	4.36	4.03	0.086	0.063	1.08
C-3	100.0	100.0	97.8	94.7	87.7	79.5	67.3	60.9	46.1	37.7	32.0	28.2	25.6	20.0	16.7	7.2	15	NP	NP	GM	A-1-b (0)	2.063	9.3	53.6	4.3	2.503	2.515	26.0	27.5	5.79	5.29	0.080	0.073	0.94
C-4	100.0	100.0	98.8	96.5	90.1	82.5	71.1	63.9	49.7	41.2	34.7	30.7	26.5	19.7	17.5	7.8	19	NP	NP	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-	2.516	2.528	26.0	30.0	-	-	-	-	1.08
C-5	100.0	98.4	97.7	95.5	91.4	86.7	76.3	70.5	57.8	49.9	42.9	36.6	28.7	20.5	14.2	8.1	16	NP	NP	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.01
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	5
Xp	**100.0**	**99.7**	**97.7**	**95.5**	**89.6**	**82.8**	**71.2**	**64.6**	**50.5**	**42.1**	**36.0**	**31.4**	**27.4**	**21.1**	**17.0**	**7.5**	**16.4**	**NP**	**NP**	**GM**	**A-1-a (0)**	**2.054**	**9.6**	**51.4**	**3.9**	**2.5**	**2.5**	**26.3**	**27.2**	**5.12**	**4.57**	**0.080**	**0.064**	**1.02**
MÍN	100.0	98.4	96.5	94.7	87.7	79.5	67.3	60.9	46.1	37.7	32.0	28.2	25.6	19.7	14.2	6.5	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.048	9.3	49.9	3.6	2.5	2.5	26.0	25.3	4.36	4.03	0.073	0.056	0.94
MÁX	100.0	100.0	98.8	96.5	91.4	86.7	76.3	70.5	57.8	49.9	42.9	36.6	28.9	23.2	19.1	8.1	19.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.063	9.7	53.6	4.3	2.5	2.5	27.0	30.0	5.79	5.29	0.086	0.073	1.08

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11.

Resumen de ensayo de materiales de la cantera Liwini

CUADRO RESUMEN DE ENSAYO DE MATERIALES - CANTERA LIWINI KM.: 149+350 LADO DERECHO																																		
CALICATA	% QUE PASA EL TAMIZ																HUM. NAT. (%)	CONST. FÍSICAS N° 40			CLASIFICACIÓN		PRÓCTOR MODIFICADO		CBR AL 100% DE LA MDS A 0.1"	CHATAS Y ALARGADAS (%)	ABSORCIÓN (%)		EQUIV. DE ARENA (%)	ABRASIÓN (%)	DURABILIDAD (%)		SALES SOLUBLES		MAT. ORG. (%)
	3"	21/2"	2"	11/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°20	N°40	N°50	N°100	N°200			L L	L P	I P	SUCS	AASHTO	MDS (gr/cm^3)	OCH (%)			FINO	GRUESO			FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	
C-1	100.0	100.0	97.9	93.1	83.5	77.3	66.9	61.4	52.7	40.3	30.2	21.3	14.5	8.1	5.6	3.0	21	NP	NP	GP-GM	A-1-a (0)	2.076	8.8	91.0	5.4	2.620	2.514	60.0	26.7	12.40	11.59	0.132	0.155	0.99
C-2	93.8	85.8	71.4	55.9	40.8	32.1	24.1	20.2	13.9	11.0	8.6	6.8	5.1	3.6	2.7	6.6	20	NP	NP	GP	A-2-4 (0)	2.063	9.4	85.5	5.1	2.613	2.522	60.0	38.2	12.30	11.81	0.145	0.175	0.92
C-3	100.0	93.4	85.2	75.7	65.2	58.8	50.7	45.6	38.9	32.3	25.2	19.5	14.5	8.6	4.9	4.4	21	NP	NP	GP	A-1-a (0)	2.044	10.5	82.9	5.0	2.624	2.529	55.0	34.6	12.84	12.06	0.088	0.165	0.93
C-4	100.0	100.0	100.0	99.3	95.0	91.4	80.1	72.1	49.2	34.3	21.4	13.8	11.1	7.1	5.3	4.5	20	NP	NP	GP-GM	A-1-a (0)	-	-	-	4.6	2.624	2.677	54.0	36.2	-	-	-	-	1.01
C-5	100.0	100.0	100.0	99.1	95.7	93.0	85.3	78.6	59.7	41.2	25.9	16.4	10.1	6.5	4.4	6.4	21	NP	NP	SP	A-1-a (0)	-	-	-	-	-	-	52.0	29.8	-	-	-	-	1.29
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	3	3	4	4	4	5	5	3	3	3	3	5
Xp	**98.8**	**95.8**	**90.9**	**84.6**	**76.0**	**70.5**	**61.4**	**55.6**	**42.9**	**31.8**	**22.3**	**15.6**	**11.1**	**6.8**	**4.6**	**5.0**	**20.6**	**NP**	**NP**	**GM**	**A-1-a (0)**	**2.061**	**9.6**	**86.5**	**5.0**	**2.6**	**2.6**	**56.2**	**33.1**	**12.51**	**11.82**	**0.122**	**0.165**	**1.03**
MÍN	93.8	85.8	71.4	55.9	40.8	32.1	24.1	20.2	13.9	11.0	8.6	6.8	5.1	3.6	2.7	3.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.044	8.8	82.9	4.6	2.6	2.5	52.0	26.7	12.30	11.59	0.088	0.155	0.92
MÁX	100.0	100.0	100.0	99.3	95.7	93.0	85.3	78.6	59.7	41.2	30.2	21.3	14.5	8.6	5.6	6.6	21.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.076	10.5	91.0	5.4	2.6	2.7	60.0	38.2	12.84	12.06	0.145	0.175	1.29

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12.

Resumen de ensayo de materiales de la cantera Calachaca

CUADRO RESUMEN DE ENSAYO DE MATERIALES - CANTERA CALACHACA KM.: 199+160 LADO IZQUIERDO																																	
CALICATA	% QUE PASA EL TAMIZ																HUM. NAT. (%)	CONST. FÍSICAS N° 40			CLASIFICACIÓN		PRÓCTOR MODIFICADO		CBR AL 100% DE LA MDS A 0.1"	CHATAS Y ALARGADAS (%)	ABSORCIÓN (%)		EQUIV. DE ARENA (%)	ABRASIÓN (%)	DURABILIDAD (%)		SALES SOLUBLES		MAT. ORG. (%)
	3"	21/2"	2"	11/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°20	N°40	N°50	N°100	N°200		L L	L P	I P	SUCS	AASHTO	MDS (gr/cm^3)	OCH (%)			FINO	GRUESO			FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	
C-1	86.5	84.8	82.5	76.1	61.5	54.2	44.0	40.6	31.1	25.8	20.8	16.8	14.9	10.7	8.7	7.8	20	NP	NP	GW-GM	A-1-a (0)	1.924	7.5	61.6	8.5	2.571	2.533	43.0	22.1	3.28	2.50	0.285	0.206	1.28
C-2	100.0	97.3	89.7	82.8	73.6	67.0	58.0	53.2	42.8	35.4	28.9	23.4	20.7	14.6	11.8	9.9	19	NP	NP	GP-GM	A-1-a (0)	1.902	7.9	79.9	6.7	2.550	2.525	40.0	22.0	3.31	2.69	0.265	0.199	1.90
C-3	100.0	100.0	90.5	85.0	77.9	72.1	61.4	56.8	43.3	33.0	22.7	15.5	12.9	8.1	6.0	8.8	17	NP	NP	GP-GM	A-1-a (0)	1.949	7.3	62.9	8.8	2.552	2.548	42.0	23.6	3.16	2.72	0.282	0.214	1.01
C-4	99.5	98.1	90.7	83.5	74.2	67.5	58.0	52.6	42.1	33.4	26.9	20.6	18.0	12.5	8.9	6.8	19	NP	NP	GP-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.15
C-5	100.0	98.8	91.0	85.0	77.5	73.1	63.1	56.1	44.0	33.1	23.4	15.5	12.5	8.1	6.0	7.6	20	NP	NP	GP-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.35
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	5
Xp	**97.2**	**95.8**	**88.9**	**82.5**	**72.9**	**66.8**	**56.9**	**51.9**	**40.7**	**32.2**	**24.5**	**18.4**	**15.8**	**10.8**	**8.3**	**8.2**	**19.0**	**NP**	**NP**	**GM**	**A-1-a (0)**	**1.925**	**7.6**	**68.2**	**8.0**	**2.6**	**2.5**	**41.7**	**22.6**	**3.25**	**2.64**	**0.277**	**0.206**	**1.14**
MÍN	86.5	84.8	82.5	76.1	61.5	54.2	44.0	40.6	31.1	25.8	20.8	15.5	12.5	8.1	6.0	6.8	17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.902	7.3	61.6	6.7	2.6	2.5	40.0	22.0	3.16	2.50	0.265	0.199	0.35
MÁX	100.0	100.0	91.0	85.0	77.9	73.1	63.1	56.8	44.0	35.4	28.9	23.4	20.7	14.6	11.8	9.9	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.949	7.9	79.9	8.8	2.6	2.5	43.0	23.6	3.31	2.72	0.285	0.214	1.90

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13.

Resumen de ensayo de materiales de la cantera Mazocruz

CUADRO RESUMEN DE ENSAYO DE MATERIALES - CANTERA MAZOCRUZ KM.: 225+650 LADO DERECHO																																	
CALICATA	% QUE PASA EL TAMIZ																HUM. NAT. (%)	CONST. FÍSICAS N° 40			CLASIFICACIÓN		PRÓCTOR MODIFICADO		CBR AL 100% DE LA MDS A 0.1"	CHATAS Y ALARGADAS (%)	ABSORCIÓN (%)		EQUIV. DE ARENA (%)	ABRASIÓN (%)	DURABILIDAD (%)		SALES SOLUBLES		MAT. ORG. (%)
	3"	21/2"	2"	11/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°20	N°40	N°50	N°100	N°200		L L	L P	I P	SUCS	AASHTO	MDS (gr/cm^3)	OCH (%)			FINO	GRUESO			FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	
C-1	100.0	100.0	99.5	74.3	60.5	59.7	47.0	41.0	28.6	22.5	17.0	12.0	8.7	3.3	2.1	6.6	17	NP	NP	GP	A-1-a (0)	1.975	9.8	84.2	4.2	2.542	2.450	72.0	26.2	2.82	2.26	0.274	0.215	0.94
C-2	100.0	100.0	90.7	84.4	72.3	63.2	51.0	44.7	31.8	22.7	16.7	11.8	8.6	2.9	2.2	7.6	15	NP	NP	GP	A-1-a (0)	1.992	9.7	82.2	2.8	2.560	2.455	75.0	26.5	2.90	2.28	0.274	0.211	0.81
C-3	100.0	100.0	98.9	93.1	81.4	72.7	60.8	55.2	41.9	30.8	22.5	16.2	12.0	5.1	3.0	6.0	18	NP	NP	GP	A-1-a (0)	1.968	8.3	83.0	3.0	2.549	2.467	73.0	26.6	2.76	2.24	0.298	0.226	0.81
C-4	100.0	100.0	98.7	93.0	81.8	72.9	60.6	54.6	41.6	30.2	22.0	15.4	11.3	4.2	2.6	7.0	18	NP	NP	GP	A-1-a (0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.08
C-5	100.0	100.0	98.8	92.9	81.9	73.6	62.8	57.4	45.5	33.7	25.2	18.6	13.9	6.8	4.7	6.2	18	NP	NP	GP	A-1-a (0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.94
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	5
Xp	**100.0**	**100.0**	**97.3**	**87.5**	**75.6**	**68.4**	**56.4**	**50.6**	**37.9**	**28.0**	**20.7**	**14.8**	**10.9**	**4.5**	**2.9**	**6.7**	**17.2**	**NP**	**NP**	**GM**	**A-1-a (0)**	**1.978**	**9.3**	**83.1**	**3.3**	**2.6**	**2.5**	**73.3**	**26.4**	**2.83**	**2.26**	**0.282**	**0.217**	**0.92**
MÍN	100.0	100.0	90.7	74.3	60.5	59.7	47.0	41.0	28.6	22.5	16.7	11.8	8.6	2.9	2.1	6.0	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.968	8.3	82.2	2.8	2.5	2.5	72.0	26.2	2.76	2.24	0.274	0.211	0.81
MÁX	100.0	100.0	99.5	93.1	81.9	73.6	62.8	57.4	45.5	33.7	25.2	18.6	13.9	6.8	4.7	7.6	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.992	9.8	84.2	4.2	2.6	2.5	75.0	26.6	2.90	2.28	0.298	0.226	1.08

Fuente: Elaboración propia

Evaluación de fuentes de agua.

La tabla 14 muestra los resultados realizados y valores obtenidos durante la evaluación de fuentes de agua del tramo 7.

La fuente principal de abastecimiento para el tramo 7 fue la del Canal Yungas ubicada en la progresiva 98+200 al lado izquierdo de la vía.

Tabla 14.

Resultados de ensayos a fuentes de agua del tramo 7

ENSAYOS	UNID.	TRAMO 7 TARATA - CAPAZO				
		1	2	3	4	5
		RÍO CHACAVIRI	CANAL YUNGAS	RÍO QUEQUESANE	RÍO MAURE	RÍO CHILLICUICO
		KM.: 87+300 LD	KM.: 98+200 LI	KM.: 137+600 LI	KM.: 164+600 LD	KM.: 168+500 LD
pH	pH	8.32	7.95	3.52	8.15	7.98
Sulfatos (SO_4)	(ppm)	84.29	28.00	16.00	66.00	38.20
Alcalinidad Total ($NaHCO_3$)	(ppm)	141.27	121.27	111.26	294.99	134.20
Sales Solubles	(ppm)	286.20	86	59	1004	158
Materia Orgánica	(ppm)	0.97	1.02	1.87	1.91	1.89

Fuente: Elaboración propia

La tabla 15 muestra los resultados realizados y valores obtenidos durante la evaluación de fuentes de agua del tramo 8.

La fuente principal de abastecimiento para el tramo 8 fue la del río Llusta ubicado en la progresiva 209+400 al lado izquierdo de la vía.

Tabla 15.

Resultados de ensayos a fuentes de agua del tramo 8

ENSAYOS	UNID.	TRAMO 8 CAPAZO - MAZOCRUZ					
		1	2	3	4	5	6
		RÍO VILUTA	RÍO HUMAJALSO	RÍO LLUSTA	RÍO LLUSTA	RÍO LLUSTA	RÍO LLUSTA
		KM.: 186+200 LI	KM.: 199+600 LD	KM.: 203+600 LD	KM.: 209+400 LI	KM.: 214+700 LI	KM.: 219+800 LI
pH	pH	8.86	8.18	7.71	8.21	7.74	7.75
Sulfatos (SO_4)	(ppm)	5.00	16.00	53.00	44.00	51.00	46.00
Alcalinidad Total ($NaHCO_3$)	(ppm)	72.47	145.00	148.00	136.40	123.46	149.20
Sales Solubles	(ppm)	50.00	160	286	198.3	187	193
Materia Orgánica	(ppm)	1.79	1.62	1.77	0.93	1.93	1.63

Fuente: Elaboración propia

Diseño del material granular estabilizado con cemento Portland.

El diseño del suelo estabilizado con cemento Portland se realizó satisfactoriamente, obteniendo resultados adecuados de moldeo y Resistencia a la compresión no confinada.

Previamente al moldeo, se realizaron ensayos de verificación entre estos: Granulometría, Humedad Natural, Proctor Modificado como se muestran en las figuras 29, 30 y 31.



Figura 29. Granulometría del agregado para diseño
Fuente: Elaboración propia



Figura 30. Homogenización del material para ensayo Proctor Modificado
Fuente: Elaboración propia

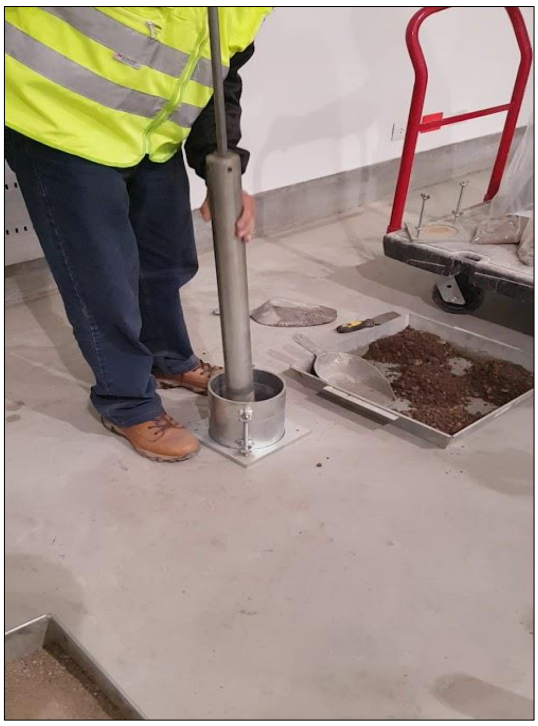


Figura 31. Compactación del suelo de diseño - Proctor Modificado
Fuente: Elaboración propia

Moldeo y curado.

Se realizó el moldeo y curado de las briquetas suelo-cemento, verificando las propiedades físicas y volumétricas en función de las propiedades óptimas obtenidas en el ensayo de Proctor Modificado. Las figuras 32, 33 y 34 muestran los procesos de moldeo, extracción y curado de las briquetas de suelo estabilizadas con 2%,3% y 4% de cemento Portland.



Figura 32. Moldeo de briqueta Suelo Cemento
Fuente: Elaboración propia



Figura 33. Extracción de briqueta Suelo Cemento
Fuente: Elaboración propia



Figura 34. Hermetizado y Curado de briqueta Suelo Cemento
Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos durante el moldeo del material de la cantera Poma se presentan en la tabla 16.

Tabla 16.
Verificación de moldeo de briquetas Suelo Cemento, Cantera Poma

VERIFICACIÓN DE MOLDEO												
NÚMERO DE CILINDRO	CANTIDAD DE CEMENTO	PESO MOLDE + MATERIAL	PESO MATERIAL HÚMEDO	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD							BRIQUETA	
				TARA	PESO HÚMEDO	PESO SECO	PESO DE TARA	AGUA	SUELO SECA	HUMEDAD	DENSIDAD HÚMEDA	DENSIDAD SECA
Nº	(%)	(gr)	(gr)	Nº	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)	(gr/cm^3)	(gr/cm^3)
1	2	6231	2077	T-1	281.3	266.4	90.00	14.9	176.4	8.4	2.217	2.044
1	2	6238	2084	T-1	282.7	267.5	90.00	15.2	177.5	8.6	2.224	2.049
1	2	6241	2087	T-1	276.5	261.5	90.00	15.0	171.5	8.7	2.227	2.048
1	3	6251	2097	T-2	289.1	273.2	86.00	15.9	187.2	8.5	2.238	2.063
1	3	6257	2103	T-2	271.3	256.9	86.00	14.4	170.9	8.4	2.244	2.070
1	3	6254	2100	T-2	296.2	279.4	86.00	16.8	193.4	8.7	2.241	2.062
1	4	6274	2120	T-3	266.2	252.3	88.00	13.9	164.3	8.5	2.263	2.086
1	4	6271	2117	T-3	270.7	256.1	88.00	14.6	168.1	8.7	2.259	2.079
1	4	6269	2115	T-3	281.3	266.4	88.00	14.9	178.4	8.4	2.257	2.083
PROMEDIO										8.5	2.241	2.065

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos durante el moldeo del material de la cantera Liwini se presentan en la tabla 17.

Tabla 17.
Verificación de moldeo de briquetas Suelo Cemento, Cantera Liwini

VERIFICACIÓN DE MOLDEO												
NÚMERO DE CILINDRO	CANTIDAD DE CEMENTO	PESO MOLDE + MATERIAL	PESO MATERIAL HÚMEDO	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD							BRIQUETA	
				TARA	PESO HÚMEDO	PESO SECO	PESO DE TARA	AGUA	SUELO SECA	HUMEDAD	DENSIDAD HÚMEDA	DENSIDAD SECA
Nº	(%)	(gr)	(gr)	Nº	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)	(gr/cm^3)	(gr/cm^3)
1	2	6271	2117	T-1	265.9	250.8	90.00	15.1	160.8	9.4	2.259	2.065
1	2	6259	2105	T-1	282.9	266.5	90.00	16.4	176.5	9.3	2.247	2.056
1	2	6275	2121	T-1	233.3	221.0	90.00	12.3	131.0	9.4	2.264	2.069
1	3	6297	2143	T-2	258.9	243.9	86.00	15.0	157.9	9.5	2.287	2.089
1	3	6262	2108	T-2	240.8	227.5	86.00	13.3	141.5	9.4	2.250	2.056
1	3	6250	2096	T-2	284.8	268.1	86.00	16.7	182.1	9.2	2.237	2.049
1	4	6273	2119	T-3	242.3	229.0	88.00	13.3	141.0	9.4	2.261	2.067
1	4	6309	2134	T-3	279.2	263.0	88.00	16.2	175.0	9.3	2.277	2.085
1	4	6296	2142	T-3	242.7	229.4	88.00	13.3	141.4	9.4	2.286	2.089
PROMEDIO										9.4	2.263	2.069

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos durante el moldeo del material de la cantera Calachaca se presentan en la tabla 18.

Tabla 18.
Verificación de moldeo de briquetas Suelo Cemento, Cantera Calachaca

VERIFICACIÓN DE MOLDEO												
NÚMERO DE CILINDRO	CANTIDAD DE CEMENTO	PESO MOLDE + MATERIAL	PESO MATERIAL HÚMEDO	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD							BRIQUETA	
				TARA	PESO HÚMEDO	PESO SECO	PESO DE TARA	AGUA	SUELO SECA	HUMEDAD	DENSIDAD HÚMEDA	DENSIDAD SECA
Nº	(%)	(gr)	(gr)	Nº	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)	(gr/cm^3)	(gr/cm^3)
1	2	6205	2051	T-1	246.3	235.5	90.00	10.8	145.5	7.4	2.189	2.038
1	2	6217	2063	T-1	201.8	193.9	90.00	7.9	103.9	7.6	2.202	2.046
1	2	6214	2060	T-1	216.7	207.7	90.00	9.0	117.7	7.6	2.199	2.042
1	3	6234	2080	T-2	243.1	231.8	86.00	11.3	145.8	7.8	2.220	2.060
1	3	6240	2086	T-2	221.8	212.2	86.00	9.6	126.2	7.6	2.226	2.069
1	3	6275	2121	T-2	250.4	238.7	86.00	11.7	152.7	7.7	2.264	2.103
1	4	6248	2094	T-3	223.9	214.4	88.00	9.5	126.4	7.5	2.235	2.079
1	4	6257	2103	T-3	245.5	234.3	88.00	11.2	146.3	7.7	2.244	2.085
1	4	6273	2119	T-3	226.7	217.0	88.00	9.7	129.0	7.5	2.261	2.103
PROMEDIO										7.6	2.227	2.069

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos durante el moldeo del material de la cantera Mazocruz se presentan en la tabla 19.

Tabla 19.
Verificación de moldeo de briquetas Suelo Cemento, Cantera Mazocruz

VERIFICACIÓN DE MOLDEO												
NÚMERO DE CILINDRO	CANTIDAD DE CEMENTO	PESO MOLDE + MATERIAL	PESO MATERIAL HÚMEDO	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD							BRIQUETA	
				TARA	PESO HÚMEDO	PESO SECO	PESO DE TARA	AGUA	SUELO SECA	HUMEDAD	DENSIDAD HÚMEDA	DENSIDAD SECA
Nº	(%)	(gr)	(gr)	Nº	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)	(gr/cm^3)	(gr/cm^3)
1	2	6244	2090	T-1	203.4	193.2	90.00	10.2	103.2	9.9	2.231	2.030
1	2	6242	2088	T-1	216.8	205.6	90.00	11.2	115.6	9.7	2.228	2.032
1	2	6228	2074	T-1	197.1	187.6	90.00	9.5	97.6	9.7	2.213	2.017
1	3	6283	2129	T-2	255.3	240.2	86.00	15.1	154.2	9.8	2.272	2.069
1	3	6271	2117	T-2	243.7	229.5	86.00	14.2	143.5	9.9	2.259	2.056
1	3	6253	2099	T-2	227.6	214.8	86.00	12.8	128.8	9.9	2.240	2.038
1	4	6265	2111	T-3	242.1	228.2	86.00	13.9	142.2	9.8	2.253	2.052
1	4	6289	2135	T-3	261.1	245.6	86.00	15.5	159.6	9.7	2.279	2.077
1	4	6280	2126	T-3	245.9	231.7	86.00	14.2	145.7	9.7	2.269	2.067
PROMEDIO										9.8	2.249	2.049

Fuente: Elaboración propia

Resistencia a la compresión no confinada.

De la misma manera, se presentan los resultados de las briquetas ensayadas a compresión no confinada para el material de las canteras de diseño.

Los promedios obtenidos de las resistencias a los siete días de curado fueron los parámetros decisivos al momento de realizar el diseño y la determinación del coeficiente de aporte estructural.

La figura 35 muestra el ensayo de compresión no confinada realizado a las briquetas Suelo Cemento; de la misma manera se presenta la briqueta fallada producto de la carga inducida.



Figura 35. Ensayo a la compresión no confinada de briqueta Suelo Cemento
Fuente: Elaboración propia

Los resultados del ensayo a la compresión no confinada de la cantera Poma se presentan en la tabla 20.

Tabla 20.

Resistencia a la compresión no confinada de briquetas suelo-cemento, Cantera Poma

DATOS DEL ESPÉCIMEN SUELO - CEMENTO							
NÚMERO DE CILINDRO	**NÚMERO DE ESPÉCIMEN**	**CANTIDAD DE CEMENTO (%)**	**EDAD (DÍAS)**	**LECTURA DEL DIAL (Kg)**	**ÁREA (cm^2)**	**RESISTENCIA (Kg/cm^2)**	**PROMEDIO DE RESISTENCIA**
1	1	2	7	1224	80.28	15.2	15.5
1	2	2	7	1265	80.28	15.8	
1	3	2	7	1242	80.28	15.5	
1	1	3	7	2415	80.28	30.1	30.0
1	2	3	7	2402	80.28	29.9	
1	3	3	7	2399	80.28	29.9	
1	1	4	7	3632	80.28	45.2	46.1
1	2	4	7	3774	80.28	47.0	
1	3	4	7	3685	80.28	45.9	

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del ensayo a la compresión no confinada de la cantera Liwini se presentan en la tabla 21.

Tabla 21.

Resistencia a la compresión no confinada de briquetas suelo-cemento, Cantera Liwini

DATOS DEL ESPÉCIMEN SUELO - CEMENTO							
NÚMERO DE CILINDRO	**NÚMERO DE ESPÉCIMEN**	**CANTIDAD DE CEMENTO (%)**	**EDAD (DÍAS)**	**LECTURA DEL DIAL (Kg)**	**ÁREA (cm^2)**	**RESISTENCIA (Kg/cm^2)**	**PROMEDIO DE RESISTENCIA**
1	1	2	7	1537	80.28	19.1	18.6
1	2	2	7	1491	80.28	18.6	
1	3	2	7	1450	80.28	18.1	
1	1	3	7	2649	80.28	33.0	32.5
1	2	3	7	2705	80.28	33.7	
1	3	3	7	2471	80.28	30.8	
1	1	4	7	3849	80.28	47.9	47.8
1	2	4	7	3776	80.28	47.0	
1	3	4	7	3886	80.28	48.4	

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del ensayo a la compresión no confinada de la cantera Calachaca se presentan en la tabla 22.

Tabla 22.

Resistencia a la compresión no confinada de briquetas suelo-cemento, Cantera Calachaca

DATOS DEL ESPÉCIMEN SUELO - CEMENTO							
NÚMERO DE CILINDRO	**NÚMERO DE ESPÉCIMEN**	**CANTIDAD DE CEMENTO (%)**	**EDAD (DÍAS)**	**LECTURA DEL DIAL (Kg)**	**ÁREA (cm^2)**	**RESISTENCIA (Kg/cm^2)**	**PROMEDIO DE RESISTENCIA**
1	1	2	7	1197	80.28	14.9	14.9
1	2	2	7	1218	80.28	15.2	
1	3	2	7	1165	80.28	14.5	
1	1	3	7	2305	80.28	28.7	28.9
1	2	3	7	2415	80.28	30.1	
1	3	3	7	2251	80.28	28.0	
1	1	4	7	3552	80.28	44.2	44.3
1	2	4	7	3472	80.28	43.2	
1	3	4	7	3642	80.28	45.4	

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del ensayo a la compresión no confinada de la cantera Mazocruz se presentan en la tabla 23.

Tabla 23.
Resistencia a la compresión no confinada de briquetas suelo-cemento, Cantera Mazocruz

DATOS DEL ESPÉCIMEN SUELO - CEMENTO							
NÚMERO DE CILINDRO	**NÚMERO DE ESPÉCIMEN**	**CANTIDAD DE CEMENTO (%)**	**EDAD (DÍAS)**	**LECTURA DEL DIAL (Kg)**	**ÁREA (cm^2)**	**RESISTENCIA (Kg/cm^2)**	**PROMEDIO DE RESISTENCIA**
1	1	2	7	1478.9	80.28	18.4	16.0
1	2	2	7	1296.9	80.28	16.2	
1	3	2	7	1074.5	80.28	13.4	
1	1	3	7	2405.7	80.28	30.0	30.6
1	2	3	7	2368.7	80.28	29.5	
1	3	3	7	2584.2	80.28	32.2	
1	1	4	7	3438.5	80.28	42.8	49.0
1	2	4	7	4321.9	80.28	53.8	
1	3	4	7	4052.0	80.28	50.5	

Fuente: Elaboración propia

Diseño del material granular estabilizado con emulsión asfáltica.

El proceso de diseño duró aproximadamente cinco días, contemplando los tiempos de moldeo, curado y rotura para cada una de las canteras y se centró en satisfacer ciertos criterios que se presentan a continuación:

- Tamaño máximo del agregado grueso igual a 2”.
- Material pasante por la malla N°200 menor a 10%
- Materia orgánica menor a 1%
- Porcentaje de recubrimiento mayor a 50%.
- Estabilidad Marshall modificada mayor a 230kg.
- Pérdida de estabilidad menor a 50%.

El diseño se realizó adecuadamente, respetando los tiempos establecidos y los criterios sugeridos. Las variaciones y ajustes se realizaron en campo; sin embargo, los valores obtenidos presentaron similitudes con resultados estimados.

El proceso de diseño de material granular estabilizado con emulsión asfáltica se muestra desde la figura 36 hasta la 43.



Figura 36. Ensayo de recubrimiento Suelo Emulsión
Fuente: Elaboración propia



Figura 37. Moldeo de briqueta Suelo Emulsión
Fuente: Elaboración propia



Figura 38. Briquetas Suelo Emulsión con distintos contenidos de humedad
Fuente: Elaboración propia



Figura 39. Ensayo de estabilidad modificada y flujo de briqueta Suelo Emulsión
Fuente: Elaboración propia



Figura 40. Briquetas Suelo Emulsión con distintos contenidos de asfalto residual
Fuente: Elaboración propia



Figura 41. Curado de briquetas Suelo Emulsión a 38°C
Fuente: Elaboración propia



Figura 42. Gravedad Específica Bulk de briqueta Suelo Emulsión
Fuente: Elaboración propia



Figura 43. Análisis de densidad y vacíos de briqueta Suelo Emulsión
Fuente: Elaboración propia

Características de diseño Marshall Modificado.

Las características de diseño y valores obtenidos producto de la estabilización con emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta CSS-1 definen la cantidad de emulsión a usar, el agua óptima de compactación, el porcentaje de recubrimiento, entre otros. Las tablas 24, 25, 26 y 27 muestran los valores obtenidos durante el diseño.

Tabla 24.
Características de diseño de briquetas suelo-emulsión, Cantera Poma

Nº DE GOLPES		**50**	
% DE EMULSIÓN ASFÁLTICA (% EN PESO DE LOS AGREGADOS)	**3.0**	**3.3**	**3.6**
ASFALTO RESIDUAL (% EN PESO DE LOS AGREGADOS)	**1.8**	**2.0**	**2.2**
DENSIDAD SECA BULK (g/cm3)	2.163	2.163	2.161
ESTABILIDAD MODIFICADA SECA (kg), (22.2 °C)	2319.6	2231.8	2165.1
ESTABILIDAD MODIFICADA HÚMEDA (kg), (22.2 °C)	1404.1	1384.1	1383.2
CAMBIOS DE ESTABILIDAD (%)	39.4	38.0	36.2
VACÍOS TOTALES (%)	14.7	14.4	14.2
HUMEDAD ABSORBIDA (%)	6.6	6.5	6.3
RECUBRIMIENTO (%)	-.-	90.0	-.-

Fuente: TDM ASFALTOS – 2017

Tabla 25.

Características de diseño de briquetas suelo-emulsión, Cantera Liwini

Nº DE GOLPES		50	
% DE DILUCION EMULSIÓN-AGUA (% EN PESO DE LOS AGREGADOS)	**5.0**	**5.5**	**6.0**
% DE EMULSIÓN ASFÁLTICA (% EN PESO DE LOS AGREGADOS)	**3.3**	**3.6**	**4.0**
ASFALTO RESIDUAL (% EN PESO DE LOS AGREGADOS)	**2.0**	**2.2**	**2.4**
DENSIDAD SECA BULK (g/cm3)	2.294	2.294	2.293
ESTABILIDAD MODIFICADA SECA (kg), (22.2 °C)	2344.5	2337.7	2315.6
ESTABILIDAD MODIFICADA HÚMEDA (kg), (22.2 °C)	1372.3	1386.6	1392.9
CAMBIOS DE ESTABILIDAD (%)	41.5	40.7	39.8
VACÍOS TOTALES (%)	9.2	9.0	8.8
HUMEDAD ABSORBIDA (%)	4.1	4.0	3.9
RECUBRIMIENTO (%)	-.-	90.0	-.-

Fuente: TDM ASFALTOS - 2017

Tabla 26.

Características de diseño de briquetas suelo-emulsión, Cantera Calachaca

Nº DE GOLPES		50	
% DE DILUCION EMULSIÓN-AGUA (% EN PESO DE LOS AGREGADOS)	**8.3**	**8.9**	**9.6**
% DE EMULSIÓN ASFÁLTICA (% EN PESO DE LOS AGREGADOS)	**4.1**	**4.5**	**4.8**
ASFALTO RESIDUAL (% EN PESO DE LOS AGREGADOS)	**2.5**	**2.7**	**2.9**
DENSIDAD SECA BULK (g/cm3)	2.023	2.021	2.019
ESTABILIDAD MODIFICADA SECA (kg), (22.2 °C)	1229.8	1183.5	1149.7
ESTABILIDAD MODIFICADA HÚMEDA (kg), (22.2 °C)	613.1	601.8	593.5
CAMBIOS DE ESTABILIDAD (%)	50.2	49.4	48.7
VACÍOS TOTALES (%)	18.5	18.3	18.2
HUMEDAD ABSORBIDA (%)	6.1	5.9	5.6
REVESTIMIENTO (%)	-.-	90.0	-.-
DESPRENDIMIENTO % RETENIDO	-.-	+95	-.-

Fuente: TDM ASFALTOS - 2017

Tabla 27.

Características de diseño de briquetas suelo-emulsión, Cantera Mazocruz

Nº DE GOLPES		50	
% DE DILUCION EMULSIÓN-AGUA (% EN PESO DE LOS AGREGADOS)	**6.0**	**6.6**	**7.3**
% DE EMULSIÓN ASFÁLTICA (% EN PESO DE LOS AGREGADOS)	**3.0**	**3.3**	**3.6**
ASFALTO RESIDUAL (% EN PESO DE LOS AGREGADOS)	**1.8**	**2.0**	**2.2**
DENSIDAD SECA BULK (g/cm3)	1.969	1.969	1.968
ESTABILIDAD MODIFICADA SECA (kg), (22.2 °C)	942.6	965.3	982.9
ESTABILIDAD MODIFICADA HÚMEDA (kg), (22.2 °C)	649.5	674.9	696.9
CAMBIOS DE ESTABILIDAD (%)	31.6	30.5	29.4
VACÍOS TOTALES (%)	21.1	20.9	20.7
HUMEDAD ABSORBIDA (%)	7.8	7.5	7.2
REVESTIMIENTO (%)	-.-	90.0	-.-
DESPRENDIMIENTO % RETENIDO	-.-	+95	-.-

Fuente: TDM ASFALTOS - 2017

Parámetros volumétricos.

De la misma manera, se presentan las figuras que representan las propiedades volumétricas derivadas de la estabilización del material elaboradas una vez la mezcla suelo-emulsión cumplió los criterios exigidos previamente.

La tendencia de desempeño de los materiales de cada cantera se graficó de acuerdo a los siguientes parámetros:

- Porcentaje de asfalto residual vs. Estabilidad modificada.
- Porcentaje de asfalto residual vs. Porcentaje de cambio de estabilidad.
- Porcentaje de asfalto residual vs. Densidad seca Bulk.
- Porcentaje de asfalto residual vs. Porcentaje de humedad absorbida.
- Porcentaje de asfalto residual vs. Porcentaje de vacíos totales.
- Humedad de compactación vs. Estabilidad modificada

Desde la figura 44 hasta la 67 se muestran las curvas elaboradas que sirvieron para evaluar el desempeño de la mezcla realizada, sin embargo, no fueron decisivas al momento de definir el valor óptimo de residuo asfáltico del material estabilizado.

Los Términos de Referencia de la muestra exigen valores de asfalto residual iguales o mayores a 2%, por ende, a pesar de que existan materiales que cumplan los parámetros volumétricos mínimos con cantidades ínfimas (menores a 2%), no pueden ser elegidos para el diseño.
En el escenario opuesto, con una mayor cantidad de asfalto residual en la mezcla, las mejoras fueron significativas, ergo se propuso usar valores entre 2.5% a 3%.
La limitación se presentó al conocer que cantidades adicionales de residuo asfáltico no serían consideradas en el pago de las actividades.

En cuentas resumidas, el valor óptimo de diseño que se evaluó en las gráficas volumétricas fue de 2% de asfalto residual para todas las canteras.

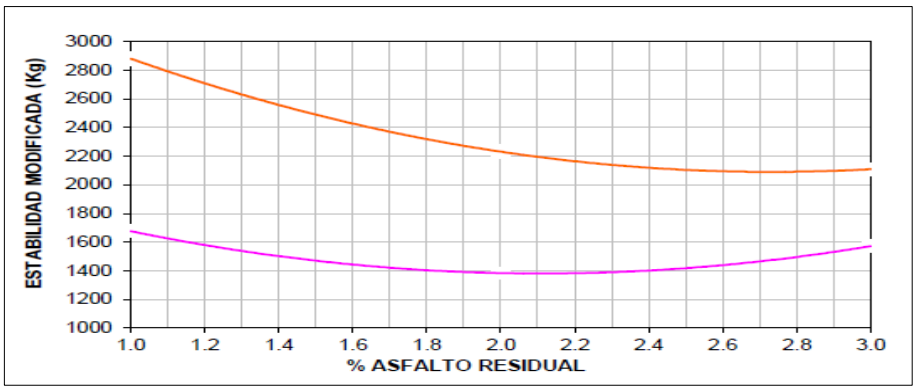


Figura 44. Porcentaje de asfalto residual vs. Estabilidad modificada, cantera Poma
Fuente: TDM ASFALTOS - 2017

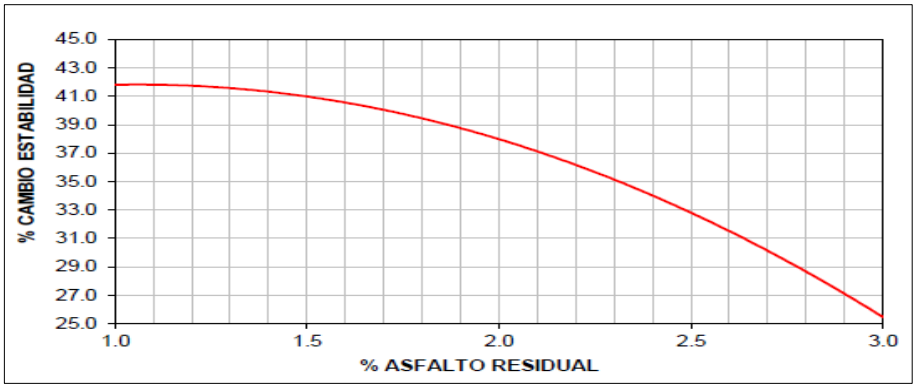


Figura 45. Porcentaje de asfalto residual vs. Porcentaje de cambio de estabilidad, cantera Poma
Fuente: TDM ASFALTOS - 2017

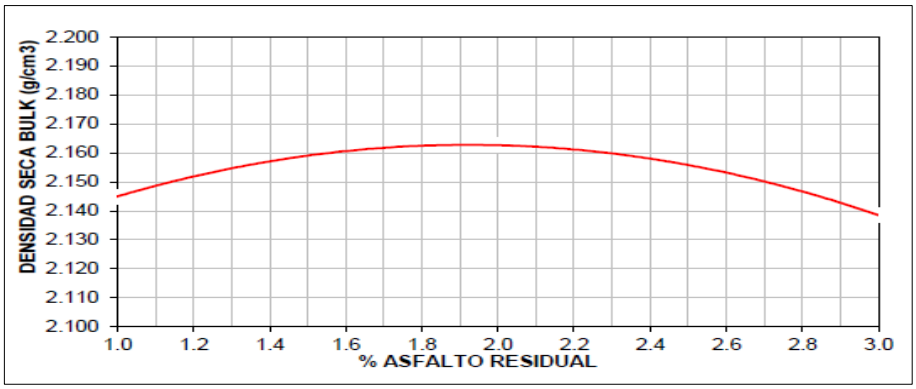


Figura 46. Porcentaje de asfalto residual vs. Densidad seca Bulk, cantera Poma
Fuente: TDM ASFALTOS - 2017

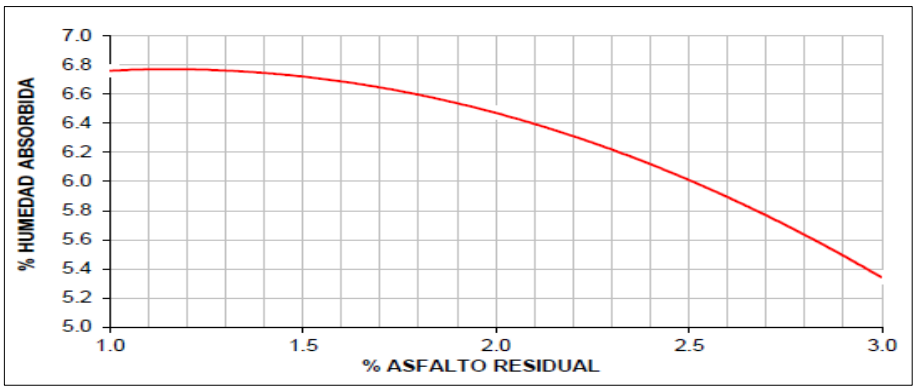


Figura 47. Porcentaje de asfalto residual vs. Porcentaje de humedad absorbida, cantera Poma
Fuente: TDM ASFALTOS - 2017

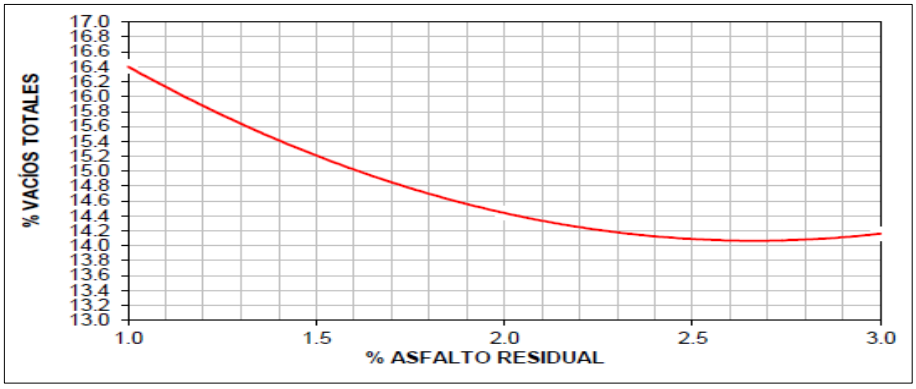


Figura 48. Porcentaje de asfalto residual vs. Porcentaje de vacíos totales, cantera Poma
Fuente: TDM ASFALTOS - 2017

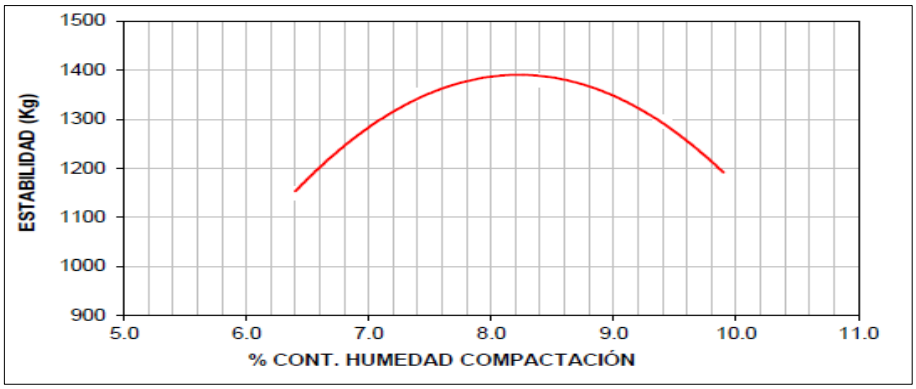


Figura 49. Humedad de compactación vs. Estabilidad modificada, cantera Poma
Fuente: TDM ASFALTOS - 2017

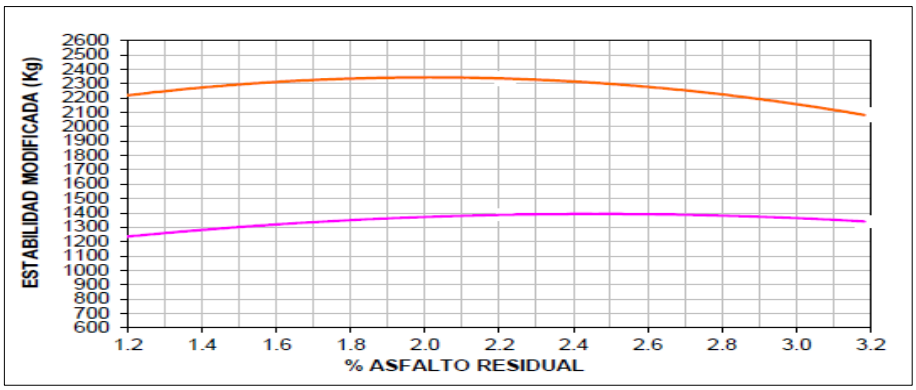


Figura 50. Porcentaje de asfalto residual vs. Estabilidad modificada, cantera Liwini
Fuente: TDM ASFALTOS - 2017

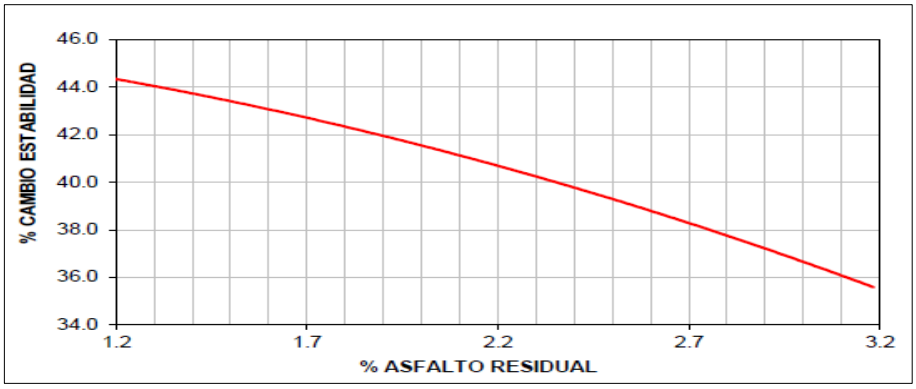
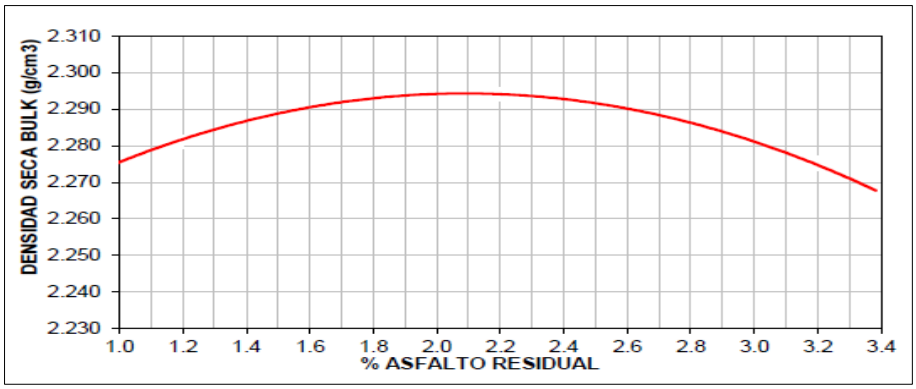


Figura 51. Porcentaje de asfalto residual vs. Porcentaje de cambio de estabilidad, cantera Liwini
Fuente: TDM ASFALTOS - 2017



5

Figura 52. Porcentaje de asfalto residual vs. Densidad seca Bulk, cantera Liwini
Fuente: TDM ASFALTOS - 2017

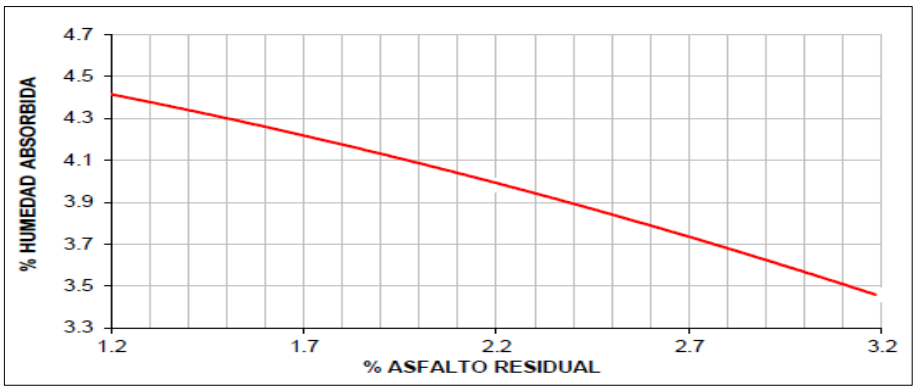


Figura 53. Porcentaje de asfalto residual vs. Porcentaje de humedad absorbida, cantera Liwini
Fuente: TDM ASFALTOS - 2017

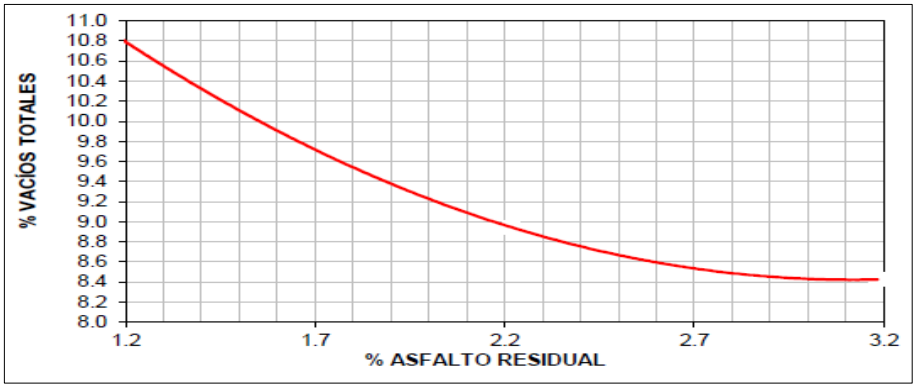


Figura 54. Porcentaje de asfalto residual vs. Porcentaje de vacíos totales, cantera Liwini
Fuente: TDM ASFALTOS - 2017

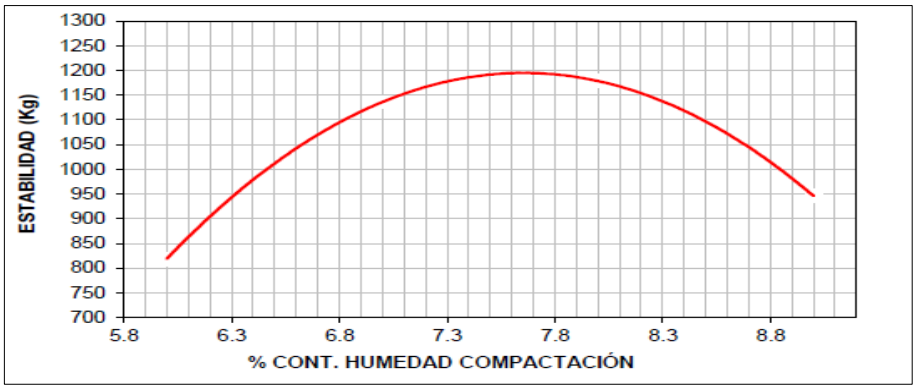


Figura 55. Humedad de compactación vs. Estabilidad modificada, cantera Liwini
Fuente: TDM ASFALTOS - 2017

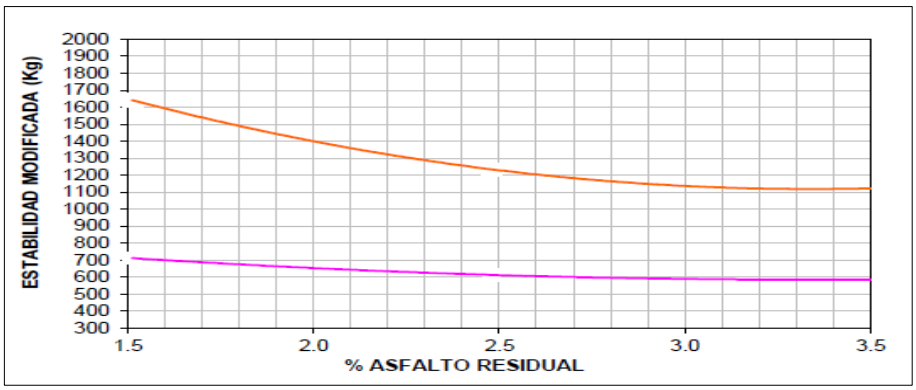


Figura 56. Porcentaje de asfalto residual vs. Estabilidad modificada, cantera Calachaca
Fuente: TDM ASFALTOS - 2017

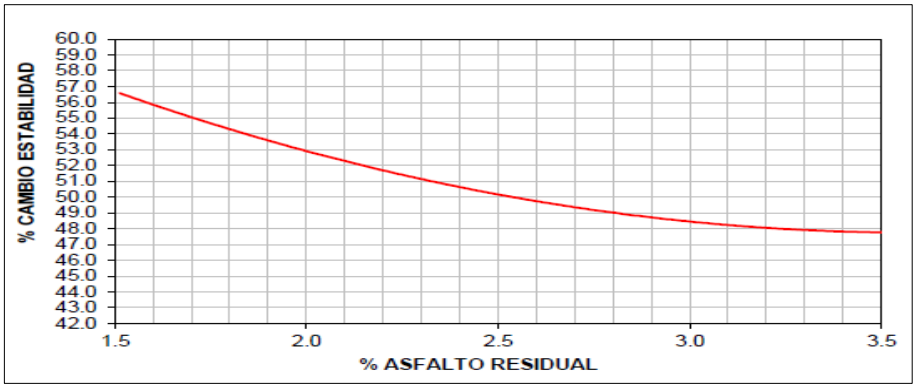


Figura 57. Porcentaje de asfalto residual vs. Porcentaje de cambio de estabilidad, cantera Calachaca
Fuente: TDM ASFALTOS - 2017

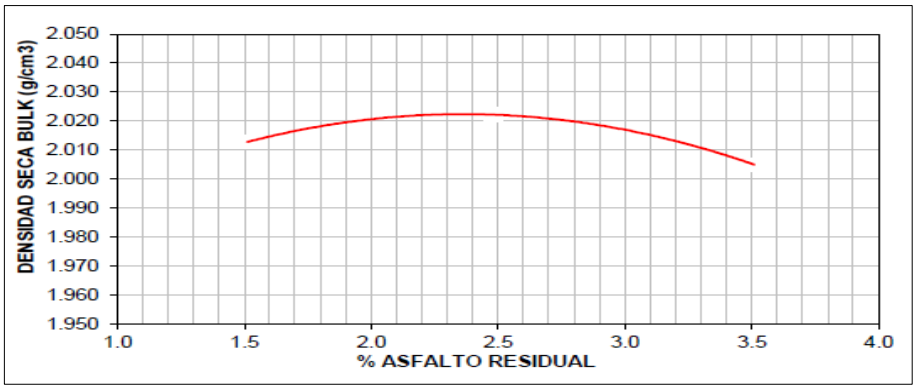


Figura 58. Porcentaje de asfalto residual vs. Densidad seca Bulk, cantera Calachaca
Fuente: TDM ASFALTOS - 2017

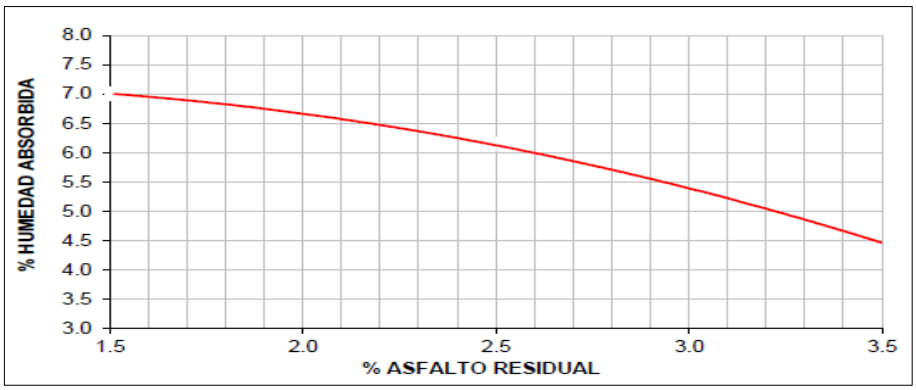


Figura 59. Porcentaje de asfalto residual vs. Porcentaje de humedad absorbida, cantera Calachaca
Fuente: TDM ASFALTOS - 2017

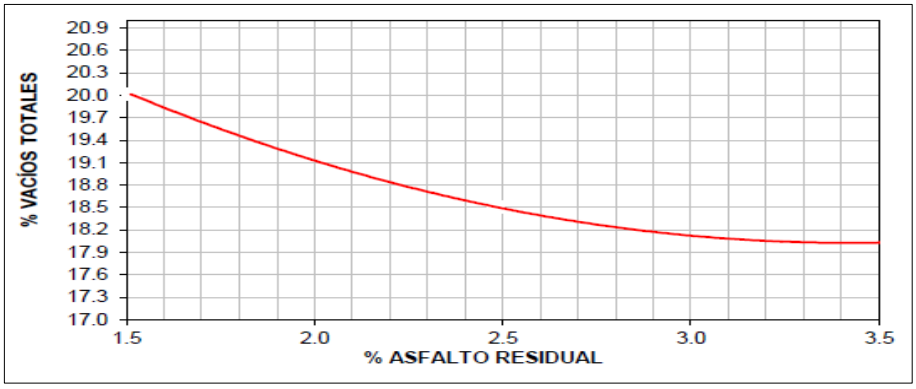
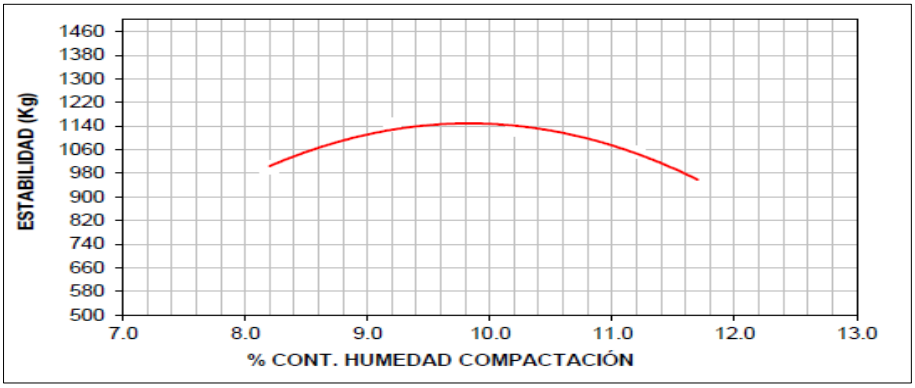


Figura 60. Porcentaje de asfalto residual vs. Porcentaje de vacíos totales, cantera Calachaca
Fuente: TDM ASFALTOS - 2017



5

Figura 61. Humedad de compactación vs. Estabilidad modificada, cantera Calachaca
Fuente: TDM ASFALTOS - 2017

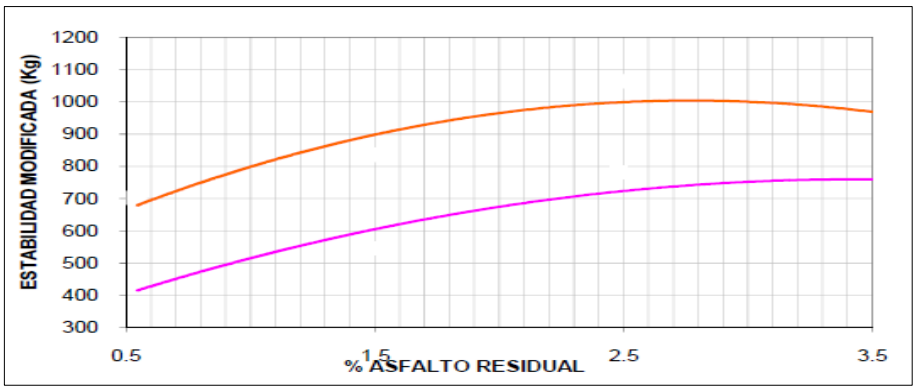


Figura 62. Porcentaje de asfalto residual vs. Estabilidad modificada, cantera Mazocruz
Fuente: TDM ASFALTOS - 2017

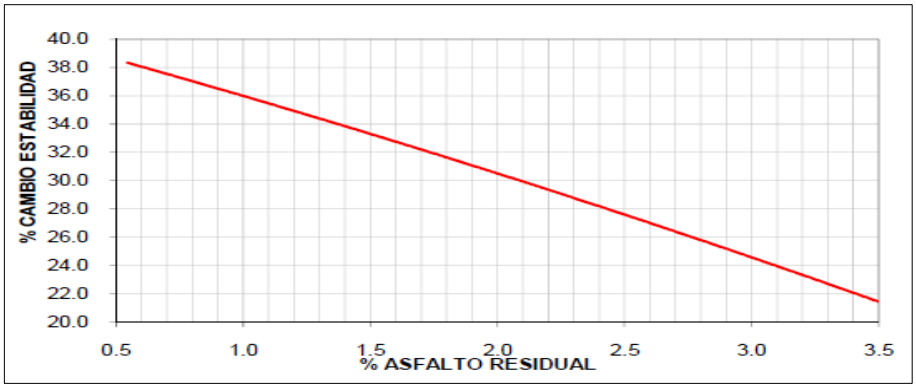


Figura 63. Porcentaje de asfalto residual vs. Porcentaje de cambio de estabilidad, cantera Mazocruz
Fuente: TDM ASFALTOS - 2017

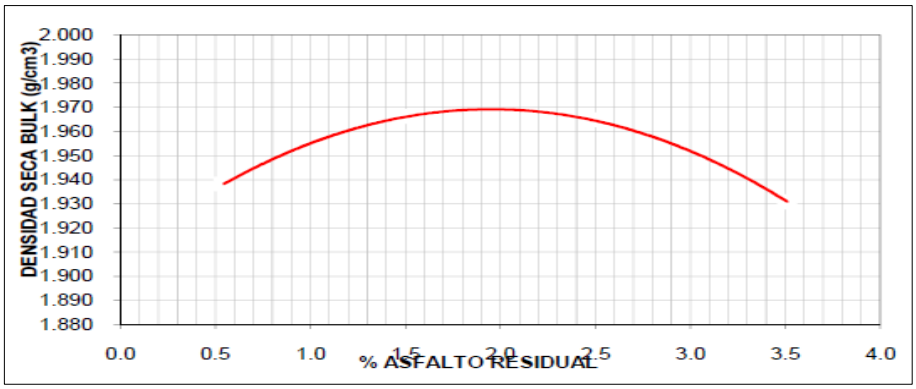


Figura 64. Porcentaje de asfalto residual vs. Densidad seca Bulk, cantera Mazocruz
Fuente: TDM ASFALTOS - 2017

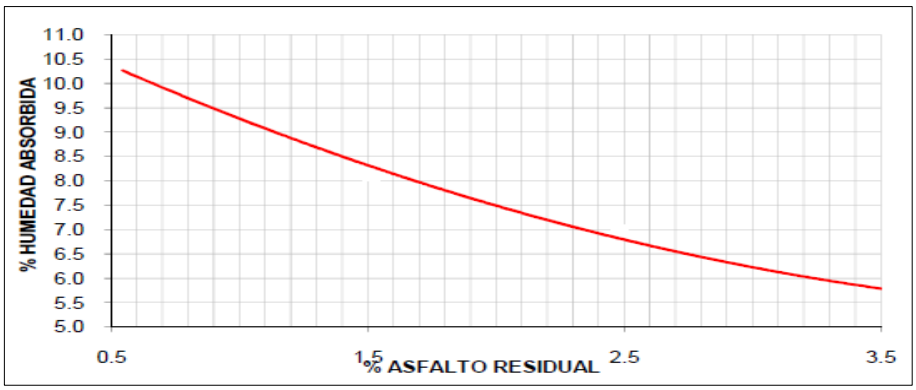


Figura 65. Porcentaje de asfalto residual vs. Porcentaje de humedad absorbida, cantera Mazocruz
Fuente: TDM ASFALTOS - 2017

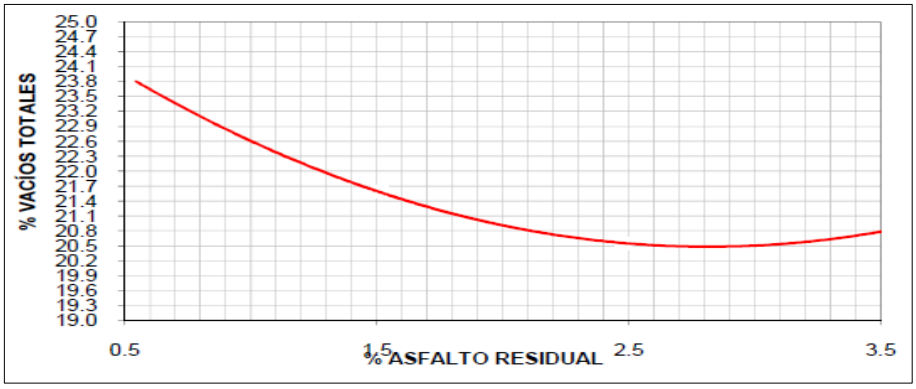


Figura 66. Porcentaje de asfalto residual vs. Porcentaje de vacíos totales, cantera Mazocruz
Fuente: TDM ASFALTOS - 2017

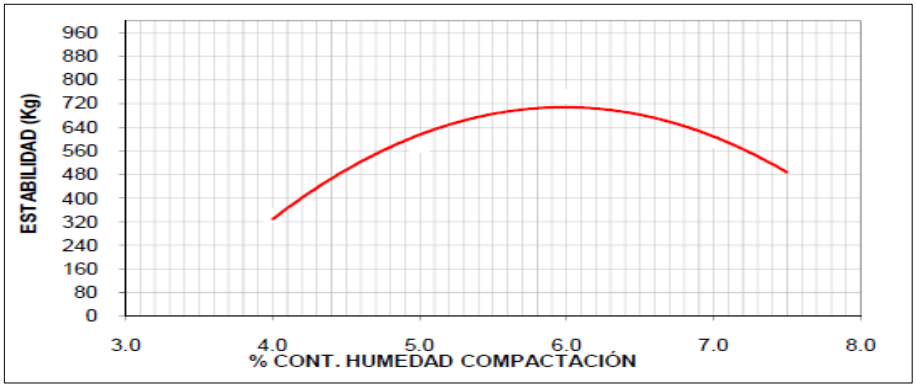


Figura 67. Humedad de compactación vs. Estabilidad modificada, cantera Mazocruz
Fuente: TDM ASFALTOS - 2017

Índice de tracción indirecta (ITS).

Para la obtención de los coeficientes de aporte estructural, se realizó la prueba de determinación del Índice de Tracción Indirecta o ITS (Indirect Tensile Strenght por sus siglas en inglés).

Las figuras 68, 69, 70 y 71 muestran el proceso de fabricación de las briquetas mediante la tecnología creada por la empresa Wirtgen, la cual usa un sistema de compactación por vibración y tiempo.
También se presentan los resultados obtenidos para cada juego de briquetas realizado (32 briquetas en total). Ver tablas 28, 29, 30 y 31.



Figura 68. Moldeo de briqueta Suelo Emulsión (ITS)
Fuente: Elaboración propia



Figura 69. Juego de briquetas Suelo Emulsión fabricadas (ITS)
Fuente: Elaboración propia



Figura 70. Curado de briquetas (ITS)
Fuente: Elaboración propia



Figura 71. Ensayo de tracción indirecta (ITS)
Fuente: Elaboración propia

Tabla 28.

Índice de tracción indirecta, cantera Poma

N° DE BRIQUETA	ESPESOR PROMEDIO (cm)	DIÁMETRO PROMEDIO (cm)	PESO (gr.)				VOLUMEN (cm^3)	DENSIDAD (gr/cm^3)	CARGA (Kg-f)		RESISTENCIA (KPa)	
			AL AIRE (HÚMEDO)	AL AIRE (SECO)	SUMERGIDO	SSS			SECA	HÚMEDA	SECA	HÚMEDA
1	9.63	15.28	3662.0	3375.0	1815.6	3450.0	1634.4	2.065	523.5		222.2	
2	9.58	15.22	3730.0	3454.0	1865.6	3542.0	1676.4	2.060	562.0		240.7	
3	9.61	15.26	3668.0	3395.0	1855.6	3495.0	1639.4	2.071	553.0		235.5	
4	9.65	15.23	3719.0	3437.0	1865.2	3526.0	1660.8	2.069		455.0		193.3
5	9.74	15.27	3735.0	3464.0	1875.2	3546.0	1670.8	2.073		439.0		184.3
6	9.58	15.25	3720.0	3441.0	1863.5	3534.0	1670.5	2.060		435.0		186.0
						PROMEDIO		2.066	546.2	443.0	232.8	187.9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29.

Índice de tracción indirecta, cantera Liwini

N° DE BRIQUETA	ESPESOR PROMEDIO (cm)	DIÁMETRO PROMEDIO (cm)	PESO (gr.)				VOLUMEN (cm^3)	DENSIDAD (gr/cm^3)	CARGA (Kg-f)		RESISTENCIA (KPa)	
			AL AIRE (HÚMEDO)	AL AIRE (SECO)	SUMERGIDO	SSS			SECA	HÚMEDA	SECA	HÚMEDA
1	10.91	15.33	4398.0	4056.0	2163.0	4123.0	1960.0	2.069	685.0		255.8	
2	10.95	15.27	4324.0	4001.0	2126.0	4040.0	1914.0	2.090	652.3		243.6	
3	10.93	15.28	4400.0	4084.0	2151.0	4138.0	1987.0	2.055	678.2		253.6	
4	10.98	15.28	4375.0	4026.0	2138.0	4087.0	1949.0	2.066		375.8		139.9
5	10.91	15.32	4389.0	4066.0	2177.0	4130.0	1953.0	2.082		385.0		143.9
6	10.96	15.25	4405.0	4082.0	2196.0	4140.0	1944.0	2.100		351.0		131.2
						PROMEDIO		2.077	671.8	370.6	251.0	138.3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30.

Índice de tracción indirecta, cantera Calachaca

N° DE BRIQUETA	ESPESOR PROMEDIO (cm)	DIÁMETRO PROMEDIO (cm)	PESO (gr.)				VOLUMEN (cm^3)	DENSIDAD (gr/cm^3)	CARGA (Kg-f)		RESISTENCIA (KPa)	
			AL AIRE (HÚMEDO)	AL AIRE (SECO)	SUMERGIDO	SSS			SECA	HÚMEDA	SECA	HÚMEDA
1	10.92	15.32	4285.0	3965.0	2200.0	4145.0	1945.0	2.039	625.3		233.4	
2	10.90	15.30	4355.0	4000.0	2100.0	4055.0	1955.0	2.046	600.3		224.8	
3	10.93	15.28	4321.0	4031.0	2136.0	4100.0	1964.0	2.052	636.3		237.9	
4	10.97	15.29	4345.0	4001.0	2115.0	4078.0	1963.0	2.038		355.0		132.2
5	10.89	15.31	4355.0	4025.0	2148.0	4126.0	1978.0	2.035		336.3		126.0
6	10.91	15.33	4355.0	4025.0	2148.0	4126.0	1978.0	2.035		385.6		144.0
						PROMEDIO		2.041	620.6	359.0	232.1	134.0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31.

Índice de tracción indirecta, cantera Mazocruz

N° DE BRIQUETA	ESPESOR PROMEDIO (cm)	DIÁMETRO PROMEDIO (cm)	PESO (gr.)				VOLUMEN (cm^3)	DENSIDAD (gr/cm^3)	CARGA (Kg-f)		RESISTENCIA (KPa)	
			AL AIRE (HÚMEDO)	AL AIRE (SECO)	SUMERGIDO	SSS			SECA	HÚMEDA	SECA	HÚMEDA
1	10.95	15.30	4390.0	4085.0	2171.0	4175.0	2004.0	2.038	710.0		264.7	
2	10.88	15.32	4310.0	3989.0	2118.0	4045.0	1927.0	2.070	725.3		271.8	
3	10.95	15.32	4380.0	4079.0	2164.0	4136.0	1972.0	2.068	690.5		257.1	
4	10.96	15.29	4360.0	4003.0	2125.0	4066.0	1941.0	2.062		452.3		168.6
5	10.89	15.31	4397.0	4035.0	2164.0	4133.0	1969.0	2.049		400.0		149.8
6	10.88	15.29	4380.0	4085.0	2155.0	4108.0	1953.0	2.092		436.3		163.8
						PROMEDIO		2.063	708.6	429.5	264.5	160.7

Fuente: Elaboración propia

Evaluación de la estructura existente.

Calicatas.

La evaluación de la estructura del pavimento existente fue posible mediante la ejecución de calicatas profundas (1.50 metros) a cielo abierto a lo largo de los tramos 7 y 8, alternando la excavación secuencialmente entre el lado derecho, eje e izquierdo. El propósito de este estudio fue conocer la variación estratigráfica del terreno de fundación, en donde la nueva estructura reposará. Además, el estudio permitió conocer la capacidad de soporte, propiedades geomecánicas y detectar zonas en donde es necesario realizar actividades previas de mejoramiento para evitar asentamientos o deflexiones de las nuevas capas superiores que comprometan el desempeño estructural y funcional de la vía.

Ensayos de control de calidad.

Los ensayos de control de calidad realizados iniciaron previamente al muestreo de los estratos de la estructura existente. Acto seguido se realizó el registro de exploración mediante técnicas visuales e instrumentales que permitieron determinar características tales como espesor de estrato, color, composición, consistencia, entre otros.
En las tablas 32 y 33 se muestra la ubicación de las calicatas realizadas en los tramos 7 y 8 (cada 500 metros), lado de intervención, número de muestras y cotas de cada estrato.

Tabla 32.
Ubicación de calicatas del tramo 7

EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA TRAMO 7 TARATA - CAPAZO					
CALICATA	**UBICACIÓN KM.**	**LADO**	**MUESTRA**	**PROFUNDIDAD (m)**	
				DE	**A**
C-1	90+000	D	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-2	90+500	E	M-01	0.00	1.50
C-3	91+000	I	M-01	0.00	0.80
			M-02	0.80	1.50
C-4	91+500	E	M-01	0.00	0.60
			M-02	0.60	1.50
C-5	92+000	D	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-6	92+500	E	M-01	0.00	0.60
			M-02	0.60	1.50
C-7	93+000	I	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-8	93+500	E	M-01	0.00	0.25
			M-02	0.25	0.90
			M-03	0.90	1.50

EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA TRAMO 7 TARATA - CAPAZO					
CALICATA	UBICACIÓN KM.	LADO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	
				DE	A
C-9	94+000	D	M-01	0.00	0.20
C-9	94+000	D	M-02	0.20	0.70
			M-03	0.70	1.50
C-10	94+500	E	M-01	0.00	0.40
			M-02	0.40	1.50
C-11	95+000	I	M-01	0.00	0.35
			M-02	0.35	1.50
C-12	95+500	E	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-13	96+000	D	M-01	0.00	0.40
			M-02	0.40	1.50
C-14	96+500	E	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	0.90
			M-03	0.90	1.50
C-15	97+000	I	M-01	0.00	0.35
			M-02	0.35	1.50
C-16	97+500	E	M-01	0.00	1.50
C-17	98+000	D	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-18	98+500	E	M-01	0.00	0.50
			M-02	0.50	1.50
C-19	99+000	I	M-01	0.00	0.25
			M-02	0.25	1.50
C-20	99+500	E	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-21	100+000	D	M-01	0.00	0.25
			M-02	0.25	1.50
C-22	100+500	E	M-01	0.00	0.40
			M-02	0.40	1.50
C-23	101+000	I	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-24	101+500	E	M-01	0.00	0.25
			M-02	0.25	1.50
C-25	102+000	D	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-26	102+500	E	M-01	0.00	0.40
			M-02	0.40	1.50
C-27	103+000	I	M-01	0.00	1.50
C-28	103+500	E	M-01	0.00	0.35
			M-02	0.35	1.50
C-29	104+000	D	M-01	0.00	0.25
			M-02	0.25	0.90
			M-03	0.90	1.50
C-30	104+500	E	M-01	0.00	0.15
			M-02	0.15	1.50
C-31	105+000	I	M-01	0.00	1.50
C-32	105+500	E	M-01	0.00	0.60
			M-02	0.60	1.50
C-33	106+000	D	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-34	106+500	E	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50

EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA TRAMO 7 TARATA - CAPAZO					
CALICATA	UBICACIÓN KM.	LADO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	
				DE	A
C-35	107+000	I	M-01	0.00	1.50
C-36	107+500	E	M-01	0.00	0.90
			M-02	0.90	1.50
C-37	108+000	D	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-38	108+500	E	M-01	0.00	1.50
C-39	109+000	I	M-01	0.00	0.40
			M-02	0.40	1.50
C-40	109+500	E	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-41	110+000	D	M-01	0.00	1.50
C-42	110+500	E	M-01	0.00	1.50
C-43	111+000	I	M-01	0.00	1.50
C-44	111+500	E	M-01	0.00	0.40
			M-02	0.40	1.50
C-45	112+000	D	M-01	0.00	1.50
C-46	112+500	E	M-01	0.00	1.50
C-47	113+000	I	M-01	0.00	1.50
C-48	113+500	E	M-01	0.00	0.50
			M-02	0.50	1.50
C-49	114+000	D	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-50	114+500	E	M-01	0.00	0.50
			M-02	0.50	1.50
C-51	115+000	I	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-52	115+500	E	M-01	0.00	1.50
C-53	116+000	D	M-01	0.00	1.50
C-54	116+500	E	M-01	0.00	1.50
C-55	117+000	I	M-01	0.00	1.50
C-56	117+500	E	M-01	0.00	1.50
C-57	118+000	D	M-01	0.00	1.50
C-58	118+500	E	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-59	119+000	I	M-01	0.00	0.60
			M-02	0.60	1.50
C-60	119+500	E	M-01	0.00	0.80
			M-02	0.80	1.50
C-61	120+000	D	M-01	0.00	0.60
			M-02	0.60	1.50
C-62	120+500	E	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-63	121+000	I	M-01	0.00	0.40
			M-02	0.40	1.50
C-64	121+500	E	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-65	122+000	D	M-01	0.00	0.50
			M-02	0.50	1.50
C-66	122+500	E	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-67	123+000	I	M-01	0.00	1.50
C-68	123+500	E	M-01	0.00	0.20

EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA TRAMO 7 TARATA - CAPAZO					
CALICATA	UBICACIÓN KM.	LADO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	
				DE	A
C-68	123+500	E	M-02	0.20	1.50
C-69	124+000	D	M-01	0.00	1.50
C-70	124+500	E	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-71	125+000	I	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-72	125+500	E	M-01	0.00	0.10
			M-02	0.10	1.50
C-73	126+000	D	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-74	126+500	E	M-01	0.00	0.25
			M-02	0.25	1.50
C-75	127+000	I	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-76	127+500	E	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-77	128+000	D	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-78	128+500	E	M-01	0.00	0.25
			M-02	0.25	1.50
C-79	129+000	I	M-01	0.00	0.15
			M-02	0.15	1.50
C-80	129+500	E	M-01	0.00	0.15
			M-02	0.15	1.50
C-81	130+000	D	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-82	130+500	E	M-01	0.00	0.15
			M-02	0.15	1.50
C-83	131+000	I	M-01	0.00	0.10
			M-02	0.10	1.50
C-84	131+500	E	M-01	0.00	0.15
			M-02	0.15	1.50
C-85	132+000	D	M-01	0.00	0.10
			M-02	0.10	1.50
C-86	132+500	E	M-01	0.00	1.50
C-87	133+000	I	M-01	0.00	0.25
			M-02	0.25	1.50
C-88	133+500	E	M-01	0.00	1.50
C-89	134+000	D	M-01	0.00	0.70
			M-02	0.70	1.50
C-90	134+500	E	M-01	0.00	0.10
			M-02	0.10	1.50
C-91	135+000	I	M-01	0.00	1.50
C-92	135+500	E	M-01	0.00	1.50
C-93	136+000	D	M-01	0.00	1.50
C-94	136+500	E	M-01	0.00	1.50
C-95	137+000	I	M-01	0.00	1.50
C-96	137+500	E	M-01	0.00	1.50
C-97	138+000	D	M-01	0.00	0.60
			M-02	0.60	1.50
C-98	138+500	E	M-01	0.00	1.50
C-99	139+000	I	M-01	0.00	1.50

EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA TRAMO 7 TARATA - CAPAZO					
CALICATA	UBICACIÓN KM.	LADO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	
				DE	A
C-100	139+500	E	M-01	0.00	0.10
			M-02	0.10	1.50
C-101	140+000	D	M-01	0.00	1.50
C-102	140+500	E	M-01	0.00	1.50
C-103	141+000	I	M-01	0.00	1.50
C-104	141+500	E	M-01	0.00	0.15
			M-02	0.15	1.50
C-105	142+000	D	M-01	0.00	1.50
C-106	142+500	E	M-01	0.00	1.50
C-107	143+000	I	M-01	0.00	0.50
			M-02	0.50	1.50
C-108	143+500	E	M-01	0.00	1.50
C-109	144+000	D	M-01	0.00	1.50
C-110	144+500	E	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-111	145+000	I	M-01	0.00	1.50
C-112	145+500	E	M-01	0.00	1.50
C-113	146+000	D	M-01	0.00	1.50
C-114	146+500	E	M-01	0.00	1.50
C-115	147+000	I	M-01	0.00	1.50
C-116	147+500	E	M-01	0.00	1.50
C-117	148+000	D	M-01	0.00	1.50
C-118	148+500	E	M-01	0.00	0.50
			M-02	0.50	1.50
C-119	149+000	I	M-01	0.00	1.50
C-120	149+500	E	M-01	0.00	1.00
			M-02	1.00	1.50
C-121	150+000	D	M-01	0.00	1.50
C-122	150+500	E	M-01	0.00	1.50
C-123	151+000	I	M-01	0.00	1.50
C-124	151+500	E	M-01	0.00	1.50
C-125	152+000	D	M-01	0.00	1.50
C-126	152+500	E	M-01	0.00	1.50
C-127	153+000	I	M-01	0.00	1.50
C-128	153+500	E	M-01	0.00	1.50
C-129	154+000	D	M-01	0.00	1.50
C-130	154+500	E	M-01	0.00	1.50
C-131	155+000	I	M-01	0.00	1.50
C-132	155+500	E	M-01	0.00	1.50
C-133	156+000	D	M-01	0.00	0.10
			M-02	0.10	1.50
C-134	156+500	E	M-01	0.00	1.50
C-135	157+000	I	M-01	0.00	1.50
C-136	157+500	E	M-01	0.00	1.50
C-137	158+000	D	M-01	0.00	1.50
C-138	158+500	E	M-01	0.00	1.50
C-139	159+000	I	M-01	0.00	1.50
C-140	159+500	E	M-01	0.00	1.50
C-141	160+000	D	M-01	0.00	1.50
C-142	160+500	E	M-01	0.00	1.50
C-143	161+000	I	M-01	0.00	0.50
			M-02	0.50	1.50

EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA TRAMO 7 TARATA - CAPAZO					
CALICATA	UBICACIÓN KM.	LADO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	
				DE	A
C-144	161+500	E	M-01	0.00	1.50
C-145	162+000	D	M-01	0.00	0.50
			M-02	0.50	1.50
C-146	162+500	E	M-01	0.00	0.50
			M-02	0.50	1.50
C-147	163+000	I	M-01	0.00	0.40
			M-02	0.40	1.50
C-148	163+500	E	M-01	0.00	0.10
			M-02	0.10	1.50
C-149	164+000	D	M-01	0.00	0.40
			M-02	0.40	1.50
C-150	164+500	E	PUENTE CHALLAPALCA		
C-151	165+000	I	M-01	0.00	0.10
			M-02	0.10	1.50
C-152	165+500	E	M-01	0.00	0.15
			M-02	0.15	1.50
C-153	166+000	D	M-01	0.00	0.15
			M-02	0.15	1.50
C-154	166+500	E	M-01	0.00	0.15
			M-02	0.15	1.50
C-155	167+000	I	M-01	0.00	0.15
			M-02	0.15	1.50
C-156	167+500	E	M-01	0.00	0.15
			M-02	0.15	1.50
C-157	168+000	D	M-01	0.00	0.10
			M-02	0.10	1.50
C-158	168+500	E	M-01	0.00	0.15
			M-02	0.15	1.50
C-159	169+000	I	M-01	0.00	0.15
			M-02	0.15	1.50
C-160	169+500	E	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-161	170+000	D	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	0.90
			M-03	0.90	1.50
C-162	170+500	E	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-163	171+000	I	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-164	171+500	E	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-165	172+000	D	M-01	0.00	0.35
			M-02	0.35	1.50
C-166	172+500	E	M-01	0.00	0.25
			M-02	0.25	1.50
C-167	173+000	I	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	0.75
			M-03	0.75	1.50
C-168	173+500	E	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50

Fuente: Elaboración propia



Figura 72. Calicata típica del tramo 7 (vista panorámica)
Fuente: Elaboración propia



Figura 73. Calicata típica del tramo 7 (vista focalizada)
Fuente: Elaboración propia

Tabla 33.
Ubicación de calicatas del tramo 8

EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA TRAMO 8 CAPAZO - MAZOCRUZ					
CALICATA	UBICACIÓN KM.	LADO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	
				DE	A
C-1	174+000	D	M-01	0.00	0.15
			M-02	0.15	0.65
			M-03	0.65	1.50
C-2	174+500	E	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	0.60
			M-03	0.60	1.50
C-3	175+000	I	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	0.90
			M-03	0.90	1.50
C-4	175+500	E	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	0.50

EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA TRAMO 8 CAPAZO - MAZOCRUZ					
CALICATA	UBICACIÓN KM.	LADO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	
				DE	A
C-4	175+500	E	M-03	0.50	1.50
C-6	176+000	D	M-01	0.00	0.25
			M-02	0.25	0.70
			M-03	0.70	1.50
C-6	176+500	E	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-7	177+000	I	M-01	0.00	0.25
			M-02	0.25	1.50
C-8	177+500	E	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-9	178+000	D	M-01	0.00	0.25
			M-02	0.25	1.50
C-10	178+500	E	M-01	0.00	0.15
			M-02	0.15	0.80
			M-03	0.80	1.50
C-11	179+000	I	M-01	0.00	0.10
			M-02	0.10	0.60
			M-03	0.60	1.50
C-12	179+500	E	M-01	0.00	0.15
			M-02	0.15	0.65
			M-03	0.65	1.50
C-13	180+000	D	M-01	0.00	0.10
			M-02	0.10	0.70
			M-03	0.70	1.50
C-14	180+500	E	M-01	0.00	0.10
			M-02	0.10	0.60
			M-03	0.60	1.50
C-15	181+000	I	M-01	0.00	0.10
			M-02	0.10	0.90
			M-03	0.90	1.50
C-16	181+500	E	M-01	0.00	0.15
			M-02	0.15	1.50
C-17	182+000	D	M-01	0.00	0.10
			M-02	0.10	1.50
C-18	182+500	E	M-01	0.00	0.15
			M-02	0.15	1.50
C-19	183+000	I	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.10
			M-03	1.10	1.50
C-20	183+500	E	M-01	0.00	0.15
			M-02	0.15	0.50
			M-03	0.50	1.50
C-21	184+000	D	M-01	0.00	0.15
			M-02	0.15	0.60
			M-03	0.60	1.50
C-22	184+500	E	M-01	0.00	0.25
			M-02	0.25	1.50
C-23	185+000	I	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-24	185+500	E	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-25	186+000	D	M-01	0.00	0.35

EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA TRAMO 8 CAPAZO - MAZOCRUZ					
CALICATA	UBICACIÓN KM.	LADO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	
				DE	A
C-25	186+000	D	M-02	0.35	1.50
C-26	186+500	E	M-01	0.00	0.25
			M-02	0.25	1.50
C-27	187+000	I	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-28	187+500	E	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-29	188+000	D	M-01	0.00	0.15
			M-02	0.15	1.50
C-30	188+500	E	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-31	189+000	I	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-32	189+500	E	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-33	190+000	D	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-34	190+500	E	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-35	191+000	I	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-36	191+500	E	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-37	192+000	D	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-38	192+500	E	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-39	193+000	I	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-40	193+500	E	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-41	194+000	D	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-42	194+500	E	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-43	195+000	I	M-01	0.00	0.35
			M-02	0.35	1.10
			M-03	1.10	1.50
C-44	195+500	E	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-45	196+000	D	M-01	0.00	0.10
			M-02	0.10	1.50
C-46	196+500	E	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-47	197+000	I	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-48	197+500	E	M-01	0.00	0.25
			M-02	0.25	1.50
C-49	198+000	D	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-50	198+500	E	M-01	0.00	0.25
			M-02	0.25	1.50

EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA TRAMO 8 CAPAZO - MAZOCRUZ					
CALICATA	UBICACIÓN KM.	LADO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	
				DE	A
C-51	199+000	I	M-01	0.00	0.35
			M-02	0.35	1.50
C-52	199+500	E	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.00
			M-03	1.00	1.50
C-53	200+000	D	M-01	0.00	0.25
			M-02	0.25	1.50
C-54	200+500	E	M-01	0.00	0.15
			M-02	0.15	1.50
C-55	201+000	I	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	0.60
			M-03	0.60	1.50
C-56	201+500	E	M-01	0.00	0.15
			M-02	0.15	0.45
			M-03	0.45	1.50
C-57	202+000	D	M-01	0.00	0.40
			M-02	0.40	1.50
C-58	202+500	E	M-01	0.00	0.40
			M-02	0.40	1.50
C-59	203+000	I	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	0.90
			M-03	0.90	1.50
C-60	203+500	E	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-61	204+000	D	M-01	0.00	0.60
			M-02	0.60	1.50
C-62	204+500	E	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-63	205+000	I	M-01	0.00	0.15
			M-02	0.15	0.60
			M-03	0.60	1.50
C-64	205+500	E	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	0.60
			M-03	0.60	1.50
C-65	206+000	D	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-66	206+500	E	M-01	0.00	1.50
C-67	207+000	I	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-68	207+500	E	M-01	0.00	0.80
			M-02	0.80	1.50
C-69	208+000	D	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-70	208+500	E	M-01	0.00	0.50
			M-02	0.50	1.50
C-71	209+000	I	M-01	0.00	0.35
			M-02	0.35	1.00
			M-03	1.00	1.50
C-72	209+500	E	M-01	0.00	0.45
			M-02	0.45	1.50
C-73	210+000	D	M-01	0.00	0.25
			M-02	0.25	1.50

EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA TRAMO 8 CAPAZO - MAZOCRUZ					
CALICATA	UBICACIÓN KM.	LADO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	
				DE	A
C-74	210+500	E	M-01	0.00	0.50
			M-02	0.50	1.50
C-75	211+000	I	M-01	0.00	0.25
			M-02	0.25	1.50
C-76	211+500	E	M-01	0.00	0.35
			M-02	0.35	1.50
C-77	212+000	D	M-01	0.00	0.70
			M-02	0.70	1.50
C-78	212+500	E	M-01	0.00	0.70
			M-02	0.70	1.50
C-79	213+00	I	M-01	0.00	0.50
			M-02	0.50	1.50
C-80	213+500	E	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	0.80
			M-03	0.80	1.50
C-81	214+000	D	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.00
			M-03	1.00	1.50
C-82	214+500	E	M-01	0.00	0.60
			M-02	0.60	1.50
C-83	215+000	I	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-84	215+500	E	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-85	216+000	D	M-01	0.00	0.35
			M-02	0.35	0.95
			M-03	0.95	1.50
C-86	216+500	E	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	0.80
			M-03	0.80	1.50
C-87	217+000	I	M-01	0.00	0.30
			M-02	0.30	1.50
C-88	217+500	E	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-89	218+000	D	M-01	0.00	0.10
			M-02	0.10	0.80
			M-03	0.80	1.50
C-90	218+500	E	M-01	0.00	0.15
			M-02	0.15	1.50
C-91	219+000	I	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-92	219+500	E	M-01	0.00	0.15
			M-02	0.15	1.50
C-93	220+000	D	M-01	0.00	0.40
			M-02	0.40	1.50
C-94	220+500	E	M-01	0.00	0.10
			M-02	0.10	1.50
C-95	221+000	I	M-01	0.00	0.25
			M-02	0.25	1.50
C-96	221+500	E	M-01	0.00	0.50
			M-02	0.50	1.50
C-97	222+000	D	M-01	0.00	0.60

EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA TRAMO 8 CAPAZO - MAZOCRUZ					
CALICATA	UBICACIÓN KM.	LADO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	
				DE	A
C-97	222+000	D	M-02	0.60	1.50
C-98	222+500	E	M-01	0.00	0.50
			M-02	0.50	1.50
C-99	223+000	I	M-01	0.00	0.50
			M-02	0.50	1.50
C-100	223+500	E	PUENTE CALALEQUEÑA		
C-101	224+000	D	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-102	224+500	E	M-01	0.00	0.10
			M-02	0.10	1.50
C-103	225+000	I	M-01	0.00	0.10
			M-02	0.10	1.50
C-104	225+500	E	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50
C-105	226+000	D	M-01	0.00	0.15
			M-02	0.15	1.50
C-106	226+500	E	M-01	0.00	0.25
			M-02	0.25	1.50
C-107	227+000	I	M-01	0.00	0.20
			M-02	0.20	1.50

Fuente: Elaboración propia



Figura 74. Calicata típica del tramo 8 (vista panorámica)
Fuente: Elaboración propia



Figura 75. Calicata típica del tramo 8 (vista focalizada)
Fuente: Elaboración propia

De la misma manera, se presentan los resultados de los ensayos realizados, considerando que la ejecución de los ensayos de clasificación se realizó cada 500 metros, a excepción de los ensayos Proctor Modificado y CBR se realizaron cada 2000 metros debido al tiempo de ejecución.

La figura 76 muestra la ejecución del ensayo de CBR.



Figura 76. Ensayo de CBR
Fuente: Elaboración propia

.

Se presenta la tabla 34 que resume los valores obtenidos durante la evaluación geotécnica del tramo 7.

Tabla 34.

Resultados de ensayo de materiales de la estructura existente del tramo 7

CALIC.	% QUE PASA EL TAMIZ													CONST. FÍSICAS			CLASIFICACIÓN		PROCTOR MODIF.		CBR A 0.1" DE PENETRACIÓN	
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°20	N°40	N° 50	N° 100	Nº200	LL	L P	I P	SUCS	AASHTO	MDS	OCH	CBR AL 95%	CBR AL 100%
C-1	100.0	100.0	77.0	69.9	64.4	60.4	48.4	41.6	34.2	27.9	24.8	18.4	14.9	26	18	8	GC	A-2-4 (0)	2.017	9.3	63.9	82.1
	100.0	100.0	79.3	73.5	67.2	64.4	55.0	50.4	43.7	36.3	32.0	24.0	20.3	25	17	8	GC	A-2-4 (0)	1.900	11.2	34.9	43.4
C-2	100.0	100.0	73.1	66.4	58.8	55.6	44.9	35.8	24.7	17.5	14.9	11.2	9.2	21	NP	NP	GP-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-3	100.0	100.0	88.2	81.8	75.0	71.3	61.0	49.6	37.8	30.2	27.1	21.6	18.0	22	18	4	SM-SC	A-1-b (0)	-	-	-	-
	BOLONERÍA																					
C-4	100.0	100.0	88.1	81.4	74.3	70.4	60.0	49.0	37.4	30.1	27.3	21.9	18.3	22	18	4	SM-SC	A-1-b (0)	-	-	-	-
	BOLONERÍA																					
C-5	100.0	100.0	91.9	89.4	85.5	82.8	70.2	64.9	57.2	49.0	44.1	33.6	27.9	19	15	4	SM-SC	A-2-4 (0)	1.966	11.7	18.8	27.5
	100.0	100.0	91.5	89.8	86.4	84.7	81.7	78.8	73.8	67.9	63.6	55.1	51.7	35	22	13	CL	A-6 (5)	1.742	16.4	3.1	3.9
C-6	100.0	100.0	81.6	78.8	74.4	71.4	63.2	54.6	44.6	36.2	32.0	23.3	17.2	21	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	BOLONERÍA																					
C-7	100.0	100.0	95.3	93.7	87.7	83.0	72.5	60.0	46.1	35.9	31.5	22.7	16.6	20	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	BOLONERÍA																					
C-8	100.0	100.0	95.1	93.2	87.1	82.1	71.3	59.1	45.3	35.2	31.1	22.1	16.1	19	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	90.6	89.0	85.1	83.3	81.5	70.9	57.7	46.8	41.1	33.9	28.8	33	29	4	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
	BOLONERÍA																					
C-9	100.0	100.0	92.2	88.7	80.5	76.8	63.4	55.4	45.4	37.5	33.7	26.3	21.3	23	17	6	SM-SC	A-1-b (0)	1.981	10.3	20.3	30.7
	100.0	100.0	92.3	91.0	89.0	88.2	81.2	76.6	70.8	65.8	62.0	55.7	52.0	41	23	18	CL	A-7-6 (7)	1.617	17.8	3.3	3.6
	BOLONERÍA																					
C-10	100.0	100.0	91.9	88.1	79.6	75.7	62.1	54.2	44.5	36.6	33.0	25.6	20.9	24	17	7	SM-SC	A-2-4 (0)	-	-	-	-
	BOLONERÍA																					
C-11	100.0	100.0	88.4	85.3	81.7	79.4	71.1	61.3	48.3	38.2	33.7	29.1	24.4	23	19	4	SM-SC	A-1-b (0)	-	-	-	-
	BOLONERÍA																					
C-12	100.0	100.0	88.2	84.8	81.1	78.8	70.3	60.4	47.4	37.3	32.6	28.2	23.4	23	19	4	SM-SC	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	93.9	89.8	85.1	77.6	68.3	61.9	47.4	39.7	21	15	6	SM-SC	A-4 (1)	-	-	-	-
C-13	100.0	100.0	100.0	86.3	85.0	83.2	81.7	73.2	66.6	59.8	56.0	49.0	45.4	27	16	11	SC	A-6 (2)	1.962	11.5	7.1	9.6
	BOLONERÍA																					

CALIC.	% QUE PASA EL TAMIZ													CONST. FÍSICAS			CLASIFICACIÓN		PROCTOR MODIF.		CBR A 0.1" DE PENETRACIÓN	
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°20	N°40	N° 50	N° 100	Nº200	LL	L P	I P	SUCS	AASHTO	MDS	OCH	CBR AL 95%	CBR AL 100%
C-14	100.0	100.0	100.0	86.1	84.6	82.6	80.7	72.2	65.5	59.0	55.2	48.3	44.6	28	17	11	SC	A-6 (2)	-	-	-	-
	100.0	100.0	80.6	74.1	68.2	64.6	53.9	46.0	36.8	28.0	24.3	17.6	14.4	22	NP	NP	GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
	BOLONERÍA																					
C-15	100.0	100.0	93.5	92.4	88.5	86.2	78.3	68.6	56.5	44.5	38.2	25.8	18.2	15	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	99.3	98.1	88.9	87.4	84.8	80.5	76.3	65.7	59.8	29	15	14	CL	A-6 (7)	-	-	-	-
C-16	100.0	100.0	93.2	81.4	77.5	75.0	67.1	58.7	48.5	38.3	32.7	22.1	16.5	16	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-17	100.0	100.0	95.2	91.5	86.1	82.6	75.3	68.7	59.3	48.1	41.3	26.5	17.4	15	NP	NP	SM	A-1-b (0)	2.058	9.4	28.2	42.3
	100.0	100.0	92.2	89.6	87.1	84.5	77.2	71.8	61.5	51.2	45.2	31.8	23.7	26	20	6	SM-SC	A-2-4 (0)	1.849	13.2	31.0	55.0
C-18	100.0	100.0	91.5	88.6	87.0	86.1	82.3	74.2	62.2	50.4	44.3	32.4	25.8	19	15	4	SM-SC	A-2-4 (0)	-	-	-	-
	BOLONERÍA																					
C-19	100.0	100.0	91.2	88.2	86.0	84.7	80.6	72.5	60.9	49.5	43.3	31.8	25.0	19	15	4	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
	ROCA FIJA																					
C-20	100.0	94.3	86.6	82.8	77.2	74.2	65.4	57.6	47.8	38.7	33.8	24.4	18.6	20	15	5	SM-SC	A-1-b (0)	-	-	-	-
	BOLONERÍA																					
C-21	100.0	96.3	90.3	88.0	84.1	81.4	74.5	65.7	54.4	43.9	38.1	25.0	17.0	15	NP	NP	SM	A-1-b (0)	1.985	7.5	47.4	88.3
	100.0	96.7	91.1	89.5	84.6	82.2	75.6	68.6	61.6	53.7	48.3	35.9	26.6	20	15	5	SM-SC	A-2-4 (0)	1.925	12.0	32.6	37.2
C-22	100.0	85.6	80.0	75.9	72.3	70.0	63.0	54.6	44.5	35.3	30.4	20.4	15.2	25	20	5	SM-SC	A-1-b (0)	-	-	-	-
	ROCA FIJA																					
C-23	100.0	97.1	89.5	84.1	79.1	75.9	68.9	61.7	53.4	45.2	40.4	30.5	24.8	25	20	5	SM-SC	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	96.9	89.0	83.5	78.1	74.6	67.3	60.2	52.2	44.1	39.4	29.6	23.9	25	20	5	SM-SC	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-24	100.0	96.9	89.3	83.8	78.5	75.4	68.1	60.9	52.7	44.5	39.9	30.1	24.4	25	19	6	SM-SC	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	96.9	96.4	92.5	79.4	63.8	55.6	38.6	28.3	18	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
C-25	100.0	100.0	93.8	92.4	89.0	87.8	81.7	73.3	61.2	49.6	43.1	29.9	22.3	24	NP	NP	SM	A-1-b (0)	1.962	10.7	23.4	38.9
	100.0	92.3	87.3	83.6	77.7	74.9	66.7	56.7	42.8	31.2	26.5	17.6	11.7	24	NP	NP	SP-SM	A-1-b (0)	1.896	9.7	18.1	31.7
C-26	100.0	100.0	93.6	92.1	88.6	87.2	81.0	72.7	60.5	49.0	42.4	29.3	21.8	23	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	ROCA SUELTA																					
C-27	100.0	100.0	91.8	86.2	78.7	74.3	62.2	53.7	43.8	35.8	32.3	26.4	23.6	29	22	7	SC	A-2-4 (0)	-	-	-	-
C-28	100.0	100.0	91.7	86.0	78.3	73.7	61.4	53.0	43.1	35.2	31.9	26.1	23.1	29	21	8	GC	A-2-4 (0)	-	-	-	-
	ROCA FIJA																					
C-29	100.0	95.8	94.4	92.7	88.5	86.2	76.4	66.3	53.2	40.4	34.2	22.1	14.8	16	NP	NP	SM	A-1-b (0)	1.983	11.6	10.2	15.5
	100.0	88.8	79.3	76.7	74.7	72.2	64.5	53.9	43.0	34.9	30.9	21.7	15.8	24	19	5	SM-SC	A-1-b (0)	1.944	12.5	19.0	36.8
	ROCA SUELTA																					

CALIC.	% QUE PASA EL TAMIZ													CONST. FÍSICAS			CLASIFICACIÓN		PROCTOR MODIF.		CBR A 0.1" DE PENETRACIÓN	
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°20	N°40	N° 50	N° 100	Nº200	LL	L P	I P	SUCS	AASHTO	MDS	OCH	CBR AL 95%	CBR AL 100%
C-30	100.0	95.9	94.4	92.6	88.4	84.0	74.2	64.2	51.3	38.8	32.4	20.9	14.0	16	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	88.7	79.1	76.5	74.2	71.7	63.8	53.3	42.7	34.4	30.5	21.4	15.7	24	20	4	SM-SC	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-31	100.0	100.0	99.6	99.1	98.1	96.9	87.6	78.7	70.1	62.1	57.5	45.8	36.5	33	19	14	SC	A-6 (1)	-	-	-	-
C-32	100.0	94.7	90.3	89.2	86.8	84.7	76.7	72.0	62.2	50.9	44.4	31.5	24.6	21	18	3	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
	ROCA SUELTA																					
C-33	100.0	100.0	87.3	83.2	74.3	68.3	53.2	41.7	33.4	26.8	23.4	17.0	13.3	18	NP	NP	GM	A-1-a (0)	1.902	13.2	30.7	42.6
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	97.9	96.1	89.9	80.5	71.6	67.3	59.1	53.3	37	23	14	CL	A-6 (5)	1.625	18.3	4.6	6.2
C-34	100.0	100.0	87.8	83.4	74.3	68.2	53.0	41.5	33.0	26.4	22.9	16.6	12.8	18	NP	NP	GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
	100.0	92.3	85.4	82.1	70.6	65.3	50.8	39.2	28.7	21.5	18.5	13.9	11.0	31	27	4	GW-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-35	100.0	100.0	100.0	100.0	97.8	97.3	92.5	84.0	71.5	59.6	53.9	44.2	39.1	31	25	6	SM	A-4 (1)	-	-	-	-
C-36	100.0	100.0	84.4	78.2	71.5	66.4	56.4	44.9	33.2	25.1	21.8	16.2	12.3	23	NP	NP	SM	A-1-a (0)	-	-	-	-
	ROCA FIJA																					
C-37	100.0	100.0	96.8	96.2	92.8	90.8	85.0	75.1	62.8	51.6	45.5	33.8	25.5	18	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	1.914	12.7	23.7	38.3
	100.0	100.0	100.0	97.9	96.1	95.3	93.0	80.3	65.6	54.3	48.6	39.2	34.0	33	28	5	SM	A-2-4 (0)	1.640	16.0	17.4	27.9
C-38	100.0	100.0	99.0	95.9	93.0	92.0	86.0	78.3	66.7	55.0	49.0	38.0	31.8	33	19	14	SC	A-2-6 (1)	-	-	-	-
C-39	100.0	100.0	97.2	95.7	88.3	86.4	81.2	73.4	63.4	53.0	47.2	36.8	31.2	26	19	7	SM-SC	A-2-4 (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	91.6	88.7	85.1	83.5	72.7	67.6	61.9	55.8	52.0	44.8	41.0	51	26	25	SC	A-7-6 (5)	-	-	-	-
C-40	100.0	100.0	97.2	95.6	88.3	86.2	81.1	73.2	63.0	52.4	46.6	36.4	30.9	25	19	6	SM-SC	A-2-4 (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	99.4	98.2	97.7	96.0	87.1	70.8	56.7	49.3	28.8	19.4	23	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
C-41	100.0	100.0	98.4	94.4	91.6	90.5	85.8	72.6	54.4	39.7	33.5	22.8	16.4	26	21	5	SM-SC	A-1-b (0)	1.901	14.6	10.2	14.9
C-42	100.0	100.0	98.2	93.9	91.1	89.8	85.0	72.0	53.7	39.3	32.8	22.4	15.9	26	21	5	SM-SC	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-43	100.0	100.0	93.6	90.8	85.1	82.2	74.1	61.1	46.1	35.1	30.4	22.8	18.5	22	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-44	72.8	69.7	61.4	58.9	53.7	50.9	43.3	36.6	29.9	23.6	20.4	14.8	12.2	22	NP	NP	GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
	ROCA FIJA																					
C-45	100.0	92.3	88.9	85.1	80.0	76.1	65.5	51.8	37.6	28.7	25.4	20.7	18.2	25	NP	NP	SM	A-1-b (0)	1.882	10.8	40.0	63.5
C-46	100.0	100.0	97.2	95.4	91.8	88.9	79.3	63.0	46.4	35.6	31.2	24.5	21.3	26	21	5	SM-SC	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-47	100.0	100.0	90.5	87.8	84.8	83.3	78.0	66.3	52.5	41.5	35.6	23.5	17.6	23	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-48	100.0	100.0	90.7	86.1	83.0	81.2	75.7	65.4	51.9	41.1	35.2	23.4	17.9	22	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	ROCA SUELTA																					
C-49	100.0	100.0	94.4	92.4	84.5	79.0	65.7	53.8	42.6	33.0	28.5	20.1	14.9	19	NP	NP	SM	A-1-b (0)	1.801	10.5	41.3	71.2
C-50	92.3	85.3	79.4	77.3	70.9	65.9	56.1	46.5	37.5	29.4	25.1	17.0	11.8	19	NP	NP	SP-SM	A-1-a (0)	-	-	-	-

CALIC.	% QUE PASA EL TAMIZ													CONST. FÍSICAS			CLASIFICACIÓN		PROCTOR MODIF.		CBR A 0.1" DE PENETRACIÓN	
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°20	N°40	N° 50	N° 100	Nº200	LL	L P	I P	SUCS	AASHTO	MDS	OCH	CBR AL 95%	CBR AL 100%
C-50	BOLONERÍA																					
C-51	92.5	85.8	80.0	77.7	71.5	66.6	57.2	47.3	38.1	29.7	25.3	17.1	12.0	19	NP	NP	SM	A-1-a (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.1	94.2	83.0	66.1	48.7	40.2	25.2	17.7	23	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-52	100.0	100.0	100.0	100.0	95.8	93.8	86.6	78.4	69.9	61.2	55.8	45.3	34.2	20	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
C-53	100.0	100.0	93.5	90.3	84.7	81.7	66.3	55.4	45.0	36.5	32.5	25.5	21.2	23	17	6	SM-SC	A-1-b (0)	1.859	13.9	31.7	49.3
C-54	100.0	100.0	92.2	89.5	85.3	82.5	74.6	65.1	54.4	45.6	41.3	35.0	31.2	29	22	7	SM-SC	A-2-4 (0)	-	-	-	-
C-55	100.0	100.0	100.0	93.6	87.2	79.5	59.7	44.9	35.0	27.4	23.9	17.7	13.0	18	NP	NP	SM	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-56	100.0	100.0	98.4	92.3	70.1	59.8	44.2	35.4	30.8	26.8	24.6	19.8	16.7	18	NP	NP	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-57	100.0	100.0	96.2	91.6	87.0	80.8	63.3	48.4	35.4	25.1	20.7	13.6	9.4	16	NP	NP	SW-SM	A-1-a (0)	1.962	8.9	65.3	83.5
C-58	91.8	86.2	76.3	70.4	64.2	60.0	49.0	39.9	31.5	24.2	20.6	13.9	10.2	20	NP	NP	GP-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
	BOLONERÍA																					
C-59	91.9	86.2	76.6	70.6	64.2	60.0	49.1	40.1	31.6	24.2	20.7	13.9	10.1	19	NP	NP	GP-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
	ROCA FIJA																					
C-60	100.0	100.0	97.8	94.9	87.8	81.7	64.1	49.7	40.9	33.2	29.6	21.7	15.1	17	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	ROCA FIJA																					
C-61	100.0	100.0	94.1	91.0	80.0	71.1	50.0	37.2	31.2	26.4	23.9	18.7	13.9	18	NP	NP	GM	A-1-a (0)	2.042	10.5	36.1	44.6
	ROCA FIJA																					
C-62	100.0	89.6	82.3	79.3	72.3	68.9	58.6	47.2	37.4	29.5	25.7	18.7	13.9	17	NP	NP	SM	A-1-a (0)	-	-	-	-
	95.1	79.6	70.0	64.9	56.4	52.7	44.7	35.1	26.0	20.1	17.6	13.2	11.3	19	NP	NP	GP-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-63	96.2	85.0	73.2	67.9	60.0	56.1	46.5	39.3	32.3	26.0	22.7	16.7	13.3	18	NP	NP	GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
	ROCA SUELTA																					
C-64	96.0	85.2	73.8	68.5	60.8	56.7	47.3	40.0	32.7	26.3	23.0	16.9	13.4	18	NP	NP	GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
	98.5	88.2	76.2	71.1	65.5	62.7	45.1	34.5	24.5	18.6	16.0	12.1	10.0	17	NP	NP	GW-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-65	100.0	93.3	87.7	84.5	78.7	75.2	66.2	55.5	46.1	37.4	32.6	24.9	20.2	22	NP	NP	SM	A-1-b (0)	1.862	11.0	37.8	48.9
	ROCA FIJA																					
C-66	100.0	100.0	93.6	91.1	86.3	83.1	73.9	61.1	50.0	39.8	34.5	24.1	17.9	15	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	ROCA SUELTA																					
C-67	ROCA SUELTA																					
C-68	100.0	100.0	100.0	98.6	93.5	89.2	77.9	65.1	51.2	39.0	32.2	20.0	14.7	15	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	ROCA FIJA																					
C-69	ROCA SUELTA																					
C-70	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	93.8	81.3	63.7	47.2	38.9	23.7	15.6	15	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-

CALIC.	% QUE PASA EL TAMIZ													CONST. FÍSICAS			CLASIFICACIÓN		PROCTOR MODIF.		CBR A 0.1" DE PENETRACIÓN	
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°20	N°40	N° 50	N° 100	Nº200	LL	L P	I P	SUCS	AASHTO	MDS	OCH	CBR AL 95%	CBR AL 100%
C-70	ROCA SUELTA																					
C-71	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	94.7	83.2	66.6	51.2	43.8	29.6	22.5	15	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
	ROCA SUELTA																					
C-72	100.0	100.0	96.3	93.9	88.4	81.8	66.3	55.5	46.1	36.7	31.5	20.4	13.3	16	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	88.3	78.3	77.4	73.0	69.7	60.6	50.4	40.2	33.0	29.8	23.9	19.5	24	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-73	100.0	100.0	96.4	94.2	88.8	82.3	66.8	56.1	46.5	37.0	31.8	20.6	13.3	15	NP	NP	SM	A-1-b (0)	1.934	10.0	46.6	53.5
	100.0	100.0	74.6	68.7	62.4	58.7	49.3	41.9	33.5	27.4	24.8	19.8	16.7	22	NP	NP	GM	A-1-b (0)	2.063	9.0	47.1	69.6
C-74	100.0	100.0	96.6	94.6	89.2	82.8	67.2	56.3	46.3	36.6	31.3	19.2	11.6	15	NP	NP	SP-SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	ROCA FIJA																					
C-75	94.7	92.4	89.3	86.1	81.3	77.0	63.8	51.5	40.7	31.8	27.2	18.7	11.9	17	NP	NP	SP-SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	ROCA SUELTA																					
C-76	94.7	92.3	89.2	85.9	81.1	76.7	63.5	51.7	41.1	32.5	28.1	19.8	13.3	16	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	ROCA SUELTA																					
C-77	94.8	92.7	89.9	86.9	82.3	78.1	64.6	52.3	41.3	32.4	27.8	19.1	12.3	17	NP	NP	SM	A-1-b (0)	1.901	10.2	34.1	58.7
	94.0	90.6	88.9	87.4	82.1	76.7	52.9	32.3	23.4	17.5	15.1	11.4	8.8	28	NP	NP	GW-GM	A-1-a (0)	2.013	10.3	53.0	74.8
C-78	100.0	100.0	100.0	98.0	94.2	89.4	76.8	64.0	51.6	41.7	37.2	28.6	21.6	20	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	92.7	90.5	85.7	82.3	69.5	58.3	44.0	32.6	27.6	18.5	12.8	18	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-79	88.1	80.7	76.4	73.6	68.8	65.0	53.3	45.7	39.6	34.3	31.1	23.1	16.8	21	NP	NP	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	94.0	90.5	86.4	81.0	67.5	59.2	30.8	28.3	25.8	23.9	23.1	21.7	20.5	45	30	15	GM	A-2-7 (0)	-	-	-	-
C-80	87.9	80.4	76.1	73.5	68.8	65.0	53.1	45.4	39.4	34.1	30.8	22.9	16.7	20	NP	NP	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	92.6	89.4	84.9	81.1	73.8	68.6	52.3	43.6	37.1	31.4	28.4	22.8	18.4	18	16	2	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-81	87.7	80.2	76.0	73.5	68.9	65.3	53.2	45.6	39.6	34.3	31.1	23.2	16.6	21	NP	NP	GM	A-1-b (0)	2.147	7.7	38.8	50.1
	100.0	94.2	90.4	86.7	83.7	77.5	63.0	48.3	40.1	34.1	30.8	23.4	18.2	18	NP	NP	SM	A-1-b (0)	2.027	9.6	38.5	59.9
C-82	88.1	80.8	76.6	74.0	69.3	65.6	53.9	46.3	40.3	35.0	31.7	23.9	17.4	20	NP	NP	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	92.7	89.4	84.8	80.9	73.7	68.4	52.5	45.4	39.9	35.2	32.6	27.9	24.2	18	16	2	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-83	88.4	81.3	77.1	74.5	70.0	66.4	54.9	47.0	40.7	35.2	32.0	24.0	17.5	21	NP	NP	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	93.0	89.8	85.3	81.6	74.6	69.5	54.7	47.6	42.3	37.4	34.9	30.4	26.7	19	16	3	GM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
C-84	88.5	81.4	77.2	74.6	70.0	66.3	54.9	46.9	40.7	35.1	31.8	23.8	17.2	20	NP	NP	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	87.2	80.8	76.1	72.8	65.2	59.8	43.9	33.0	26.4	21.8	19.3	14.7	11.4	25	20	5	GW-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-85	100.0	100.0	100.0	96.8	95.2	91.7	77.7	60.0	49.7	42.3	38.4	29.2	20.9	15	NP	NP	SM	A-1-b (0)	1.905	10.7	42.2	62.2
	100.0	100.0	98.2	96.1	91.8	88.3	79.3	72.1	67.3	58.9	50.8	34.6	23.5	23	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	2.005	10.5	28.2	45.2
C-86	100.0	100.0	98.1	95.7	91.2	87.5	78.4	71.1	66.4	57.8	49.7	33.9	22.8	23	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-

CALIC.	% QUE PASA EL TAMIZ													CONST. FÍSICAS			CLASIFICACIÓN		PROCTOR MODIF.		CBR A 0.1" DE PENETRACIÓN	
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°20	N°40	N° 50	N° 100	Nº200	LL	L P	I P	SUCS	AASHTO	MDS	OCH	CBR AL 95%	CBR AL 100%
C-87	100.0	100.0	100.0	97.0	95.6	92.2	78.2	59.3	48.3	40.5	36.0	25.9	17.0	16	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	90.4	84.9	81.9	78.9	73.1	69.2	58.7	48.9	41.9	36.2	32.8	25.4	21.5	19	NP	NP	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-88	87.2	83.2	79.7	76.0	70.2	66.6	57.6	48.7	40.6	34.5	31.1	23.7	19.6	16	NP	NP	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-89	87.2	83.3	80.0	76.4	70.7	67.2	58.2	49.4	41.2	34.9	31.4	24.1	19.8	16	NP	NP	GM	A-1-b (0)	2.025	10.7	25.3	43.7
	ROCA SUELTA																					
C-90	100.0	92.4	87.9	82.8	77.2	73.5	63.0	46.9	36.4	30.4	27.1	19.3	12.8	15	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	BOLONERÍA																					
C-91	100.0	94.0	85.5	79.3	68.1	61.3	49.1	37.1	31.8	27.0	23.9	17.1	12.0	19	NP	NP	GP-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-92	100.0	93.8	85.3	79.0	67.9	61.0	48.8	36.9	31.7	27.0	23.8	17.1	11.9	18	NP	NP	GP-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-93	100.0	94.1	85.8	79.8	68.7	62.1	49.9	37.9	32.4	27.6	24.5	17.2	11.9	19	NP	NP	GP-GM	A-1-a (0)	2.067	8.4	46.1	67.4
C-94	79.4	73.3	70.5	68.2	62.8	59.4	49.2	39.3	31.9	26.5	23.2	16.5	10.6	20	NP	NP	GP-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-95	77.6	71.5	69.0	67.0	61.6	58.5	47.8	38.3	32.0	26.8	23.7	17.0	11.1	21	NP	NP	GP-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-96	100.0	85.3	78.5	75.7	70.8	67.7	59.1	48.8	40.4	33.9	30.5	22.7	16.9	23	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-97	100.0	85.4	78.6	75.9	70.9	67.8	59.3	48.9	40.5	33.9	30.4	22.8	17.0	23	NP	NP	SM	A-1-b (0)	2.041	8.8	30.8	45.9
	100.0	87.8	79.6	77.7	75.4	73.3	65.8	55.9	40.5	28.0	22.2	13.1	8.2	19	NP	NP	SW-SM	A-1-b (0)	1.890	9.2	33.5	46.0
C-98	100.0	85.3	78.7	76.2	71.5	68.6	60.1	49.6	41.1	34.3	30.7	22.9	17.1	23	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-99	100.0	84.7	78.1	76.0	71.6	69.0	60.5	49.8	41.4	34.7	31.1	23.1	17.2	24	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-100	90.5	83.5	80.0	75.3	70.4	66.2	53.9	40.2	31.4	25.0	21.7	15.1	10.3	23	NP	NP	GW-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
	100.0	93.5	90.2	85.5	81.4	78.6	70.4	57.6	47.9	40.3	36.0	27.5	21.6	21	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-101	90.5	83.5	80.3	75.9	71.2	67.2	54.8	41.0	32.0	25.5	22.2	15.0	10.2	23	NP	NP	GW-GM	A-1-a (0)	2.003	10.5	27.4	38.6
C-102	91.0	83.7	79.4	76.8	73.9	71.5	60.4	49.8	39.9	33.2	29.8	22.5	16.9	19	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-103	91.0	82.7	81.4	78.4	75.6	73.8	65.6	55.5	47.7	40.6	36.7	28.6	22.4	16	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-104	100.0	95.6	93.9	92.3	87.6	84.7	76.0	66.6	59.0	49.5	44.1	31.1	22.3	19	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	95.6	91.6	88.5	85.2	79.7	75.6	59.3	44.6	35.1	27.3	23.6	16.9	12.3	25	NP	NP	SM	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-105	100.0	93.3	91.8	90.5	87.9	85.1	76.3	65.6	56.5	47.4	42.3	32.9	26.4	16	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	2.019	11.1	21.2	37.1
C-106	100.0	95.3	93.4	91.1	87.6	84.7	75.4	65.7	56.8	47.2	41.6	29.6	20.0	17	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-107	100.0	95.8	94.0	92.0	87.7	84.7	74.3	64.2	55.5	45.8	36.9	26.8	18.4	16	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	92.5	84.2	82.3	79.8	74.5	70.9	61.7	52.0	42.3	34.9	30.6	22.2	16.6	16	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-108	100.0	95.7	94.0	92.2	87.7	84.7	75.3	65.6	57.0	47.0	39.6	29.3	20.3	18	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-109	100.0	95.5	94.6	92.5	87.4	84.7	75.9	67.5	58.9	49.8	44.0	30.4	20.9	19	NP	NP	SM	A-1-b (0)	1.976	10.8	33.6	65.8
C-110	100.0	95.8	94.1	92.1	87.8	84.2	74.2	64.3	56.6	46.8	40.3	28.2	19.8	18	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	94.8	93.8	91.9	89.1	86.6	80.9	73.5	67.0	59.9	55.3	44.2	35.7	19	NP	NP	SM	A-4 (0)	-	-	-	-

CALIC.	% QUE PASA EL TAMIZ													CONST. FÍSICAS			CLASIFICACIÓN		PROCTOR MODIF.		CBR A 0.1" DE PENETRACIÓN	
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°20	N°40	N° 50	N° 100	Nº200	LL	L P	I P	SUCS	AASHTO	MDS	OCH	CBR AL 95%	CBR AL 100%
C-111	100.0	92.8	89.2	87.3	82.0	78.4	69.5	60.4	53.1	43.6	37.1	25.4	17.4	18	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-112	100.0	89.6	84.9	81.6	75.0	71.9	64.0	55.3	47.4	37.6	30.0	14.3	7.6	18	NP	NP	SP-SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-113	92.6	86.5	82.9	78.7	73.4	70.9	65.1	57.5	49.6	40.1	34.6	32.6	22.0	21	NP	NP	SM	A-1-b (0)	1.840	11.3	41.3	38.6
C-114	88.7	83.9	82.4	78.9	75.1	73.1	67.4	60.9	54.9	46.9	41.0	25.0	16.0	19	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-115	93.7	89.8	87.6	85.3	82.0	79.2	71.8	62.5	54.6	46.2	40.8	27.7	18.3	20	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-116	92.4	87.7	86.0	81.7	75.2	72.1	64.5	54.9	46.2	38.0	33.2	21.2	11.8	19	NP	NP	SP-SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-117	92.2	87.8	86.6	82.5	75.9	73.3	65.6	55.9	47.0	38.8	33.8	21.6	12.0	20	NP	NP	SM	A-1-b (0)	1.997	9.5	29.5	38.6
C-118	100.0	100.0	98.0	96.3	94.6	92.9	89.1	83.9	66.6	45.3	34.5	15.7	7.8	22	NP	NP	SW-SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	95.0	87.8	85.0	81.1	77.0	75.0	68.7	59.4	48.1	37.9	32.7	21.2	12.5	22	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-119	100.0	100.0	98.1	96.6	95.0	93.4	89.7	84.6	67.8	46.1	35.0	15.9	7.9	23	NP	NP	SW-SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-120	100.0	100.0	98.1	96.6	95.0	93.4	89.8	84.8	67.8	46.3	35.4	15.8	8.2	23	NP	NP	SW-SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98.0	94.8	88.2	75.5	67.4	49.2	36.8	24	NP	NP	SM	A-4 (0)	-	-	-	-
C-121	100.0	100.0	98.3	97.1	95.8	94.6	90.8	85.7	68.4	46.9	35.9	16.3	8.5	23	NP	NP	SW-SM	A-1-b (0)	1.703	12.1	26.5	38.3
C-122	100.0	100.0	98.4	96.5	94.5	92.6	85.8	72.7	55.2	40.3	31.8	14.7	6.8	25	NP	NP	SP-SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-123	100.0	100.0	93.7	91.6	88.3	85.8	80.5	70.4	57.9	46.7	40.2	26.3	18.2	26	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-124	100.0	100.0	98.2	97.0	95.4	93.9	88.9	81.6	71.5	57.7	45.7	18.5	7.4	26	NP	NP	SP-SM	A-3 (0)	-	-	-	-
C-125	100.0	100.0	98.4	97.7	96.4	95.3	90.0	82.8	72.6	58.7	46.6	18.9	7.5	27	NP	NP	SP-SM	A-3 (0)	1.594	11.0	29.5	38.9
C-126	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98.8	94.0	81.9	59.5	37.4	27.2	10.9	4.7	17	NP	NP	SP	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-127	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98.7	93.9	82.1	59.6	37.6	27.3	11.3	5.0	17	NP	NP	SP-SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-128	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98.9	94.2	82.3	59.5	37.4	27.3	11.1	5.0	18	NP	NP	SP-SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-129	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.4	95.3	83.1	60.1	38.0	27.7	11.4	5.2	18	NP	NP	SP-SM	A-1-b (0)	1.641	11.7	25.1	30.0
C-130	100.0	100.0	98.9	97.9	97.0	96.2	92.8	81.2	57.2	34.0	23.7	9.0	4.5	18	NP	NP	SP	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-131	95.8	93.9	92.1	90.3	87.5	85.4	78.2	68.2	53.4	39.3	32.0	18.4	11.3	18	NP	NP	SW-SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-132	95.8	93.9	91.9	90.0	87.3	85.1	77.9	67.7	52.8	38.6	31.5	17.8	10.8	17	NP	NP	SW-SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-133	96.0	94.5	93.0	91.5	89.1	87.3	80.1	69.8	54.6	40.1	32.6	18.6	11.3	18	NP	NP	SW-SM	A-1-b (0)	1.728	9.9	24.1	28.7
	95.9	94.0	92.1	90.3	87.6	85.5	78.5	68.2	53.0	39.0	32.2	18.6	11.9	17	NP	NP	SW-SM	A-1-b (0)	1.699	10.8	24.9	38.6
C-134	100.0	100.0	100.0	99.4	98.3	97.8	96.4	89.9	77.7	63.7	54.9	33.2	20.4	25	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
C-135	100.0	100.0	100.0	98.4	95.5	94.1	90.5	84.2	72.6	59.2	50.8	30.4	18.1	25	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
C-136	100.0	100.0	100.0	98.4	95.6	94.1	90.6	84.1	72.3	58.7	50.1	29.8	17.2	25	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
C-137	100.0	100.0	100.0	99.0	96.3	95.5	92.0	85.5	73.9	60.4	52.0	31.3	18.7	26	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	1.583	15.0	23.1	31.5
C-138	100.0	100.0	99.1	98.1	96.9	95.5	89.8	77.9	58.9	41.5	32.1	15.7	8.4	17	NP	NP	SW-SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-139	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98.7	93.9	81.0	61.6	43.5	34.9	19.9	10.8	24	NP	NP	SW-SM	A-1-b (0)	-	-	-	-

CALIC.	% QUE PASA EL TAMIZ													CONST. FÍSICAS			CLASIFICACIÓN		PROCTOR MODIF.		CBR A 0.1" DE PENETRACIÓN	
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°20	N°40	N° 50	N° 100	Nº200	LL	L P	I P	SUCS	AASHTO	MDS	OCH	CBR AL 95%	CBR AL 100%
C-140	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98.7	94.0	81.3	62.1	43.9	35.3	20.2	11.0	24	NP	NP	SW-SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-141	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.0	94.1	81.3	61.9	44.0	35.6	20.7	11.7	25	NP	NP	SP-SM	A-1-b (0)	1.757	9.8	36.4	45.2
C-142	100.0	100.0	100.0	100.0	99.1	97.4	88.8	71.2	58.6	47.2	40.5	24.3	12.2	21	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-143	100.0	100.0	100.0	100.0	99.1	97.4	88.8	71.2	58.6	47.2	40.5	24.3	12.2	19	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	87.0	84.3	82.7	80.1	74.9	71.9	64.0	51.6	39.7	30.7	26.5	17.8	12.3	20	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-144	88.1	85.5	81.0	75.8	70.8	67.4	59.9	50.8	41.1	31.1	26.4	17.1	11.1	20	NP	NP	SP-SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-145	100.0	100.0	99.5	98.5	96.3	94.5	88.1	78.8	66.9	52.4	44.6	27.6	14.5	23	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	1.819	11.1	37.0	48.2
	100.0	100.0	100.0	100.0	97.4	94.9	89.2	79.5	64.0	50.5	43.6	28.6	17.5	22	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	1.525	10.5	12.3	22.5
C-146	100.0	100.0	98.7	97.3	93.6	91.7	84.6	71.4	61.3	51.5	44.9	29.7	20.5	21	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	97.6	92.9	84.8	71.7	59.9	54.0	41.8	33.3	20	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
C-147	100.0	100.0	99.0	97.9	94.3	92.6	85.3	72.2	62.0	52.2	45.6	30.3	20.9	22	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	97.1	93.2	88.0	72.8	60.6	32.9	20.2	25	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
C-148	100.0	100.0	100.0	97.2	91.0	86.2	76.2	66.7	58.0	47.2	40.2	26.9	18.9	16	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	98.0	96.6	89.7	79.5	68.0	58.3	54.1	44.5	35.7	31	NP	NP	SM	A-4 (0)	-	-	-	-
C-149	100.0	100.0	100.0	100.0	99.2	98.5	91.1	72.0	57.6	46.8	40.3	27.3	20.0	18	NP	NP	SM	A-1-b (0)	1.987	9.0	43.7	61.1
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.3	96.2	90.1	77.8	64.2	56.3	37.1	23.1	27	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	1.914	10.3	26.7	41.2
C-150	PUENTE CHALLAPALCA																					
C-151	100.0	95.4	86.6	81.5	74.1	70.1	57.3	51.9	46.6	40.6	36.5	26.1	17.5	17	NP	NP	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	94.5	90.3	83.9	81.1	72.5	65.1	58.6	52.7	49.0	39.1	30.8	19	17	2	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
C-152	100.0	95.3	90.0	85.4	78.2	74.5	73.7	66.0	54.5	44.6	38.2	37.0	25.8	16	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
	95.1	88.0	83.1	79.5	69.7	69.1	53.8	45.5	38.2	31.4	27.7	20.4	16.4	23	NP	NP	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-153	100.0	95.4	90.1	85.6	78.4	74.8	66.7	59.9	52.5	43.7	37.7	25.5	15.3	16	NP	NP	SM	A-1-b (0)	1.954	8.9	38.7	51.7
	95.2	88.1	83.2	79.6	69.7	64.5	49.0	41.5	34.9	28.8	25.4	18.9	15.2	23	20	3	GM	A-1-b (0)	1.872	10.1	50.9	72.9
C-154	98.6	95.3	92.9	89.6	86.9	85.1	79.4	78.2	68.7	60.0	55.1	43.3	35.3	20	NP	NP	SM	A-4 (0)	-	-	-	-
	100.0	75.7	67.5	64.0	59.8	57.0	50.0	43.3	38.0	34.0	31.8	27.6	24.8	22	19	3	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-155	89.0	82.6	79.4	74.2	65.5	59.4	49.1	40.9	35.6	31.4	29.2	23.1	15.6	21	NP	NP	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	99.5	99.0	98.2	95.7	85.8	76.9	69.8	65.3	51.3	38.9	20	NP	NP	SM	A-4 (1)	-	-	-	-
C-156	88.7	82.4	79.1	74.0	65.2	59.0	48.5	40.5	35.4	31.3	29.2	22.9	15.4	21	NP	NP	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	97.5	94.0	91.9	87.7	85.8	78.0	70.9	64.8	62.5	55.3	40.0	29.3	20	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
C-157	93.8	89.8	85.5	79.7	72.8	68.4	58.1	48.9	41.5	35.2	31.5	22.6	13.6	19	NP	NP	SM	A-1-b (0)	2.042	8.1	43.3	54.6
	100.0	97.6	94.2	92.2	88.1	86.3	78.4	71.2	65.3	56.2	48.7	33.6	22.7	21	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	1.882	10.5	16.3	24.4
C-158	93.8	89.8	85.5	79.7	72.9	68.4	67.4	56.6	47.9	40.6	36.5	26.3	16.1	19	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-

CALIC.	% QUE PASA EL TAMIZ													CONST. FÍSICAS			CLASIFICACIÓN		PROCTOR MODIF.		CBR A 0.1" DE PENETRACIÓN	
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°20	N°40	N° 50	N° 100	Nº200	LL	L P	I P	SUCS	AASHTO	MDS	OCH	CBR AL 95%	CBR AL 100%
C-158	91.2	83.9	76.2	68.6	58.2	51.7	39.9	32.0	27.5	23.8	21.6	15.1	8.7	24	NP	NP	GP-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-159	93.9	90.0	85.8	80.1	73.2	68.9	58.7	49.4	42.0	35.8	32.2	23.2	14.1	19	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	84.6	77.4	72.3	66.8	55.2	50.4	39.3	29.5	23.1	18.4	16.1	10.8	6.7	21	NP	NP	GW-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-160	96.4	93.1	83.0	75.6	69.1	65.3	56.9	50.5	45.4	40.6	37.3	25.8	15.3	16	NP	NP	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	99.5	98.8	98.0	95.9	82.5	69.2	57.2	50.8	37.6	28.1	20	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
C-161	96.3	92.9	82.7	75.2	68.6	64.7	56.1	49.8	44.5	39.7	36.3	24.9	14.4	17	NP	NP	GM	A-1-b (0)	2.038	8.1	46.2	63.7
	93.7	91.3	90.7	84.6	76.5	73.2	63.3	56.4	50.6	42.7	37.3	26.4	18.9	22	NP	NP	SM	A-1-b (0)	1.940	9.7	50.8	77.3
	ROCA FIJA																					
C-162	96.6	93.4	83.4	76.0	69.6	66.0	57.6	51.0	45.7	40.8	37.2	25.4	14.7	17	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	ROCA SUELTA																					
C-163	100.0	98.7	95.1	92.8	89.2	84.2	68.6	54.7	44.8	38.3	34.4	24.0	15.7	17	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	97.0	93.7	87.5	82.0	77.2	74.9	67.9	60.1	52.1	44.6	40.0	29.9	21.5	18	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-164	100.0	99.1	95.7	93.7	90.4	85.6	69.8	55.6	45.5	38.7	34.7	24.1	15.6	18	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	96.9	94.1	90.2	85.9	73.1	64.8	57.4	49.6	43.7	27.7	18.4	59	37	22	SC	A-2-7 (0)	-	-	-	-
C-165	100.0	100.0	95.4	91.0	85.4	80.1	60.7	48.2	40.1	34.7	31.2	23.1	16.1	19	NP	NP	SM	A-1-b (0)	1.987	7.9	43.7	70.5
	100.0	100.0	98.0	94.8	84.7	76.4	51.4	34.6	24.2	18.8	16.3	11.6	9.0	26	21	5	GW-GM	A-1-a (0)	2.004	10.1	49.6	76.7
C-166	100.0	97.6	96.8	94.2	90.1	86.2	72.1	58.3	48.3	41.3	37.0	26.3	17.4	20	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98.5	87.4	70.1	60.9	54.0	49.6	39.4	30.2	22	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
C-167	100.0	100.0	99.0	97.3	95.7	92.7	84.4	69.5	59.7	52.6	48.5	36.3	22.9	18	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
	BOLONERÍA																					
	100.0	100.0	97.8	96.5	90.0	86.0	70.1	59.3	51.0	44.7	40.5	30.2	20.8	21	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-168	100.0	100.0	100.0	100.0	99.2	98.2	91.3	77.0	68.3	61.1	56.6	45.8	36.4	20	NP	NP	SM	A-4 (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.0	89.1	71.7	62.2	55.1	50.8	40.5	31.0	22	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

De la misma manera, la tabla 35 muestra los resultados obtenidos de la evaluación geotécnica para el tramo 8.

Tabla 35.

Resultados de ensayo de materiales de la estructura existente del tramo 8

CALIC.	% QUE PASA EL TAMIZ													CONST. FÍSICAS			CLASIFICACIÓN		PROCTOR MODIF.		CBR A 0.1" DE PENETRACIÓN	
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°20	N°40	N° 50	N° 100	Nº200	LL	L P	I P	SUCS	AASHTO	MDS	OCH	CBR AL 95%	CBR AL 100%
C-1	100.0	100.0	97.6	94.5	90.8	87.1	70.2	55.6	46.6	40.7	37.2	27.7	16.5	19	NP	NP	SM	A-1-b (0)	2.103	9.2	51.1	73.3
	100.0	100.0	99.4	98.6	93.5	88.9	67.8	48.5	39.5	34.6	31.4	22.0	13.1	21	NP	NP	SM	A-1-b (0)	2.091	9.7	47.2	70.2
	100.0	100.0	100.0	94.8	87.6	83.0	62.8	49.8	41.2	34.9	29.5	17.9	12.2	17	14	3	SM	A-1-b (0)	1.519	26.2	55.3	70.7
C-2	100.0	100.0	99.6	97.5	89.8	83.0	62.1	48.9	39.6	32.9	29.0	21.3	15.8	19	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	BOLONERÍA																					
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	97.4	93.0	87.9	84.4	74.0	63.1	43	38	5	ML	A-5 (6)				
C-3	100.0	97.7	89.5	85.2	72.5	64.3	45.8	34.8	25.8	19.1	16.1	11.5	9.2	19	NP	NP	GW-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
	100.0	97.5	91.5	84.1	72.0	64.6	47.3	39.1	30.2	22.8	19.2	14.2	12.4	30	21	9	GC	A-2-4 (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98.6	91.3	87.2	81.1	74.5	71.1	63.4	57.9	58	32	26	MH	A-7-5 (14)	-	-	-	-
C-4	100.0	97.8	86.3	80.9	69.9	62.2	48.0	38.8	31.6	26.0	23.0	16.5	11.4	17	NP	NP	GP-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	98.7	94.4	89.7	85.2	69.1	54.1	42.0	34.0	29.7	20.8	14.0	20	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	99.0	97.4	92.8	88.7	73.4	61.5	52.4	45.6	41.7	34.9	26.9	16	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
C-5	100.0	98.7	88.5	82.7	72.5	65.9	49.5	39.3	32.2	26.4	23.2	17.1	12.7	18	16	2	GM	A-1-a (0)	2.087	9.1	38.8	60.0
	100.0	95.4	83.5	76.2	63.4	56.0	39.3	29.5	20.5	14.3	11.7	8.0	6.3	17	15	2	GW-GM	A-1-a (0)	2.080	7.9	35.2	57.2
	100.0	100.0	100.0	99.1	96.7	95.0	92.3	89.0	85.1	80.1	76.4	63.1	43.0	19	NP	NP	SM	A-4 (2)	2.045	6.3	14.1	24.0
C-6	100.0	98.5	96.0	91.4	80.9	73.5	54.5	41.5	30.4	22.3	18.2	10.8	6.8	19	NP	NP	SP-SM	A-1-a (0)	-	-	-	-
	100.0	96.5	92.7	90.5	86.5	83.3	71.6	65.0	58.1	52.8	49.4	41.7	34.2	22	17	5	SM-SC	A-2-4 (0)	-	-	-	-
C-7	100.0	94.7	87.6	81.2	72.3	64.6	48.7	42.2	35.7	30.5	27.8	22.0	17.3	19	NP	NP	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	85.0	78.0	61.3	56.0	49.2	45.7	36.0	28.7	21.6	16.0	13.6	10.0	8.1	32	21	11	GW-GC	A-2-6 (0)	-	-	-	-
C-8	100.0	92.1	83.1	78.3	71.3	67.4	55.4	47.9	39.3	32.4	28.7	20.7	14.3	18	NP	NP	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	92.7	79.0	65.6	61.5	54.9	50.5	38.3	29.7	20.2	14.7	12.3	8.6	6.5	21	NP	NP	GW-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-9	91.5	88.7	84.3	80.7	73.2	66.2	53.3	46.6	39.0	32.3	28.4	20.3	13.7	18	NP	NP	GM	A-1-b (0)	2.063	9.5	42.2	59.5
	100.0	100.0	100.0	100.0	88.0	82.3	66.8	58.0	49.3	41.4	36.5	26.2	19.0	20	NP	NP	SM	A-1-b (0)	1.955	10.1	38.5	55.9
C-10	91.2	87.1	85.3	81.6	72.2	67.0	54.1	47.2	38.8	33.4	28.5	21.2	13.3	18	NP	NP	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	97.0	94.6	89.9	86.3	72.3	59.8	48.2	39.1	34.3	25.0	19.1	19	15	4	SM-SC	A-1-b (0)	-	-	-	-
	88.4	86.8	81.0	79.0	70.3	64.6	63.1	53.6	43.1	35.0	30.6	22.8	19.5	23	15	8	SC	A-2-4 (0)	-	-	-	-

CALIC.	% QUE PASA EL TAMIZ													CONST. FÍSICAS			CLASIFICACIÓN		PROCTOR MODIF.		CBR A 0.1" DE PENETRACIÓN	
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°20	N°40	N° 50	N° 100	Nº200	LL	L P	I P	SUCS	AASHTO	MDS	OCH	CBR AL 95%	CBR AL 100%
C-11	92.8	89.1	85.3	81.6	74.1	67.3	55.2	47.1	40.6	33.6	29.1	21.4	14.1	18	NP	NP	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-11	100.0	100.0	98.6	97.7	95.7	92.4	73.8	59.0	46.3	36.4	30.9	20.5	16.1	16	14	2	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	85.1	83.9	78.5	74.7	70.3	66.3	50.7	41.2	32.6	26.7	23.0	13.8	9.9	17	NP	NP	GP-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-12	90.1	87.1	83.2	80.6	73.5	65.4	52.2	45.7	39.2	33.1	27.1	21.6	13.3	18	NP	NP	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	98.3	94.3	90.4	74.0	59.1	49.5	43.0	39.8	33.0	28.9	23	19	4	SM-SC	A-2-4 (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	98.9	97.2	93.9	88.2	66.6	54.2	42.5	35.0	30.6	20.7	14.0	20	16	4	SM-SC	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-13	93.1	89.1	83.3	81.6	72.2	65.2	53.2	45.7	38.8	31.6	27.8	20.0	14.0	19	NP	NP	GM	A-1-b (0)	2.093	8.6	43.1	63.6
	96.0	94.6	92.5	91.2	88.0	85.5	77.8	72.7	66.1	58.6	54.0	44.0	36.7	20	16	4	SM-SC	A-4 (0)	1.933	11.9	32.5	47.2
	88.0	87.0	86.0	84.5	81.6	78.5	70.8	64.6	58.0	50.2	45.5	33.9	25.4	20	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	1.964	10.2	45.2	57.6
C-14	92.6	87.1	83.4	81.6	73.2	66.4	52.6	45.2	40.6	31.6	27.6	21.6	14.6	19	NP	NP	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	BOLONERÍA																					
	100.0	100.0	100.0	98.8	95.7	91.3	73.0	64.2	55.1	45.7	39.0	23.7	15.9	19	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-15	100.0	100.0	93.9	89.9	83.9	78.8	62.7	52.4	43.4	36.4	32.1	22.1	15.6	17	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	BOLONERÍA																					
	100.0	96.3	90.8	86.0	79.6	74.0	61.0	54.2	46.7	39.9	36.1	28.4	24.2	24	18	6	GC-GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-16	100.0	100.0	94.3	88.6	82.6	79.4	61.8	53.5	44.6	37.6	33.6	23.1	16.2	18	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	77.1	70.5	61.5	58.3	52.9	50.2	42.0	35.9	30.7	26.4	24.2	18.9	15.7	20	16	4	GC-GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-17	100.0	100.0	94.2	88.1	82.1	79.3	61.6	53.4	44.6	37.6	33.4	21.6	16.1	18	NP	NP	SM	A-1-b (0)	2.103	8.3	49.3	73.9
	78.2	77.0	70.5	65.0	56.4	52.8	44.0	37.2	29.6	24.6	22.7	18.9	14.5	25	19	6	GC-GM	A-1-a (0)	1.934	8.7	49.6	76.4
C-18	100.0	100.0	90.1	87.6	80.6	75.2	60.0	49.2	40.1	33.4	29.2	19.2	13.9	19	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	77.3	76.1	69.8	64.6	55.3	51.6	43.1	36.2	28.9	23.2	21.6	17.2	13.2	26	20	6	GC-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-19	100.0	100.0	95.2	90.4	84.6	79.2	63.3	54.1	44.4	37.2	33.1	23.4	16.4	18	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	79.3	77.2	72.4	66.2	55.2	52.6	45.2	37.1	28.1	23.1	22.4	17.9	15.1	26	20	6	GC-GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	BOLONERÍA																					
C-20	100.0	100.0	95.8	90.1	84.6	77.6	63.0	51.4	42.6	37.1	31.6	21.6	14.2	19	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	97.2	89.6	82.5	73.5	69.0	61.0	53.5	47.8	43.9	41.6	33.7	26.2	26	20	6	GC-GM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
	78.7	70.6	65.2	62.0	54.7	48.9	36.9	27.9	19.7	14.6	12.3	9.1	6.5	19	NP	NP	GW-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-21	100.0	100.0	96.1	91.3	84.6	79.8	63.7	54.1	44.6	38.1	33.6	24.6	16.8	18	NP	NP	SM	A-1-b (0)	2.050	9.7	46.6	62.3
	BOLONERÍA																					
	100.0	98.4	95.0	92.8	89.7	87.6	78.0	72.8	67.0	61.1	57.0	45.4	32.7	23	19	4	SM-SC	A-2-4 (0)	1.906	12.1	32.0	48.5
C-22	90.9	89.4	86.1	81.3	73.5	69.3	61.8	53.4	44.7	37.4	32.9	22.4	14.4	21	16	5	SM-SC	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	98.9	94.4	89.4	84.6	73.2	67.1	56.2	45.6	40.4	28.6	17.4	27	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-

CALIC.	% QUE PASA EL TAMIZ													CONST. FÍSICAS			CLASIFICACIÓN		PROCTOR MODIF.		CBR A 0.1" DE PENETRACIÓN	
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°20	N°40	N° 50	N° 100	Nº200	LL	L P	I P	SUCS	AASHTO	MDS	OCH	CBR AL 95%	CBR AL 100%
C-23	100.0	96.3	92.5	87.4	72.4	64.5	52.4	43.5	34.3	26.7	23.2	16.8	11.7	22	20	2	GP-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-23	100.0	100.0	99.0	96.8	90.3	83.3	75.0	71.2	66.8	63.9	62.2	57.0	50.2	34	19	15	CL	A-6 (5)	-	-	-	-
C-24	100.0	97.3	93.5	88.6	72.1	65.5	51.6	44.6	35.2	27.1	24.6	16.2	12.1	23	21	2	GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	98.0	95.2	90.1	82.3	74.2	70.2	65.3	63.1	62.0	56.2	50.8	35	20	15	CL	A-6 (5)	-	-	-	-
C-25	100.0	97.1	93.1	86.2	73.1	65.2	51.2	43.6	33.1	25.2	22.4	16.1	12.2	24	21	3	GM	A-1-a (0)	1.882	11.1	49.4	85.9
	100.0	100.0	100.0	99.7	98.9	97.1	48.6	45.6	40.7	36.6	34.4	28.6	21.4	28	NP	NP	GM	A-1-b (0)	1.385	27.3	13.3	18.7
C-26	100.0	97.1	93.2	86.1	71.6	65.2	52.6	42.6	35.2	27.1	22.1	17.7	11.9	23	20	3	GP-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	97.1	96.4	95.6	95.0	92.8	89.8	86.5	82.8	79.1	58.1	37.9	36	29	7	SM	A-4 (1)	-	-	-	-
C-27	100.0	100.0	98.4	95.9	90.8	85.1	72.7	67.6	61.1	54.3	49.9	34.6	18.8	17	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	92.5	91.1	83.9	82.1	71.8	68.9	64.1	58.4	53.4	36.0	24.2	37	24	13	SC	A-2-6 (0)	-	-	-	-
C-28	100.0	100.0	97.8	96.1	91.4	84.6	71.8	66.4	60.4	53.8	48.6	36.9	19.2	19	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	99.5	99.2	98.9	97.0	96.0	94.9	92.0	88.0	61.2	39.6	27	22	5	SM	A-4 (1)	-	-	-	-
C-29	100.0	100.0	92.7	87.5	74.3	62.0	36.5	33.7	30.6	27.1	24.6	18.2	9.8	18	NP	NP	GP-GM	A-1-a (0)	2.034	7.3	42.8	56.8
	100.0	100.0	100.0	98.8	98.3	97.1	93.7	90.4	85.7	80.9	77.2	54.8	29.7	33	19	14	SC	A-2-6 (1)	1.796	16.3	11.9	20.1
C-30	100.0	100.0	97.9	95.0	88.8	80.9	71.3	65.0	58.9	51.5	45.4	35.9	19.5	18	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	97.5	95.9	94.2	93.6	91.8	89.4	85.7	81.8	79.1	64.9	46.4	21	NP	NP	SM	A-4 (2)	-	-	-	-
C-31	100.0	100.0	96.8	93.9	89.4	82.1	73.8	67.2	58.4	51.1	45.2	37.6	19.5	17	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	95.9	86.3	74.5	66.6	44.9	23.4	20	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
C-32	100.0	100.0	97.0	92.6	88.1	81.0	71.4	66.2	57.1	50.2	44.1	38.1	19.8	18	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
	88.8	81.0	67.7	63.1	55.8	50.9	40.3	33.8	28.2	24.1	20.7	11.1	7.0	17	NP	NP	GP-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-33	100.0	100.0	97.3	93.4	89.1	82.2	73.4	67.1	58.2	52.4	46.1	36.2	18.1	18	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	2.023	9.7	49.9	72.8
	93.5	86.9	75.8	69.4	60.8	55.9	46.4	40.5	35.9	31.2	27.7	18.3	11.7	17	NP	NP	GP-GM	A-1-b (0)	2.046	12.1	24.4	37.1
C-34	100.0	100.0	96.8	93.5	90.1	82.1	73.1	66.9	57.4	51.0	45.1	34.8	16.8	19	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
	94.6	86.8	74.9	68.6	61.2	55.2	45.8	40.3	35.4	30.7	26.3	19.3	12.4	19	NP	NP	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-35	87.1	75.4	63.1	56.2	48.5	44.6	35.2	29.1	24.2	21.6	19.2	16.4	13.4	23	19	4	GC-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
	86.9	76.9	64.0	57.1	49.7	45.2	34.8	30.1	25.7	22.4	20.5	15.7	12.2	21	17	4	GC-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-36	100.0	97.5	92.6	88.4	83.5	79.2	65.7	56.5	42.4	30.7	25.2	16.5	13.1	19	16	3	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	86.5	77.0	64.2	57.9	50.7	44.9	33.7	29.7	25.5	22.0	19.7	16.4	13.3	23	19	4	GC-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-37	100.0	97.1	93.1	87.2	82.0	78.3	64.9	55.2	41.3	31.3	24.6	17.2	12.8	20	18	2	SM	A-1-b (0)	2.058	10.1	50.6	74.4
	82.3	74.6	66.1	60.8	53.1	48.7	37.7	30.3	21.7	16.2	13.3	8.1	6.0	20	17	3	GP-GM	A-1-a (0)	2.090	8.3	36.8	52.3
C-38	100.0	97.2	93.2	89.2	82.2	78.2	64.3	55.3	41.2	29.6	24.1	16.8	13.8	20	17	3	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	81.5	76.3	67.2	61.5	54.3	49.3	36.6	31.2	22.8	16.8	14.2	9.6	6.5	20	17	3	GP-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-

CALIC.	% QUE PASA EL TAMIZ													CONST. FÍSICAS			CLASIFICACIÓN		PROCTOR MODIF.		CBR A 0.1" DE PENETRACIÓN	
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°20	N°40	N° 50	N° 100	Nº200	LL	L P	I P	SUCS	AASHTO	MDS	OCH	CBR AL 95%	CBR AL 100%
C-39	100.0	96.8	93.3	89.4	84.3	80.1	66.4	56.2	43.2	31.2	26.3	17.2	14.5	19	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-39	81.3	75.6	65.2	61.3	54.5	47.6	36.4	31.2	23.2	17.3	14.3	9.6	7.2	20	17	3	GP-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-40	90.8	82.4	78.0	72.7	61.4	55.0	43.0	37.0	30.9	25.5	22.1	14.9	10.9	20	16	4	GP-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
	100.0	92.4	84.2	80.7	70.7	64.7	51.6	39.2	27.3	18.9	15.6	10.1	8.1	27	19	8	GP-GC	A-2-4 (0)	-	-	-	-
C-41	91.2	83.3	77.6	73.1	62.3	54.1	42.8	36.5	31.2	26.3	23.5	15.6	11.3	21	17	4	GP-GM	A-1-a (0)	2.086	10.6	49.9	71.4
	100.0	95.5	86.1	80.8	71.3	66.2	53.4	44.6	37.9	32.5	29.0	21.6	16.9	15	NP	NP	GM	A-1-b (0)	2.145	8.0	49.4	71.5
C-42	90.2	83.6	77.6	73.3	62.3	56.2	42.5	36.6	32.2	26.4	21.6	16.2	11.8	21	17	4	GP-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
	100.0	96.4	86.3	81.4	72.4	65.4	53.3	45.2	38.2	31.3	28.6	22.3	11.8	16	NP	NP	GP-GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-43	92.8	86.7	69.8	62.0	51.9	46.0	35.1	27.2	21.1	16.6	13.7	8.2	5.8	21	NP	NP	GW-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	88.1	84.1	81.3	78.9	66.6	56.9	19	16	3	ML	A-4 (4)	-	-	-	-
	HORMIGÓN																					
C-44	93.2	87.2	68.5	63.1	52.3	47.2	36.3	26.8	22.3	17.3	14.2	9.3	6.3	21	NP	NP	GW-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	96.5	92.6	88.7	86.0	75.8	60.8	27	22	5	ML	A-4 (5)	-	-	-	-
C-45	92.1	85.3	68.5	63.2	52.3	45.6	36.6	28.5	22.3	16.5	13.9	9.2	6.6	20	NP	NP	GW-GM	A-1-a (0)	2.010	6.7	38.8	54.9
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	95.0	83.3	65.8	56.2	37.1	25.8	23	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	1.737	13.2	30.5	44.1
C-46	92.6	84.6	69.5	62.4	53.3	46.1	37.1	27.4	21.8	16.7	14.1	8.8	6.0	21	NP	NP	GW-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	97.7	92.8	87.3	79.6	52.1	36.3	24	NP	NP	SM	A-4 (0)	-	-	-	-
C-47	93.2	85.3	68.2	63.3	54.2	45.2	36.5	26.5	22.4	15.8	13.5	9.2	6.1	21	NP	NP	GW-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	95.1	94.1	91.4	89.6	82.6	77.2	70.0	61.1	54.9	37.6	24.8	26	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
C-48	100.0	93.3	91.2	86.6	81.6	78.1	65.5	57.3	52.3	45.3	40.2	30.2	19.1	17	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	98.1	95.8	91.3	88.1	74.0	69.4	65.9	62.8	59.9	44.4	29.0	25	20	5	SM-SC	A-2-4 (0)	-	-	-	-
C-49	100.0	92.6	90.4	87.7	82.9	79.1	66.2	58.8	51.5	44.9	41.3	29.4	19.9	16	NP	NP	SM	A-1-b (0)	2.051	9.2	73.8	93.7
	72.6	65.3	60.4	57.5	53.5	51.1	44.1	39.8	35.6	32.0	29.7	20.5	14.3	21	17	4	GC-GM	A-1-b (0)	2.002	10.9	30.3	43.5
C-50	100.0	92.4	90.1	85.3	80.4	77.5	64.5	58.3	51.4	44.6	39.2	31.4	18.8	17	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	74.6	66.3	61.2	57.1	52.3	50.2	43.6	38.6	34.6	31.2	28.4	21.6	15.1	22	18	4	GC-GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-51	100.0	92.1	89.6	86.5	81.4	78.2	65.4	57.6	50.4	43.6	40.3	28.8	20.1	17	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	94.8	87.1	79.5	74.4	59.5	48.6	37	31	6	SM	A-4 (3)	-	-	-	-
C-52	100.0	93.2	89.9	85.3	81.8	78.1	64.2	58.3	51.4	44.3	39.6	27.3	19.5	16	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	73.5	66.5	60.2	56.6	52.3	50.6	45.3	40.6	36.3	31.2	28.6	21.3	15.1	22	18	4	GC-GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	HORMIGÓN																					
C-53	100.0	100.0	95.1	91.3	82.3	76.4	59.7	52.4	45.2	38.0	33.0	22.4	15.6	19	16	3	SM	A-1-b (0)	1.998	10.6	29.5	44.2
	100.0	100.0	92.1	84.5	73.1	64.7	49.5	43.3	39.9	36.7	34.1	20.7	12.4	20	NP	NP	GM	A-1-b (0)	1.976	8.7	51.1	80.3

CALIC.	% QUE PASA EL TAMIZ													CONST. FÍSICAS			CLASIFICACIÓN		PROCTOR MODIF.		CBR A 0.1" DE PENETRACIÓN	
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°20	N°40	N° 50	N° 100	Nº200	LL	L P	I P	SUCS	AASHTO	MDS	OCH	CBR AL 95%	CBR AL 100%
C-54	100.0	100.0	96.2	92.1	83.2	75.2	58.4	51.2	44.3	37.3	32.1	21.6	16.1	20	17	3	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-54	90.2	85.3	70.3	61.2	51.6	45.3	34.2	26.5	22.3	17.2	14.3	8.3	5.2	15	NP	NP	GW-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-55	100.0	95.7	89.8	82.4	77.7	74.6	67.4	56.1	46.5	40.7	37.9	29.3	22.3	19	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	93.3	85.2	72.1	65.3	48.6	42.1	38.6	35.1	19.3	13.4	11.5	19	NP	NP	GP-GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98.5	96.9	95.1	91.5	58.7	36.8	21	17	4	SM-SC	A-4 (0)	-	-	-	-
C-56	100.0	96.7	88.4	81.3	77.1	75.4	66.8	55.3	47.2	41.1	36.5	28.6	22.8	19	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	96.7	93.3	86.6	83.6	71.1	58.2	46.6	37.8	33.0	23.3	17.1	35	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	81.8	65.6	53.1	46.5	32.8	24.1	21	17	4	SM-SC	A-2-4 (0)	-	-	-	-
C-57	94.0	90.9	81.5	77.3	69.4	66.0	57.5	49.8	42.8	36.7	32.9	21.9	13.2	22	NP	NP	SM	A-1-b (0)	2.053	10.1	52.2	73.7
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.8	93.1	86.7	82.7	65.0	44.5	19	NP	NP	SM	A-4 (2)	1.769	14.5	34.2	51.5
C-58	94.5	91.3	82.5	76.5	70.2	65.8	58.6	50.7	43.5	37.6	32.5	22.5	14.3	22	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98.7	94.0	86.6	82.2	65.7	31.2	19	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
C-59	96.1	92.4	82.1	75.2	67.2	65.3	58.2	50.7	44.6	37.9	34.0	22.3	15.2	21	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	91.9	88.8	82.6	79.9	74.5	72.1	64.9	59.0	53.2	47.3	43.6	30.8	19.9	18	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	90.3	85.3	70.7	61.9	52.2	46.3	35.1	28.0	24.0	19.0	16.2	10.3	7.5	17	NP	NP	GW-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-60	94.9	91.8	84.2	78.1	71.9	67.6	60.8	53.0	45.8	39.5	34.5	24.8	16.7	20	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	92.5	89.2	83.2	78.2	75.1	71.3	66.3	60.2	53.7	48.3	42.5	33.6	22.2	18	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-61	100.0	100.0	91.5	85.1	77.2	71.6	60.5	50.5	41.3	33.6	29.4	19.1	12.7	15	NP	NP	SM	A-1-b (0)	2.014	9.0	50.2	69.2
	100.0	100.0	95.8	93.9	90.2	86.4	80.5	74.8	69.7	65.4	62.5	49.4	39.1	39	NP	NP	SM	A-4 (1)	1.557	13.1	12.0	18.0
C-62	100.0	100.0	92.2	86.8	79.2	73.0	62.6	53.3	43.2	35.0	30.0	21.4	15.1	16	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	96.6	92.5	87.6	81.4	37.0	22.2	23	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
C-63	100.0	100.0	98.7	93.7	87.0	82.5	70.1	62.1	53.0	44.4	39.7	28.1	19.9	16	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	86.5	78.9	70.5	58.4	49.3	39.3	21.5	18.8	16.2	14.0	12.3	9.1	6.1	16	NP	NP	GP-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	96.7	92.5	87.6	81.3	38.4	24.1	22	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
C-64	100.0	100.0	97.8	94.6	88.5	83.7	72.1	63.5	54.2	45.5	40.2	30.1	21.0	17	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	86.6	78.2	69.3	57.3	47.9	37.9	19.7	17.3	15.0	13.0	11.4	8.5	5.8	15	NP	NP	GP-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	97.7	93.7	90.3	77.8	63.5	51.1	43.2	38.8	27.4	21.4	19	16	3	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-65	100.0	94.9	84.5	78.9	71.7	67.6	56.8	45.8	36.6	29.7	25.9	18.0	14.1	27	25	2	GM	A-1-a (0)	1.929	11.0	54.0	
	MANTO ROCOSO																					
C-66	100.0	95.6	82.9	76.7	67.3	61.3	49.9	40.0	31.9	25.3	21.5	14.0	9.1	19	NP	NP	GP-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-67	100.0	96.7	84.0	77.2	65.2	62.3	48.5	41.2	31.0	26.3	22.4	15.0	10.2	18	NP	NP	GP-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	97.3	93.4	92.6	91.8	89.8	87.1	83.1	75.8	53.5	48.8	24	NP	NP	SM	A-4 (3)	-	-	-	-

CALIC.	% QUE PASA EL TAMIZ													CONST. FÍSICAS			CLASIFICACIÓN		PROCTOR MODIF.		CBR A 0.1" DE PENETRACIÓN	
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°20	N°40	N° 50	N° 100	Nº200	LL	L P	I P	SUCS	AASHTO	MDS	OCH	CBR AL 95%	CBR AL 100%
C-68	100.0	95.5	84.7	78.0	66.2	61.6	47.5	42.2	30.6	25.8	22.0	14.7	9.7	17	NP	NP	GP-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-68	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	95.2	85.9	77.1	72.0	57.9	47.4	44	27	17	SC	A-7-6 (5)	-	-	-	-
C-69	100.0	94.1	88.2	83.0	75.8	71.4	61.7	53.7	42.7	35.1	31.3	22.0	15.2	17	NP	NP	SM	A-1-b (0)	2.060	8.4	39.4	60.4
	93.1	91.5	90.2	84.2	78.8	76.0	67.4	58.4	48.7	40.4	36.3	25.3	14.8	21	NP	NP	SM	A-1-b (0)	1.923	11.4	33.9	54.2
C-70	96.1	92.7	87.6	85.7	80.1	76.9	70.1	62.2	54.3	47.9	43.1	27.8	17.2	20	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	92.6	80.9	71.2	65.6	51.6	42.1	33	27	6	SM-SC	A-4 (1)	-	-	-	-
C-71	95.5	93.4	85.7	83.5	80.0	75.3	71.2	63.5	53.7	46.6	42.6	29.3	16.6	18	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	87.0	79.2	71.3	61.7	53.2	44.5	28.0	24.7	21.7	18.9	16.8	12.8	9.1	16	NP	NP	GP-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98.1	96.1	94.3	93.3	90.1	84.5	66	50	16	MH	A-7-5 (20)	-	-	-	-
C-72	97.0	93.0	88.5	84.7	82.0	77.0	69.2	61.3	55.2	48.2	44.2	28.0	16.1	19	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	90.3	88.0	84.6	81.7	71.9	65.3	29	24	5	ML	A-4 (6)	-	-	-	-
C-73	100.0	92.9	78.6	73.1	63.8	58.6	45.5	40.4	34.0	29.1	26.7	18.4	14.7	16	NP	NP	GM	A-1-a (0)	2.036	7.8	41.3	62.5
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	96.8	94.6	92.1	90.1	79.3	66.1	24	NP	NP	ML	A-4 (6)	1.615	18.9	20.7	29.7
C-74	100.0	92.0	79.0	75.0	62.7	52.7	41.1	36.2	28.7	24.5	21.7	16.6	13.5	17	NP	NP	GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	96.3	94.6	91.0	88.2	78.0	73.2	69.0	64.6	61.7	53.3	45.0	29	22	7	SM-SC	A-4 (2)	-	-	-	-
C-75	100.0	93.2	80.5	74.0	65.5	60.0	46.7	41.2	33.7	30.0	28.0	21.0	16.0	17	NP	NP	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	89.4	62.2	50.3	43.9	34.0	28.8	15.6	15.4	15.2	15.1	15.0	14.6	14.3	18	NP	NP	GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-76	100.0	92.7	79.3	75.3	64.5	60.6	47.2	42.1	32.5	30.4	27.4	21.7	14.8	18	NP	NP	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	96.5	94.8	90.9	88.6	76.5	71.1	67.1	62.7	57.5	49.5	41.7	28	NP	NP	SM	A-4 (1)	-	-	-	-
C-77	85.6	81.9	77.2	75.0	70.6	68.2	59.8	52.6	51.4	47.9	45.8	34.9	27.8	19	NP	NP	GM	A-2-4 (0)	1.952	12.4	41.8	58.9
	100.0	100.0	100.0	92.7	86.7	82.5	72.8	63.3	55.0	50.1	47.7	40.0	34.7	36	24	12	SC	A-2-6 (0)	1.934	11.3	9.4	16.8
C-78	93.2	87.3	78.5	73.0	66.3	52.5	45.5	41.0	38.1	33.2	28.2	22.0	15.2	17	NP	NP	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	95.5	84.2	76.2	67.8	60.3	46.5	41.0	35.0	28.5	25.5	19.3	16.0	17	NP	NP	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-79	100.0	97.6	93.7	86.0	76.4	71.9	61.8	53.3	51.4	43.7	39.2	27.6	21.7	16	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	94.8	91.7	88.1	82.8	78.3	72.4	67.2	62.4	56.3	51.1	31.4	23.3	20	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
C-80	100.0	97.0	93.0	87.0	75.5	71.0	60.7	54.3	50.2	45.3	40.2	28.1	20.7	17	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	97.8	96.2	94.9	92.4	89.3	89.0	86.6	83.4	54.0	45.0	21	NP	NP	SM	A-4 (2)	-	-	-	-
	87.2	77.8	68.9	65.0	57.6	53.1	43.2	39.3	34.7	29.3	26.3	19.0	15.1	19	NP	NP	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-81	100.0	96.0	91.0	85.0	74.1	69.2	62.5	52.5	48.7	44.6	40.0	25.3	19.2	16	NP	NP	SM	A-1-b (0)	2.072	9.4	36.4	53.0
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	95.9	93.2	90.0	87.0	73.3	56.7	23	NP	NP	ML	A-4 (4)	1.508	26.3	8.3	12.2
	88.2	78.5	69.5	63.0	58.5	52.2	45.5	37.4	34.0	30.0	25.2	20.0	14.2	20	NP	NP	GM	A-1-b (0)	1.642	19.0	9.9	17.4
C-82	100.0	97.0	92.3	85.4	77.5	70.8	60.4	54.5	50.7	42.6	38.5	26.4	19.5	17	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-

CALIC.	% QUE PASA EL TAMIZ													CONST. FÍSICAS			CLASIFICACIÓN		PROCTOR MODIF.		CBR A 0.1" DE PENETRACIÓN	
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°20	N°40	N° 50	N° 100	Nº200	LL	L P	I P	SUCS	AASHTO	MDS	OCH	CBR AL 95%	CBR AL 100%
C-82	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	96.6	93.2	90.6	88.7	79.8	70.0	33	31	2	ML	A-4 (7)	-	-	-	-
C-83	100.0	97.7	93.4	86.0	78.4	71.5	62.4	55.7	51.4	41.7	35.2	26.4	18.8	17	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.2	98.2	97.6	96.6	76.9	55.4	30	27	3	ML	A-4 (4)	-	-	-	-
C-84	100.0	100.0	92.0	90.3	82.2	76.5	64.3	57.6	49.4	42.2	38.3	27.2	22.3	17	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	97.9	97.0	93.8	88.1	82.9	78.3	72.9	42.0	27.0	22	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
C-85	91.0	87.3	83.6	80.6	76.8	73.1	60.8	45.5	31.3	19.7	14.7	8.6	7.3	18	NP	NP	SW-SM	A-1-a (0)	2.083	8.5	42.7	59.6
	100.0	100.0	100.0	100.0	96.9	95.7	92.0	86.5	79.8	71.6	65.1	45.8	25.5	21	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	1.816	10.3	14.5	24.5
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98.8	96.6	93.4	91.1	83.8	77.8	50	32	18	MH	A-7-5 (16)	1.416	29.3	4.6	6.8
C-86	92.0	86.0	83.0	79.5	76.1	72.4	61.5	44.0	30.7	19.0	13.8	9.0	6.7	19	NP	NP	SW-SM	A-1-a (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	98.9	98.5	93.8	85.8	80.0	75.1	71.1	53.5	40.5	22	18	4	SM-SC	A-4 (1)	-	-	-	-
	100.0	92.2	74.4	67.3	58.2	51.0	37.1	30.0	25.0	19.2	14.2	7.1	5.7	16	NP	NP	GW-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-87	93.6	86.8	82.5	78.0	75.7	73.0	62.2	45.3	31.2	20.6	12.6	10.2	7.7	18	NP	NP	SW-SM	A-1-a (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	98.0	96.9	92.9	85.7	78.3	73.3	69.5	53.3	38.4	23	19	4	SM-SC	A-4 (1)	-	-	-	-
C-88	100.0	97.6	93.2	86.0	78.8	72.2	63.5	57.1	52.9	43.6	37.4	29.2	21.9	17	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	89.7	77.8	68.5	63.8	47.4	27.7	26	23	3	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
C-89	100.0	97.0	88.3	84.2	79.3	75.5	62.8	47.3	32.0	21.2	15.3	10.4	8.7	18	NP	NP	SW-SM	A-1-a (0)	2.091	7.8	33.6	52.0
	100.0	100.0	100.0	98.9	97.4	96.5	94.4	89.8	82.7	73.4	68.6	53.9	46.2	23	19	4	SM-SC	A-4 (2)	1.657	14.1	11.9	16.5
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	94.6	88.6	80.7	76.2	62.9	52.4	23	19	4	ML-CL	A-4 (3)	1.634	19.2	10.4	16.2
C-90	100.0	96.8	92.1	89.7	79.2	71.5	60.2	53.0	45.6	37.9	33.3	23.1	16.9	20	17	3	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	96.5	94.2	91.5	88.0	68.1	56.5	24	21	3	ML	A-4 (4)	-	-	-	-
C-91	100.0	97.1	93.7	88.9	79.6	73.4	61.8	56.5	48.8	40.8	35.7	25.7	21.3	19	16	3	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	91.0	85.8	76.7	71.3	57.3	49.8	42.9	37.1	34.2	26.9	19.8	36	30	6	GM-GC	A-1-b (0)	-	-	-	-
C-92	100.0	100.0	100.0	100.0	95.6	87.1	81.7	77.5	74.1	71.2	61.6	43.9	26.1	19	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
	90.6	80.3	74.8	68.1	56.9	50.3	33.1	30.0	26.9	24.0	22.3	16.6	10.2	17	NP	NP	GW-GM	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-93	100.0	100.0	93.3	89.8	79.2	70.9	51.8	47.1	40.9	34.4	30.2	18.7	11.8	25	NP	NP	GP-GM	A-1-b (0)	2.070	9.7	36.5	55.3
	100.0	100.0	95.4	94.4	89.0	84.8	67.5	58.9	52.1	45.7	41.0	23.7	15.3	20	NP	NP	SM	A-1-b (0)	2.014	8.6	52.1	87.2
C-94	100.0	100.0	100.0	100.0	96.0	88.4	82.3	78.4	73.2	70.2	63.0	41.0	25.0	18	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	96.3	92.6	89.6	87.4	79.5	68.5	26	22	4	ML	A-4 (7)	-	-	-	-
C-95	100.0	100.0	100.0	100.0	94.5	85.6	79.2	76.3	72.2	69.5	62.0	42.3	23.4	18	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	-	-	-	-
	100.0	89.6	77.7	66.7	54.2	43.1	32.5	25.4	18.9	12.6	9.1	4.7	2.9	19	NP	NP	GP	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-96	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	97.6	94.9	82.9	76.1	69.5	64.6	44.0	37.0	23	19	4	SM-SC	A-4 (0)	-	-	-	-
	91.6	85.7	76.4	66.7	58.5	48.3	42.3	34.6	23.5	16.7	11.5	5.1	3.2	17	NP	NP	GP	A-1-a (0)	-	-	-	-

CALIC.	% QUE PASA EL TAMIZ													CONST. FÍSICAS			CLASIFICACIÓN		PROCTOR MODIF.		CBR A 0.1" DE PENETRACIÓN	
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°20	N°40	N° 50	N° 100	Nº200	LL	L P	I P	SUCS	AASHTO	MDS	OCH	CBR AL 95%	CBR AL 100%
C-97	100.0	95.8	89.0	85.8	75.3	70.2	59.2	51.5	44.2	37.6	33.8	22.4	14.7	18	NP	NP	SM	A-1-b (0)	2.050	9.9	34.1	50.3
C-97	100.0	94.0	82.4	74.1	63.9	58.7	45.6	35.5	24.5	14.4	10.5	4.9	2.8	17	NP	NP	GP	A-1-a (0)	1.994	8.1	71.3	94.3
C-98	100.0	96.0	90.0	86.5	76.4	72.2	61.0	52.3	45.6	36.2	32.8	24.2	15.2	17	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	95.2	83.3	75.3	65.0	60.0	43.2	34.6	23.0	15.4	12.2	6.0	3.8	16	NP	NP	GP	A-1-a (0)	-	-	-	-
C-99	100.0	97.0	89.6	85.3	75.6	71.5	60.6	51.7	46.0	35.6	31.7	23.5	14.3	16	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.4	98.5	97.5	96.6	92.7	85.7	43	33	10	ML	A-5 (11)	-	-	-	-
C-100	PUENTE CALALEQUEÑA																					
C-101	100.0	100.0	96.6	93.4	85.8	77.8	60.3	50.2	39.9	31.7	27.4	18.3	12.6	15	NP	NP	SM	A-1-b (0)	2.092	7.0	47.1	76.3
	100.0	95.4	86.7	78.0	70.7	66.4	54.0	46.5	40.4	35.1	31.2	19.2	11.9	39	27	12	GP-GC	A-2-6 (0)	1.646	29.2	9.8	14.1
C-102	100.0	100.0	97.2	94.1	86.4	78.3	76.7	63.3	50.4	40.2	35.1	24.1	16.4	16	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	88.8	85.5	83.1	80.9	70.1	68.7	33	26	7	ML	A-4 (7)	-	-	-	-
C-103	100.0	100.0	96.6	91.8	87.4	76.8	61.9	52.7	41.7	31.8	29.3	21.5	15.9	16	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.9	99.8	99.6	99.1	93.7	85.3	23	NP	NP	ML	A-4 (8)	-	-	-	-
C-104	100.0	100.0	97.0	93.4	86.2	76.8	59.4	52.3	41.2	32.4	28.4	17.2	13.0	16	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	98.9	96.3	91.0	83.1	79.3	73.9	65.3	49.3	38.5	22	NP	NP	SM	A-4 (1)	-	-	-	-
C-105	100.0	97.6	92.4	90.0	82.4	73.7	56.3	47.8	39.4	31.5	27.3	19.0	14.0	18	NP	NP	GM	A-1-b (0)	2.028	9.9	48.9	57.7
	100.0	100.0	100.0	97.8	87.4	82.1	65.8	58.7	50.6	40.5	34.5	22.9	18.6	19	NP	NP	SM	A-1-b (0)	1.913	6.8	47.4	69.4
C-106	100.0	98.5	93.6	89.2	81.7	74.5	57.2	48.5	41.6	32.2	28.5	16.3	14.7	18	NP	NP	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.9	99.6	99.2	98.9	97.9	97.2	53	36	17	MH	A-7-5 (20)	-	-	-	-
C-107	100.0	98.0	92.8	88.6	82.2	73.5	56.7	47.8	40.5	30.5	27.3	15.7	13.8	18	NP	NP	GM	A-1-b (0)	-	-	-	-
	100.0	100.0	95.1	93.7	91.1	88.1	73.0	61.1	49.1	42.1	38.2	29.1	21.1	19	NP	NP	SM	A-1-b (0)	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Evaluación del tráfico.

El conteo vehicular fue realizado de acuerdo a lo establecido en el Manual para Estudio de Tráfico de la Oficina General de Prepuesto y Planificación del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (OPP-MTC).

El método empleado fue el Método Manual, en donde se anotó la hora y el movimiento de cada vehículo en un formato adecuado, durante las 24 horas del día en 7 días continuos para cada estación.

Cada estación elegida permitió tener visibilidad óptima y reunió los requisitos logísticos necesarios para realizar la tarea de conteo y censo.
Finalizado el trabajo en campo, se procedió a recolectar la información para el procesamiento correspondiente.

Se realizó un estudio de tráfico para el todo el proyecto, sin embargo, la presente investigación se enfocó en los tramos de mejoramiento.
Por tal motivo se presentan las estaciones correspondientes a los tramos 7 y 8:

- Estación E-10 Challapalca 1, ubicada antes del ingreso al caserío Challapalca desde Tarata, detectando vehículos del 02 al 08 de abril del 2016.
- Estación E-11 Challapalca 2, ubicada en la salida del caserío de Challapalca hacia Capazo y Mazocruz; detectando vehículos del 02 al 08 de abril del 2016.
- Estación E-3 Mazocruz 2, ubicada a la salida de la localidad de Mazocruz en dirección a Tarata en el tramo Capazo - Mazocruz, operó del 12 al 18 de abril del 2016.

La figura 77 muestra el diagrama de estaciones para el estudio de tráfico realizado en abril del año 2016.

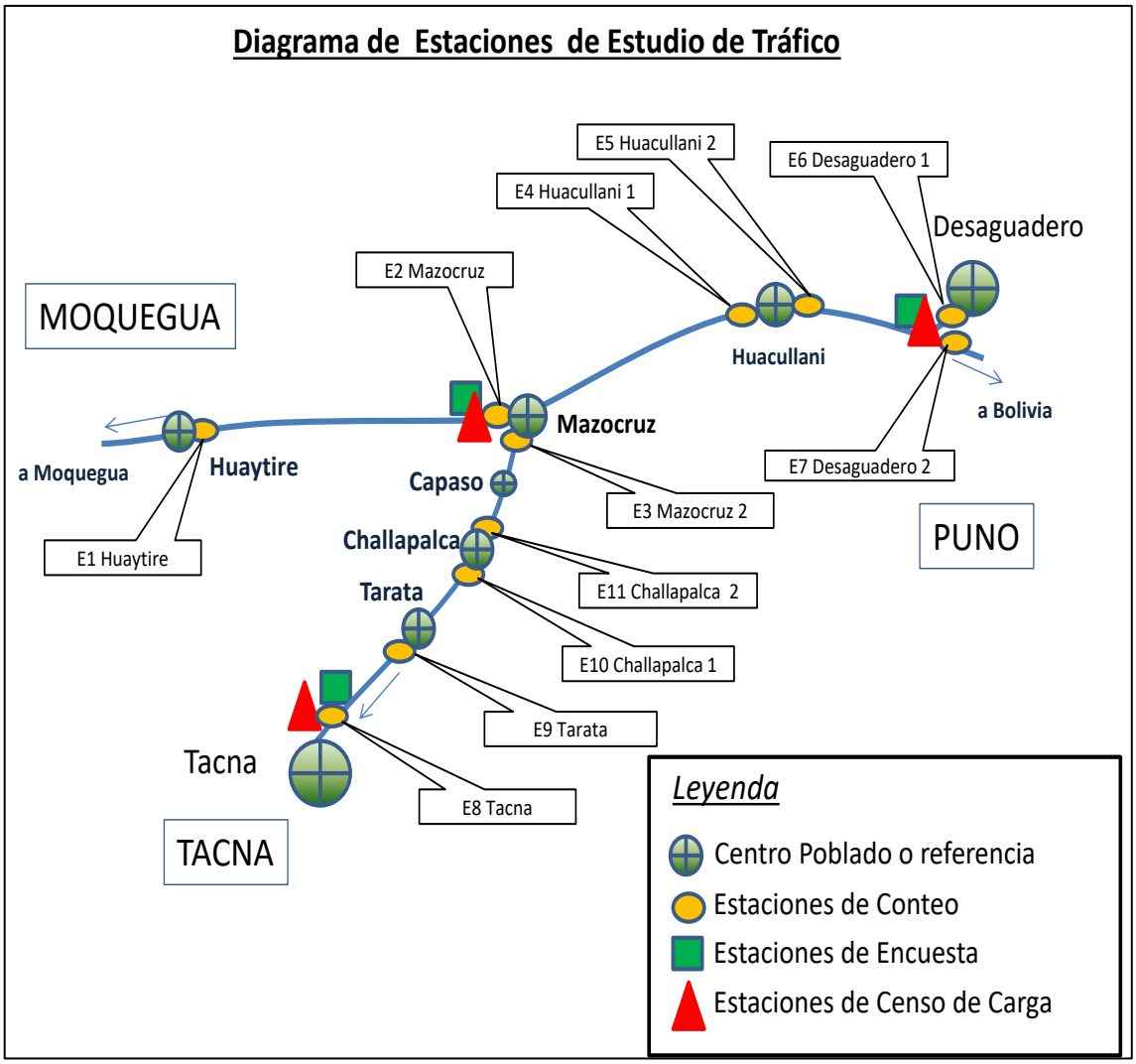


Figura 77. Diagrama de estaciones del proyecto
Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

Conteo Vehicular.

Los vehículos se clasificaron según el tamaño y cantidad de ejes que poseen, de acuerdo a la configuración vehicular aprobado en el Reglamento Nacional de Vehículos (Decreto Supremo N°058-2003-MTC, como sigue:

- Vehículos Livianos : Automóvil, camioneta, camioneta rural (combi), pick-up, SUV 4x4 y microbuses.
- Buses : Buses de 2, 3 y 4 ejes (B2, B3 y B4).
- C2 : Camión de 2 ejes (2 ejes simples).
- C3 : Camión de 3 ejes (1 eje simple y 1 eje doble).
- C4 : Camión de 4 ejes (1 eje simple y 1 eje triple).

- T2S1 (2S1) : Semitrailer (3 ejes simples).
- T2S2 (2S2) : Semitrailer (3 ejes, 2 simples y 1 eje doble).
- T2S3 (2S3) : Semitrailer (3 ejes, 2 simples y 1 eje triple).
- T3S2 (3S2) : Semitrailer (3 ejes, 1 simples y 2 ejes dobles).
- T3S3 (3S3) : Semitrailer (3 ejes, 1 simple, 1 eje doble y 1 eje triple).
- C3R2 (3T2) : Trailer (Camión C2+carreta de 2 ejes simples).
- C3R3 (3T3) : Trailer (Camión C2+carreta de 2 ejes, mixto).
- C4R2 (4T2) : Trailer (Camión C4+carreta de 2 eje simples).
- E7 : Vehículos especiales con 7 ejes

Para el cálculo de los factores destructivos de acuerdo al tipo de vehículo, se utilizaron las relaciones definidas en el Manual de Suelos, Geotécnica y Pavimentos publicado en abril del 2014, las cuales se presentan a continuación:

- $FE_i = \frac{P_i}{6.6}^4$ para ejes sencillos de rodado simple,
- $FE_i = \frac{P_i}{8.2}^4$ para ejes simples de rodado doble,
- $FE_i = \frac{P_i}{14.8}^4$ para ejes dobles o tándem de rodado de 6 neumáticos,
- $FE_i = \frac{P_i}{15.1}^4$ para ejes dobles o tándem de rodado de 8 neumáticos,
- $FE_i = \frac{P_i}{20.7}^{3.9}$ para ejes triples de rodado simple,
- $FE_i = \frac{P_i}{21.8}^{3.9}$ para ejes triples de rodado doble.

Dónde:

- FE_i = Factor eje del rango i,
- P_i = Carga Promedio en el rango i.

Estación E-10 Challapalca 1.

Los resultados de la media diaria de los conteos de la semana en la estación E-10 Challapalca 1 se presentan en la tabla 36.

Tabla 36.
Tráfico promedio diario de la semana, Estación E-10

TRAFICO VEHICULAR Clasificación E-10 Challapalca 1 (Veh/dia)				
Tipo de Vehículos	**TPDS** Challapalca	**TPDS** a Tarata	**TPDS Total**	**Distrib. %**
Autos	1	2	3	5.03%
S. Wagon	0	0	1	0.92%
C. Pick Up	12	14	26	41.88%
C. Panel	0	1	1	2.29%
Camioneta Rural	4	4	8	13.04%
Micro	1	1	1	2.06%
Omnibus 2E	0	1	1	1.83%
Omnibus 3E	0	0	1	1.14%
Omnibus 4E	0	0	0	0.00%
Camion 2E	7	6	13	21.05%
Camión 3E	1	5	7	10.53%
Camión 8x4	0	0	0	0.00%
Camion 4E	0	0	0	0.23%
Semitrayles 2S2	0	0	0	0.00%
Semitrayles 2S3	0	0	0	0.00%
Semitrayles 3S2	0	0	0	0.00%
Semitrayles 3S3	0	0	0	0.00%
Traylers 2T2	0	0	0	0.00%
Traylers 2T3	0	0	0	0.00%
Traylers 3T2	0	0	0	0.00%
Traylers 3T3	0	0	0	0.00%
TOTAL TPDS	**28**	**35**	**62**	**100.00**

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

Los conteos diarios durante la semana en la estación E-10 se muestran en la tabla 37.

Tabla 37.

Conteos diarios de la semana, Estación E-10

Estación N° 10 Challapalca 1																							
Conteos Diarios																							
Días	Sentido	Ligeros						Bus			Camiones				Semi Trailer				Trailer				Total
		Auto	Station Wagon	Pick Up	Panel	Rural	Micro	B2	B3	B4	C2	C3	8X4	C4	2S2	2S3	3S2	3S3	2T2	2T3	3T2	3T3	
Sábado	Entrada	0	1	5	0	2	0	2	0	0	6	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21
	Salida	0	2	8	1	7	0	5	0	0	6	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41
	Ambos	0	3	13	1	9	0	7	0	0	12	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62
Domingo	Entrada	1	0	7	0	3	0	0	0	0	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
	Salida	2	0	14	0	4	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
	Ambos	3	0	21	0	7	0	0	0	0	11	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48
Lunes	Entrada	2	0	5	1	4	0	0	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17
	Salida	1	0	10	1	4	0	1	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22
	Ambos	3	0	15	2	8	0	1	2	0	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39
Martes	Entrada	0	0	15	0	6	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29
	Salida	1	0	13	1	2	0	0	0	0	10	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31
	Ambos	1	0	28	1	8	0	0	0	0	18	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60
Miércoles	Entrada	2	0	12	0	2	1	0	0	0	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
	Salida	2	0	14	1	2	0	0	2	0	5	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	29
	Ambos	4	0	26	1	4	1	0	2	0	11	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	53
Jueves	Entrada	2	0	23	0	6	1	0	0	0	14	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48
	Salida	3	0	23	1	5	1	0	1	0	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41
	Ambos	5	0	46	1	11	2	0	1	0	20	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89
Viernes	Entrada	3	0	19	2	4	3	0	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37
	Salida	3	1	15	2	6	3	0	0	0	9	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49
	Ambos	6	1	34	4	10	6	0	0	0	14	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	86

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

El Índice Medio Diario Anual se obtuvo multiplicando el tráfico promedio diario semanal por el factor de corrección del mes de abril, obteniendo un valor de 76 vehículos por día.

Tabla 38.
Índice Medio Diario Anual, Estación E-10

TRAFICO VEHICULAR Clasificación E-10 Challapalca 1 (Veh/dia)				
Tipo de Vehículos	**IMDa Challapalca**	**IMDa a Tarata**	**IMDa Total**	**Distrib. %**
Autos	2	2	4	5.26%
S. Wagon	0	1	1	1.32%
C. Pick Up	16	19	35	46.05%
C. Panel	1	1	2	2.63%
Camioneta Rural	5	6	11	14.47%
Micro	1	1	2	2.63%
Omnibus 2E	0	1	1	1.32%
Omnibus 3E	0	0	0	0.00%
Omnibus 4E	0	0	0	0.00%
Camion 2E	7	7	14	18.42%
Camión 3E	1	5	6	7.89%
Camion 4E	0	0	0	0.00%
Semitrayles 2S2	0	0	0	0.00%
Semitrayles 2S3	0	0	0	0.00%
Semitrayles 3S2	0	0	0	0.00%
Semitrayles 3S3	0	0	0	0.00%
Traylers 2T2	0	0	0	0.00%
Traylers 2T3	0	0	0	0.00%
Traylers 3T2	0	0	0	0.00%
Traylers 3T3	0	0	0	0.00%
TOTAL IMD	**33**	**43**	**76**	**100.00**

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

El volumen horario se incrementa desde las 05:00 horas, alcanzando la hora punta de la mañana a las 09:00 con un valor de 7.52% y la hora punta de la tarde a las 14:00 con un valor de 8.66%, ambos en función del flujo vehicular total detectado.

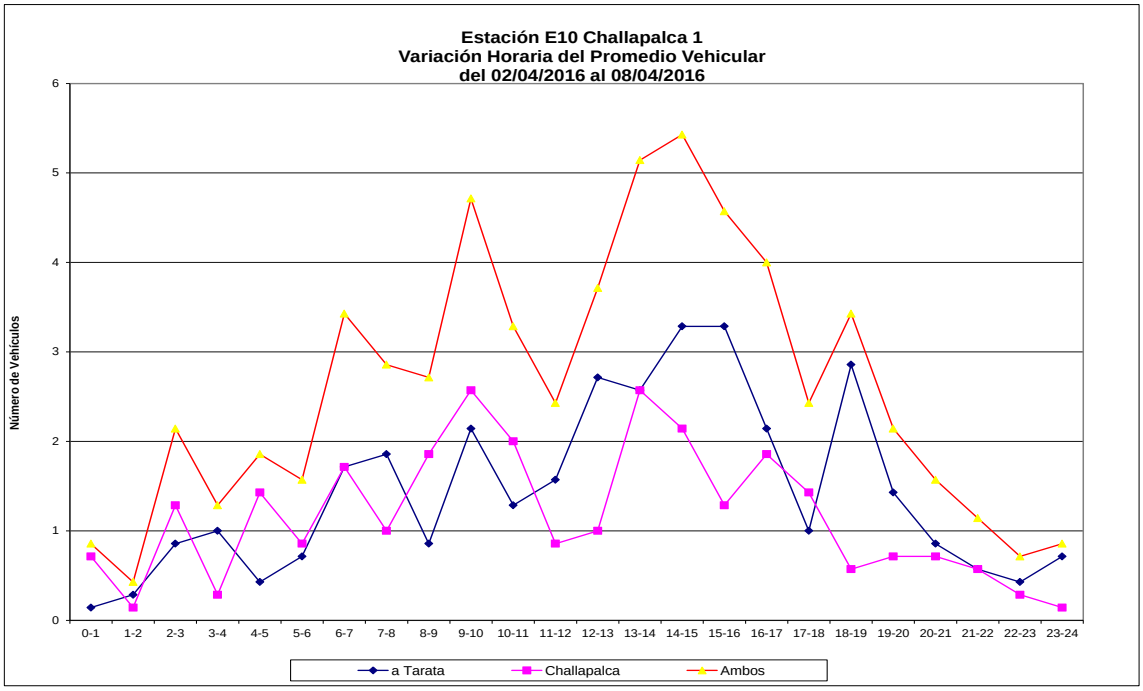


Figura 78. Variación horaria del promedio vehicular, Estación E-10
Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

El mayor volumen de tráfico fue de 88 vehículos y el menor de 39.

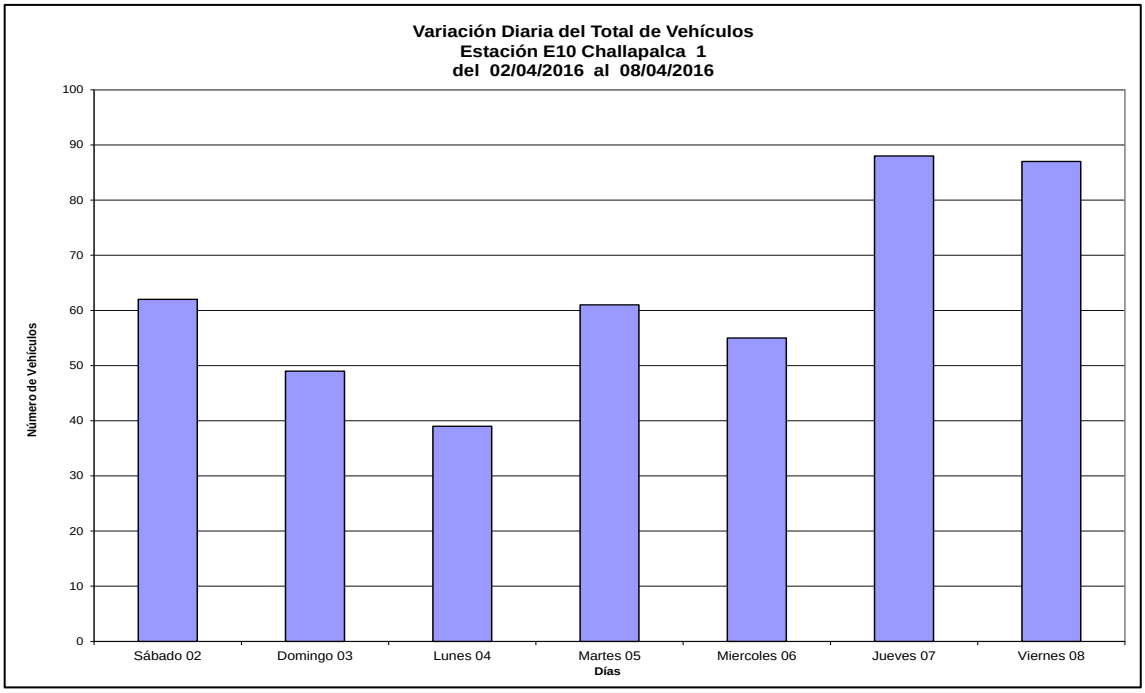


Figura 79. Variación diaria del total de vehículos, Estación E-10
Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

El conteo vehicular realizado durante la semana en campo se presenta a continuación:

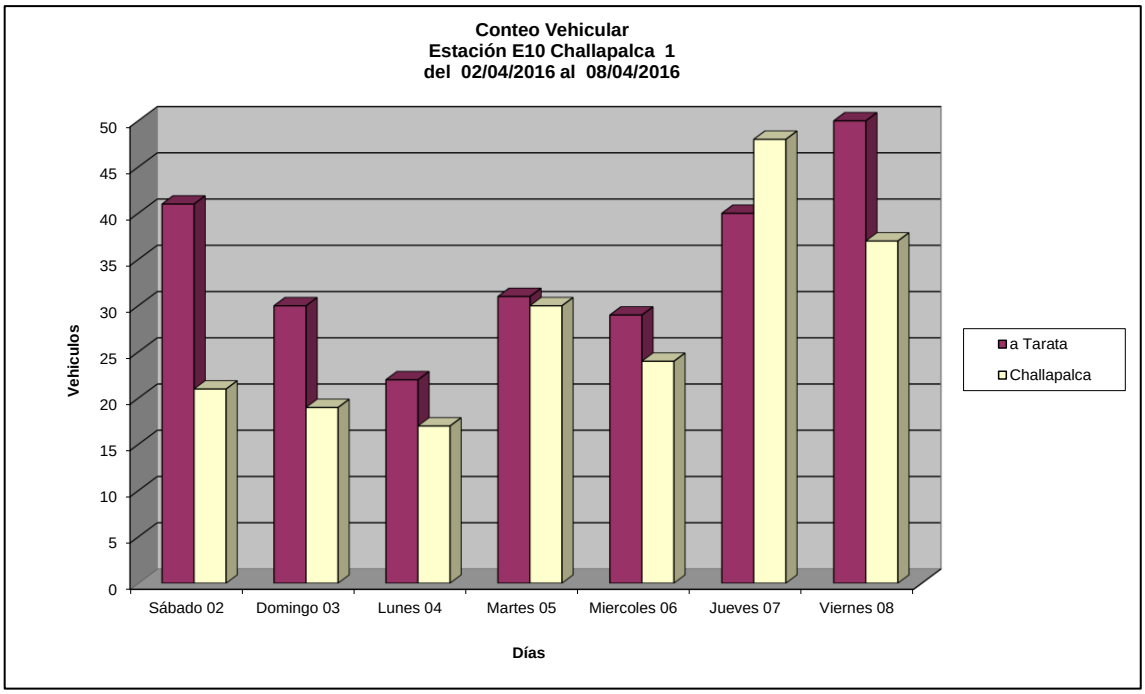


Figura 80. Conteo vehicular, Estación E-10
Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

El flujo vehicular actualmente está compuesto por vehículos ligeros y pesados que representan el 64.46% y 35.54% del flujo vehicular total respectivamente; que circulan en la ruta Tarata-Challapalca, destacando en la categoría de vehículos pesados aquellos con 2 ejes (23.69%) y 3 ejes (11.85%).

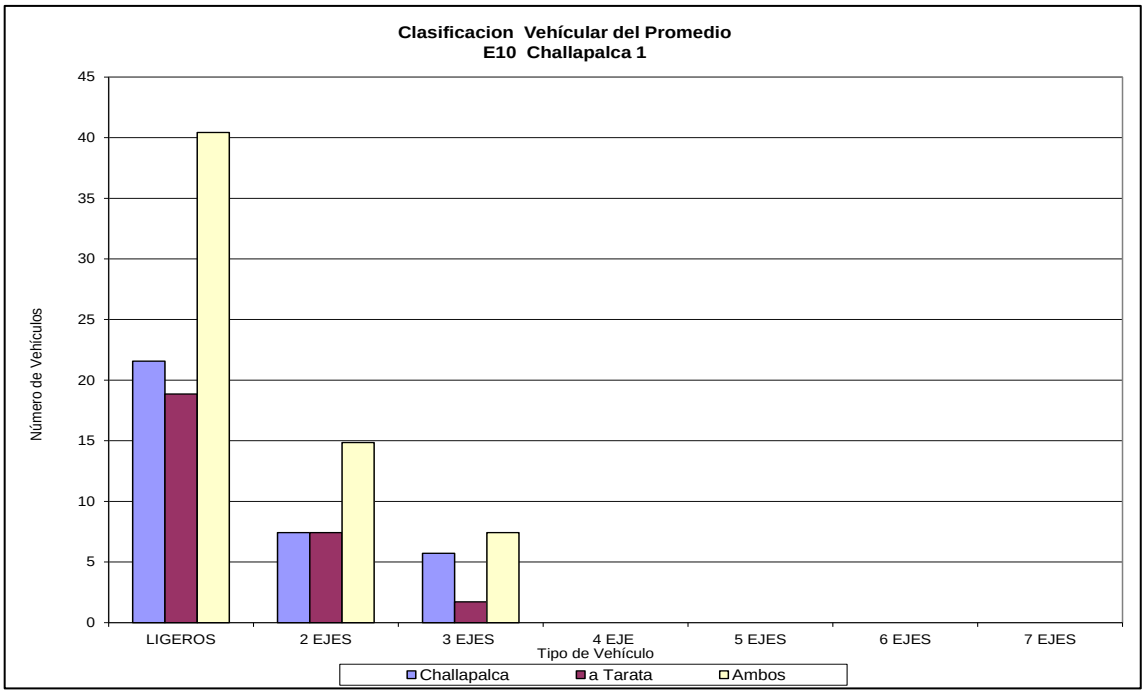


Figura 81. Clasificación vehicular, Estación E-10
Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

La figura 82 muestra la distribución porcentual por tipo de vehículo detectado en la estación de estudio E-10.

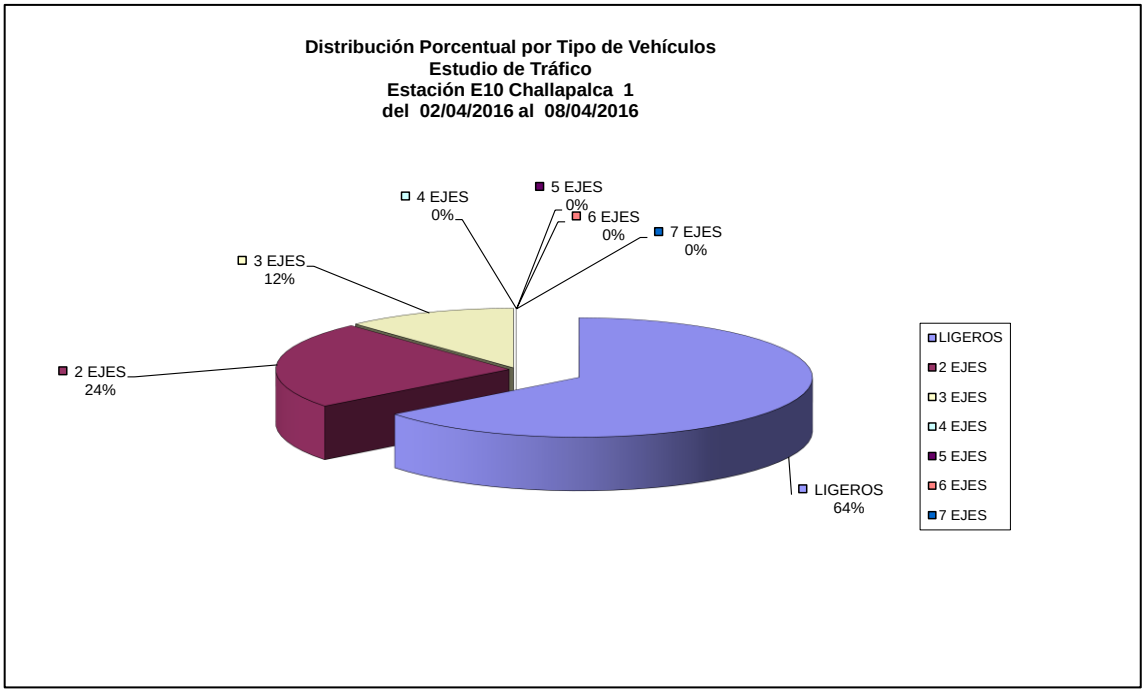


Figura 82. Distribución porcentual por tipo de vehículos, Estación E-10
Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

Estación E-11 Challapalca 2.

Los resultados de la media diaria de los conteos de la semana en la estación E-11 Challapalca 2 se presentan en la tabla 39.

Tabla 39.
Tráfico promedio diario de la semana, Estación E-11

TRAFICO VEHICULAR Clasificación E-11 Challapalca 2 (Veh/dia)				
Tipo de Vehículos	**TPDS** a Capazo	**TPDS** a Challapalca	**TPDS Total**	**Distrib. %**
Autos	2	2	4	5.25%
S. Wagon	0	0	0	0.42%
C. Pick Up	13	15	28	41.39%
C. Panel	0	1	1	1.26%
Camioneta Rural	5	5	10	14.08%
Micro	0	0	1	0.84%
Omnibus 2E	1	0	1	1.68%
Omnibus 3E	0	0	0	0.63%
Omnibus 4E	0	0	0	0.00%
Camion 2E	8	8	16	23.11%
Camión 3E	1	6	8	11.13%
Camión 8x4	0	0	0	0.00%
Camion 4E	0	0	0	0.21%
Semitrayles 2S2	0	0	0	0.00%
Semitrayles 2S3	0	0	0	0.00%
Semitrayles 3S2	0	0	0	0.00%
Semitrayles 3S3	0	0	0	0.00%
Traylers 2T2	0	0	0	0.00%
Traylers 2T3	0	0	0	0.00%
Traylers 3T2	0	0	0	0.00%
Traylers 3T3	0	0	0	0.00%
TOTAL TPDS	**30**	**38**	**68**	**100.00**

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

Los conteos diarios durante la semana en la estación E-11 se muestran en la tabla 40.

Tabla 40.

Conteos diarios de la semana, Estación E-11

Conteos Diarios																						
Días	Sentido	Ligeros						Bus			Camiones			Semi Trailer				Trailer				Total
		Auto	Station Wagon	Pick Up	Panel	Rural	Micro	B2	B3	B4	C2	8X4	C4	2S2	2S3	3S2	3S3	2T2	2T3	3T2	3T3	
Sábado	Entrada	1	0	3	0	3	0	5	3	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22
	Salida	1	1	11	1	4	0	2	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43
	Ambos	2	1	14	1	7	0	7	3	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65
Domingo	Entrada	1	0	8	0	3	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
	Salida	2	0	14	0	4	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
	Ambos	3	0	22	0	7	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50
Lunes	Entrada	2	0	8	0	5	0	0	0	0	6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	22
	Salida	1	0	14	0	5	0	1	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28
	Ambos	3	0	22	0	10	0	1	0	0	10	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	50
Martes	Entrada	0	0	17	0	5	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33
	Salida	2	0	16	0	4	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42
	Ambos	2	0	33	0	9	0	0	0	0	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75
Miércoles	Entrada	2	0	12	0	4	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26
	Salida	2	0	14	1	5	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32
	Ambos	4	0	26	1	9	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58
Jueves	Entrada	2	0	23	0	6	1	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49
	Salida	3	0	23	1	4	1	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40
	Ambos	5	0	46	1	10	2	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89
Viernes	Entrada	3	0	19	1	7	1	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38
	Salida	3	1	15	2	8	1	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51
	Ambos	6	1	34	3	15	2	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

El Índice Medio Diario Anual se obtuvo multiplicando el tráfico promedio diario semanal por el factor de corrección del mes de abril, obteniendo un valor de 81 vehículos por día.

Tabla 41.
Índice Medio Diario Anual, Estación E-11

TRAFICO VEHICULAR Clasificación E-11 Challapalca 2 (Veh/dia)				
Tipo de Vehículos	**IMDa a Capazo**	**IMDa a Challapalca**	**IMDa Total**	**Distrib. %**
Autos	2	3	5	6.17%
S. Wagon	0	0	0	0.00%
C. Pick Up	17	20	37	45.68%
C. Panel	0	1	1	1.23%
Camioneta Rural	6	7	13	16.05%
Micro	0	0	0	0.00%
Omnibus 2E	1	0	1	1.23%
Omnibus 3E	0	0	0	0.00%
Omnibus 4E	0	0	0	0.00%
Camion 2E	8	8	16	19.75%
Camión 3E	1	7	8	9.88%
Camion 4E	0	0	0	0.00%
Semitrayles 2S2	0	0	0	0.00%
Semitrayles 2S3	0	0	0	0.00%
Semitrayles 3S2	0	0	0	0.00%
Semitrayles 3S3	0	0	0	0.00%
Traylers 2T2	0	0	0	0.00%
Traylers 2T3	0	0	0	0.00%
Traylers 3T2	0	0	0	0.00%
Traylers 3T3	0	0	0	0.00%
TOTAL IMD	**35**	**46**	**81**	**100.00**

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

El volumen horario se incrementa desde las 04:00 horas, alcanzando la hora punta de la mañana a las 09:00 con un valor de 7.58% y la hora punta de la tarde a las 13:00 con un valor de 9.26%, ambos en función del flujo vehicular total detectado.

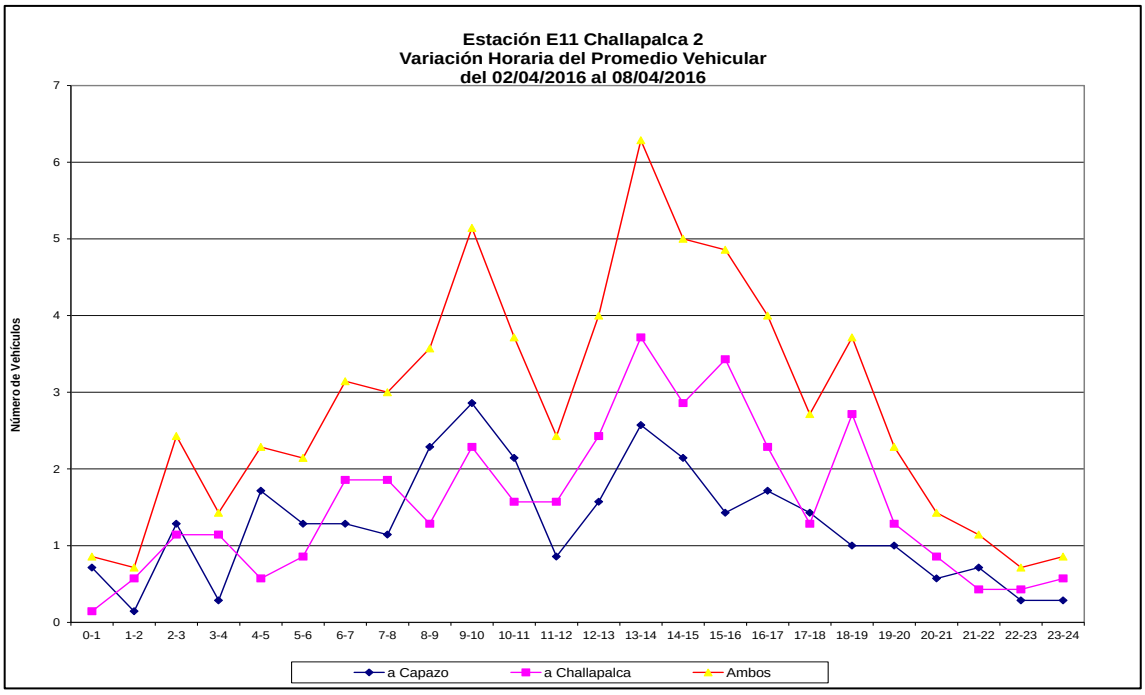


Figura 83. Variación horaria del promedio vehicular, Estación E-11
Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

El mayor volumen de tráfico fue de 89 vehículos y el menor de 50.

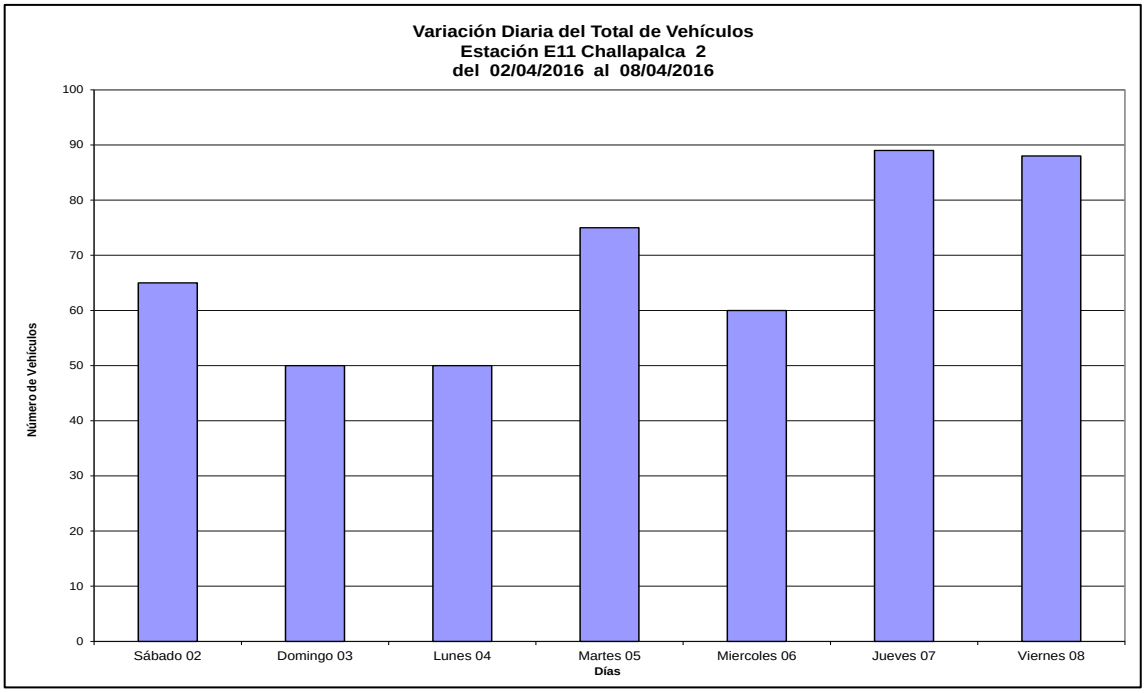


Figura 84. Variación diaria del total de vehículos, Estación E-11
Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

El conteo vehicular realizado durante la semana en campo se presenta a continuación:

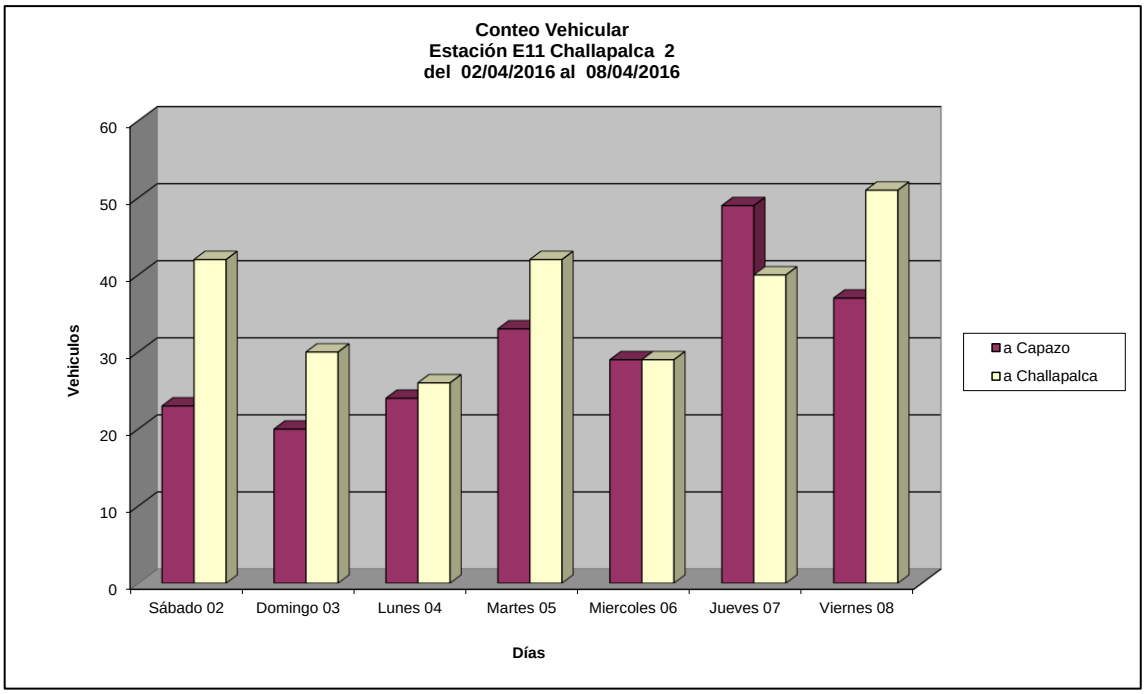


Figura 85. Conteo vehicular, Estación E-11
Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

El flujo vehicular actualmente está compuesto por vehículos ligeros y pesados que representan el 63.37 % y 36.63% del flujo vehicular total respectivamente; que circulan en la ruta Challapalca-Capazo, destacando en la categoría de vehículos pesados aquellos con 2 ejes (23.79%) y 3 ejes (12.63%).

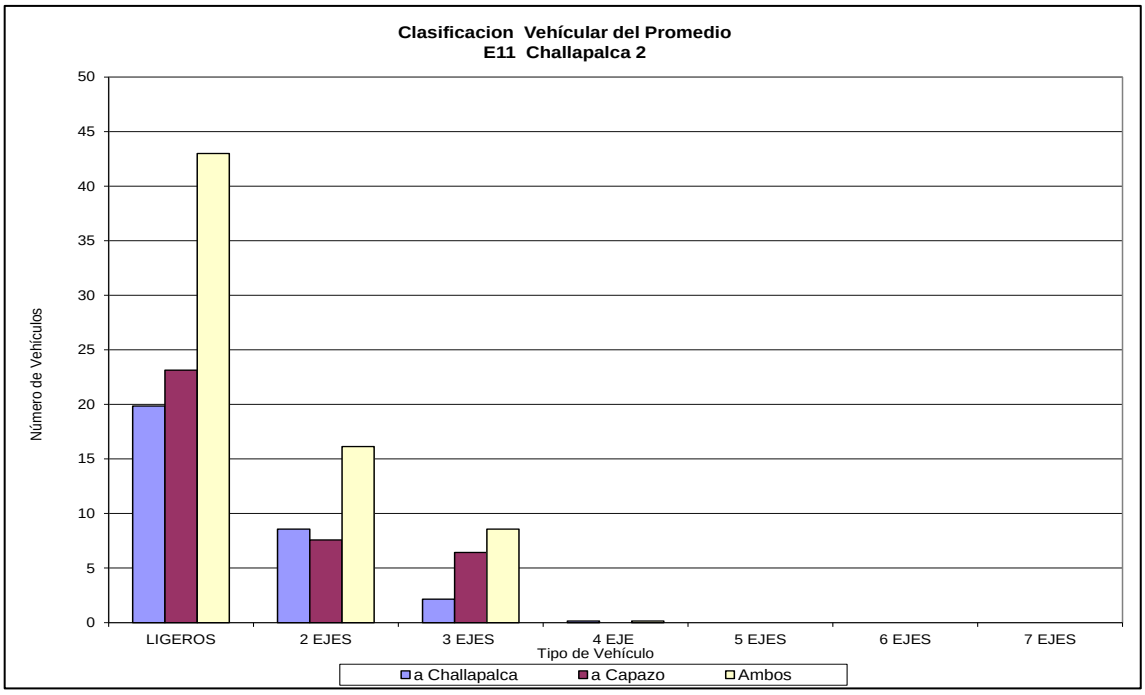


Figura 86. Clasificación vehicular, Estación E-11
Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

La figura 87 muestra la distribución porcentual por tipo de vehículo detectado en la estación de estudio E-11.

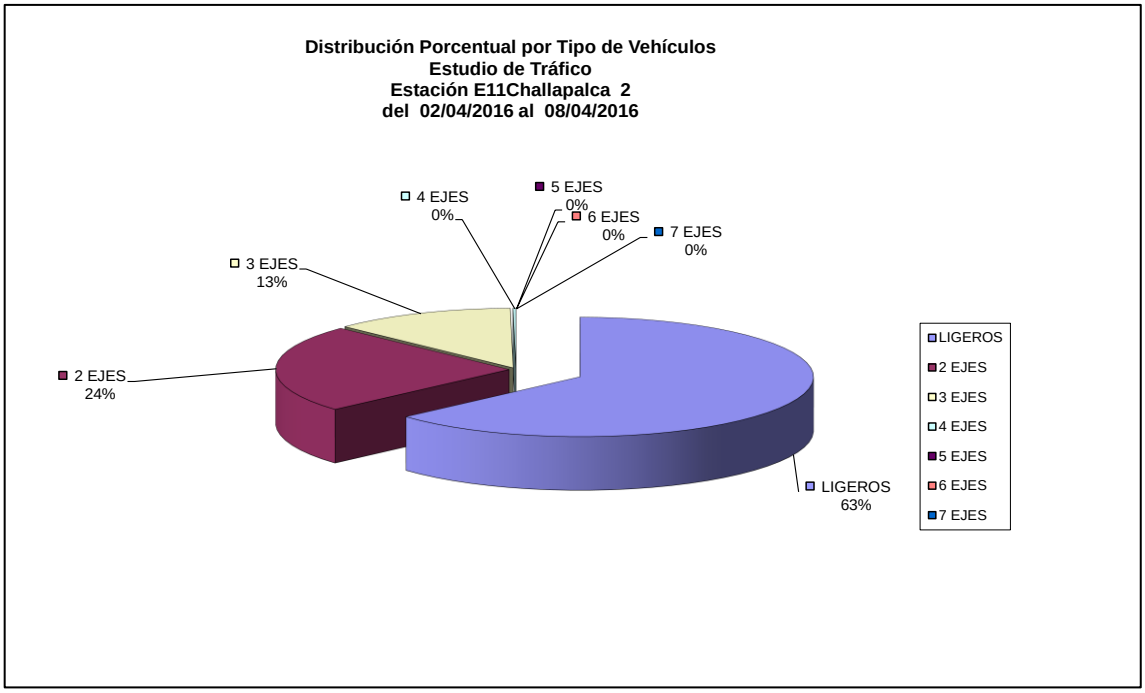


Figura 87. Distribución porcentual por tipo de vehículos, Estación E-11
Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

Estación E-3 Mazocruz 2.

Los resultados de la media diaria de los conteos de la semana en la estación E-3 Mazocruz 2 se presentan en la tabla 42.

Tabla 42.
Tráfico promedio diario de la semana, Estación E-3

TRAFICO VEHICULAR Clasificación E-3 Mazocruz 2 (Veh/dia)				
Tipo de Vehículos	**TPDS** a Mazocruz	**TPDS** a Tarata	**TPDS Total**	**Distrib. %**
Autos	4	4	8	5.79%
S. Wagon	1	1	2	1.24%
C. Pick Up	27	26	54	38.88%
C. Panel	0	0	0	0.10%
Camioneta Rural	20	21	41	29.68%
Micro	0	0	0	0.31%
Omnibus 2E	0	0	1	0.52%
Omnibus 3E	0	0	0	0.21%
Omnibus 4E	0	0	0	0.00%
Camion 2E	11	11	23	16.34%
Camión 3E	5	3	8	5.89%
Camión 8x4	1	0	1	0.72%
Camion 4E	0	0	0	0.00%
Semitrayles 2S2	0	0	0	0.00%
Semitrayles 2S3	0	0	0	0.00%
Semitrayles 3S2	0	0	0	0.10%
Semitrayles 3S3	0	0	0	0.10%
Traylers 2T2	0	0	0	0.00%
Traylers 2T3	0	0	0	0.00%
Traylers 3T2	0	0	0	0.10%
Traylers 3T3	0	0	0	0.00%
TOTAL TPDS	**70**	**68**	**138**	**100.00**

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

Los conteos diarios durante la semana en la estación E-11 se muestran en la tabla 43.

Tabla 43.

Conteos diarios de la semana, Estación E-3

Días	Sentido	Ligeros						Bus			Camiones				Semi Trailer				Trailer				Total
		Auto	Station Wagon	Pick Up	Panel	Rural	Micro	B2	B3	B4	C2	C3	C4	8x4	2S2	2S3	3S2	3S3	2T2	2T3	3T2	3T3	
Martes	Entrada	1	1	21	0	18	0	0	1	0	9	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53
	Salida	1	1	23	0	21	1	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50
	Ambos	2	2	44	0	39	1	0	1	0	11	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	103
Miércoles	Entrada	7	1	28	0	20	0	0	0	0	11	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	74
	Salida	4	0	31	1	18	1	0	0	0	10	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	70
	Ambos	11	1	59	1	38	1	0	0	0	21	10	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	144
Jueves	Entrada	1	1	30	0	21	0	0	0	0	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	70
	Salida	1	0	24	0	16	0	0	0	0	3	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49
	Ambos	2	1	54	0	37	0	0	0	0	11	12	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	119
Viernes	Entrada	9	0	34	0	31	0	0	0	0	14	13	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	104
	Salida	1	1	29	0	27	0	0	0	0	11	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	73
	Ambos	10	1	63	0	58	0	0	0	0	25	17	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	177
Sábado	Entrada	6	2	29	0	27	0	3	0	0	17	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	91
	Salida	3	3	30	0	30	1	2	1	0	18	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	93
	Ambos	9	5	59	0	57	1	5	1	0	35	11	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	184
Domingo	Entrada	2	0	17	0	10	0	0	0	0	14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
	Salida	6	1	27	0	16	0	0	0	0	26	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80
	Ambos	8	1	44	0	26	0	0	0	0	40	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	124
Lunes	Entrada	4	0	33	0	12	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55
	Salida	10	1	20	0	20	0	0	0	0	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61
	Ambos	14	1	53	0	32	0	0	0	0	15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	116

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

El Índice Medio Diario Anual se obtuvo multiplicando el tráfico promedio diario semanal por el factor de corrección del mes de abril, obteniendo un valor de 174 vehículos por día.

Tabla 44.
Índice Medio Diario Anual, Estación E-3

TRAFICO VEHICULAR Clasificación E-3 Mazocruz 2 (Veh/dia)				
Tipo de Vehículos	**IMDa a Mazocruz**	**IMDa a Tarata**	**IMDa Total**	**Distrib. %**
Autos	6	5	11	6.32%
S. Wagon	1	1	2	1.15%
C. Pick Up	37	35	72	41.38%
C. Panel	0	0	0	0.00%
Camioneta Rural	27	28	55	31.61%
Micro	0	1	1	0.57%
Omnibus 2E	0	0	0	0.00%
Omnibus 3E	0	0	0	0.00%
Omnibus 4E	0	0	0	0.00%
Camion 2E	12	12	24	13.79%
Camión 3E	5	3	8	4.60%
Camion 4E	1	0	1	0.57%
Semitrayles 2S2	0	0	0	0.57%
Semitrayles 2S3	0	0	0	0.00%
Semitrayles 3S2	0	0	0	0.00%
Semitrayles 3S3	0	0	0	0.00%
Traylers 2T2	0	0	0	0.00%
Traylers 2T3	0	0	0	0.00%
Traylers 3T2	0	0	0	0.00%
Traylers 3T3	0	0	0	0.00%
TOTAL IMD	**89**	**85**	**174**	**100.00**

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

El volumen horario se incrementa desde las 04:00 horas, alcanzando la hora punta de la mañana a las 06:00 con un valor de 7.25% y la hora punta de la tarde a las 17:00 con un valor de 6.00%, ambos en función del flujo vehicular total detectado.

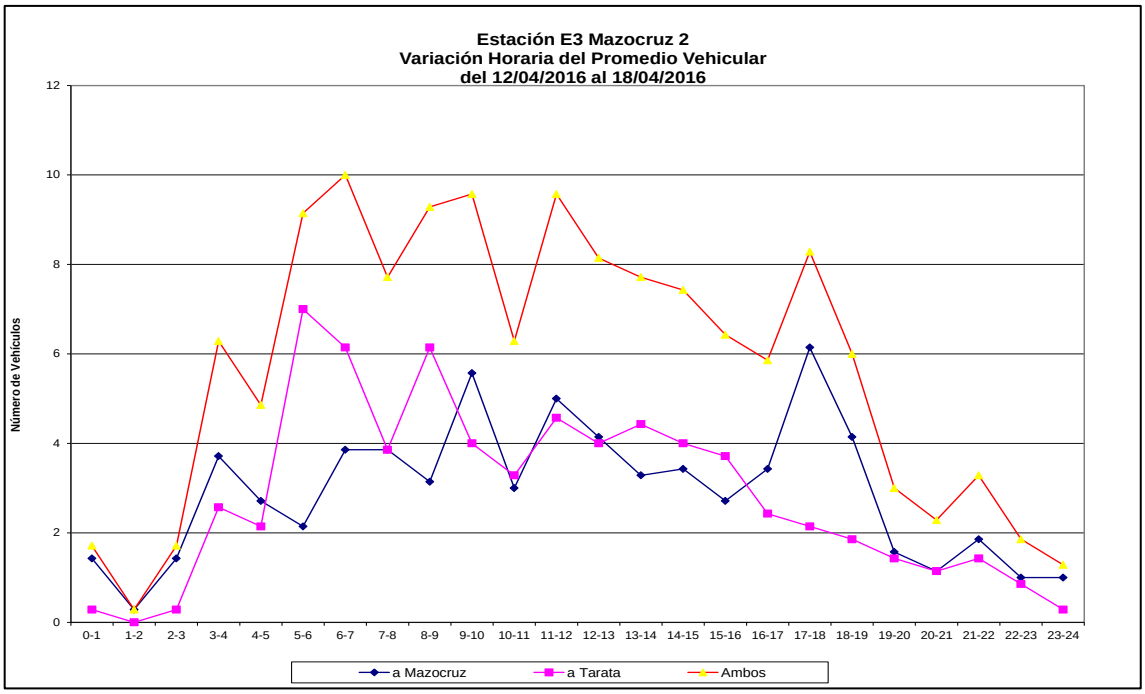


Figura 88. Variación horaria del promedio vehicular, Estación E-3
Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

El mayor volumen de tráfico fue de 190 vehículos y el menor de 103.

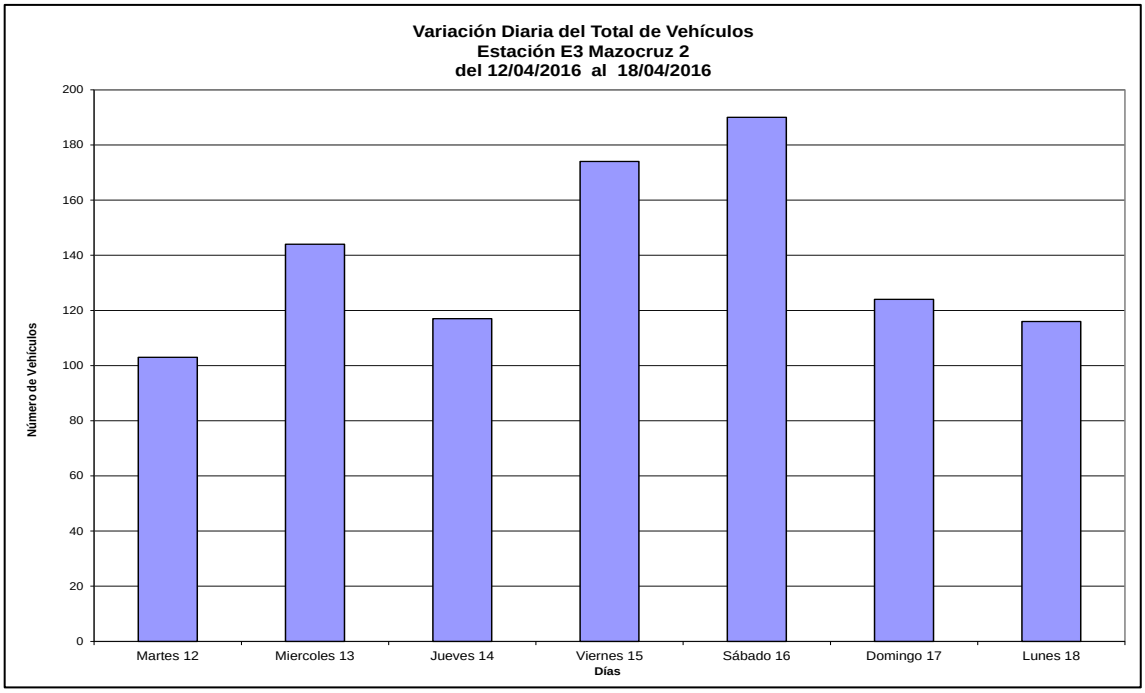


Figura 89. Variación diaria del total de vehículos, Estación E-3
Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

El conteo vehicular realizado durante la semana en campo se presenta a continuación:

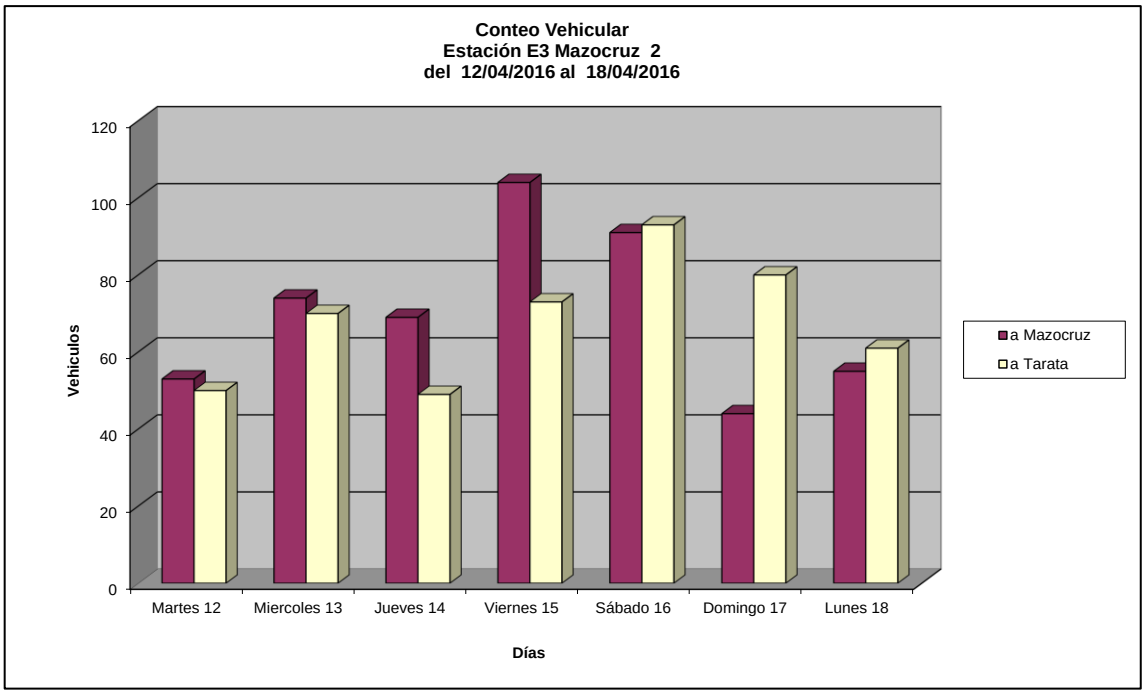


Figura 90. Conteo vehicular, Estación E-3
Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

El flujo vehicular actualmente está compuesto por vehículos ligeros y pesados que representan el 76.09% y 23.91% del flujo vehicular total respectivamente; que circulan en la ruta Capazo-Mazocruz, destacando en la categoría de vehículos pesados aquellos con 2 ejes (16.98%) y 3 ejes (6.93%).

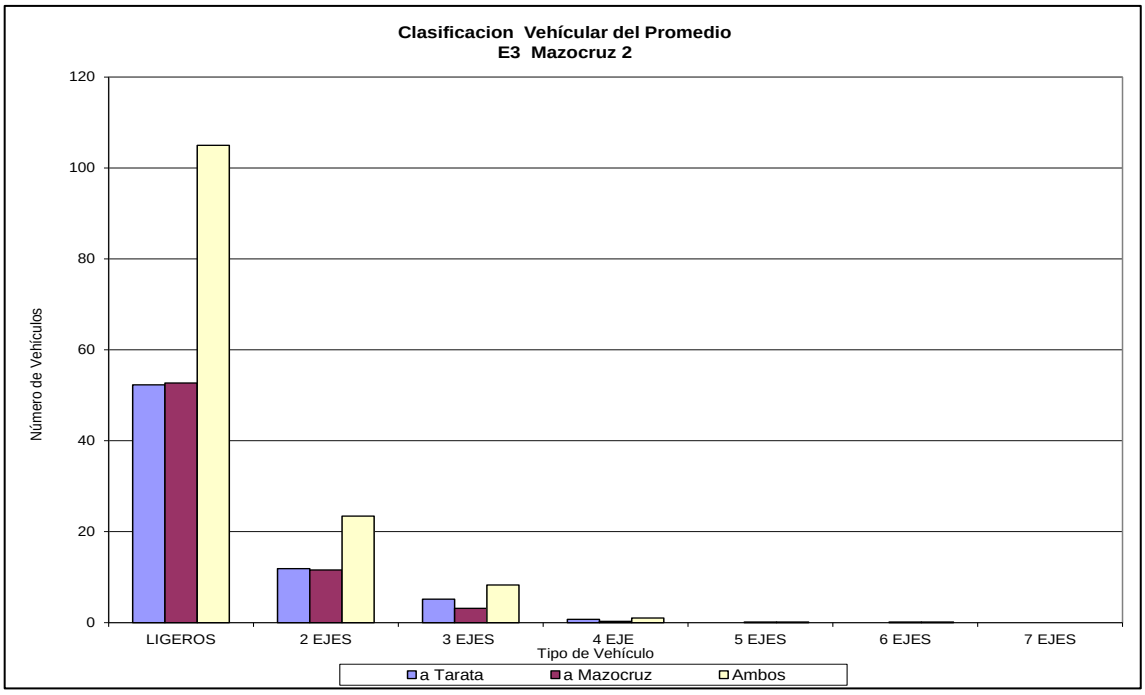


Figura 91. Clasificación vehicular, Estación E-3
Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

La figura 92 muestra la distribución porcentual por tipo de vehículo detectado en la estación de estudio E-3.

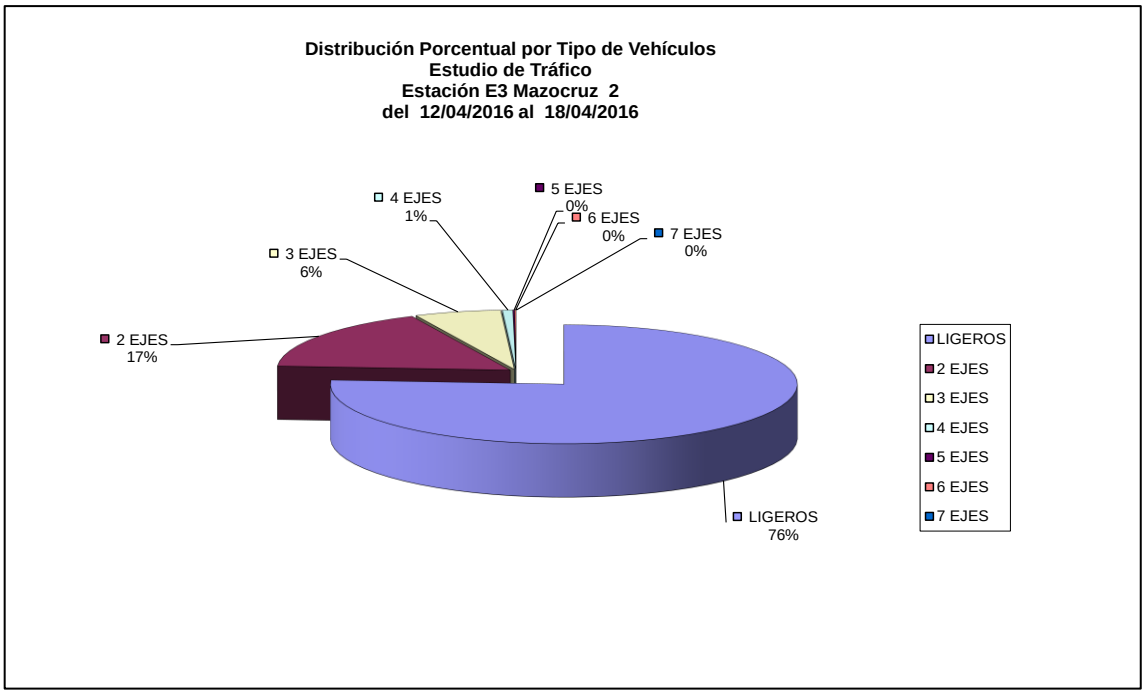


Figura 92. Distribución porcentual por tipo de vehículos, Estación E-3
Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

Encuesta Origen-Destino.

Se realizó la encuesta Origen-Destino con la finalidad de identificar las características del tráfico vehicular en los tramos evaluados; considerando el tipo de vehículo, marca, modelo, tipo de carga, como también el origen y destino de los pasajeros.

La duración de la encuesta fue de tres días, evitando la congestión (vía estrecha). Se dispuso de un encuestador para cada sentido de tráfico y tipo de transporte (pasajeros y carga).

Los resultados de la encuesta se muestran en las tablas 45, 46, 47, 48 y 49:

Tabla 45.
Tasa de ocupación de los vehículos

Tasa de Ocupación	
Asientos disponibles	7750
Pasajeros	5874
Tasa	**75.79%**

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa – 2016



Figura 93. Encuesta Origen-Destino
Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

Tabla 46.

Motivos de viaje

Motivos de Viaje		
Motivos	**Nº de Viaje**	**%**
Trabajo	1327	80.71%
Paseo	23	17.14%
Estudios	5	1.43%
Salud	0	0.71%
Otros	0	0.00%
TOTAL	**1355**	**100.00%**

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

Tabla 47.

Principales mercancías transportadas

Carga Transportada por vehículo		
Producto	**Composición de la Carga**	
	Unidades	**%**
Abono	6	2.39%
Agua	12	4.78%
Alimentos - Viveres	5	1.99%
Alimentos Balanceados	1	0.40%
Bultos	8	3.19%
Cerveza	1	0.40%
Ferreteria	7	2.79%
Galletas	5	1.99%
Ganado	2	0.80%
Gas	2	0.80%
Gaseosa	5	1.99%
Jabas	18	7.17%
Ladrillos	1	0.40%
Limpieza publica	15	5.98%
Materiales de construcción	10	3.98%
Mercaderia	6	2.39%
Palos	6	2.39%
Paneles	8	3.19%
Papa	3	1.20%
Reciclaje	9	3.59%
Sacos	7	2.79%
Vacio	25	9.96%
Varios	7	2.79%
Varios	25	9.96%
Verdura	2	0.80%
Viveres	5	1.99%
Otros	50	19.92%
Total	**251**	**100.00%**

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa – 2016

Tabla 48.

Matriz Origen-Destino para vehículos ligeros

Matriz Origen - Destino Pasajeros Tacna																								
ORIGEN/DESTINO		Tacna														Puno					Chile	TOTAL	%
		Tacna	Alto Tacna	Nueva Tarata	Huancano Alto	Palquilla	Estique	Estique Pampa	Toquela	Tarucachi	Tarata	Candarave	Bellavista	Talabaya	Ticaco	Challapalca	Mazocruz	Juliaca	Desaguadero	Ilave	Capaso	Arica		
Tacna	Tacna	-	745	553	32	23	15	8	8	8	115	15	4	4	15	-	-	-	-	-	-	-	1,543	99.6%
	Alto Tacna	-		-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	4	0.2%
	Nueva Tarata	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0%
	Huancano Alto	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0%
	Palquilla	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0%
	Estique	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0%
	Estique Pampa	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0%
	Toquela	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0%
	Tarucachi	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0%
	Tarata	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0%
	Candarave	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0%
	Bellavista	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0%
	Talabaya	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0%
	Ticaco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	0.0%
Puno	Challapalca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	0.0%
	Mazocruz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	0.0%
	Juliaca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	0.0%
	Desaguadero	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	0.0%
	Ilave	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	0.0%
	Capaso	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	0.0%
Chile	Arica	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		2	0.1%
TOTAL		-	747	553	32	23	15	8	8	8	117	15	4	4	15	-	-	-	-	-	-	2	1,549	100.00%
%		0.0%	48.2%	35.7%	2.1%	1.5%	1.0%	0.5%	0.5%	0.5%	7.6%	1.0%	0.2%	0.2%	1.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	100.00%	

Fuente: Encuesta O-D / Abril 2016

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

Tabla 49.

Matriz Origen-Destino para vehículos pesados

Matriz Origen - Destino Carga Tacna																								
ORIGEN/DESTINO		Tacna														Puno					Lima	TOTAL	%
		Tacna	Alto Tacna	Nueva Tarata	Huancano Alto	Palquilla	Estique	Estique Pampa	Toquela	Tarucachi	Tarata	Candarave	Bellavista	Talabaya	Ticaco	Challapalca	Mazocruz	Juliaca	Desaguadero	Ilave	Capaso	Lima		
Tacna	Tacna	-	44	50	2	2	4	1	1	1	18	4	2	2	4	2	-	-	-	-	-	-	138	49.5%
	Alto Tacna	38		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38	13.8%
	Nueva Tarata	52	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	18.7%
	Huancano Alto	1	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.2%
	Palquilla	1	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.4%
	Estique	4	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1.3%
	Estique Pampa	2	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0.9%
	Toquela	2	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0.7%
	Tarucachi	3	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1.1%
	Tarata	20	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	7.1%
	Candarave	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	3.6%
	Bellavista	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0.9%
	Talabaya	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.4%
	Ticaco	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	2	0.9%
Lima	Challapalca	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	1	0.4%
	Mazocruz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	0.0%
	Juliaca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	0.0%
	Desaguadero	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	0.0%
	Ilave	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	0.0%
	Capaso	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	0.0%
Lima	Lima	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	0.0%
TOTAL		140	44	50	2	2	4	1	1	1	18	4	2	2	4	2	-	-	-	-	-	-	278	100.00%
%		50.5%	15.8%	18.1%	0.7%	0.9%	1.3%	0.4%	0.2%	0.2%	6.5%	1.6%	0.9%	0.7%	1.3%	0.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.00%	

Fuente: Encuesta O-D / Abril 2016

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

Censo de cargas y pesaje por ejes en modo dinámico.

Se realizó durante dos días consecutivos en cada estación, usando un equipo de pesaje dinámico (pesaje en movimiento) con el cual se determinó el peso bruto vehicular y peso por eje, obteniendo valores con una variación de +/- 5% a una velocidad promedio menor a 5km/h.

El censo de carga se realizó entre el 12 y 16 de abril del año 2016, los vehículos que más frecuentan los tramo son de tipo C2 (82.20%) y B2 (5.51%).
Las tablas 50 y 51 muestran los vehículos contralados durante el ingreso y la salida.

Tabla 50.
Vehículos controlados (entrada)

CENSO DE CARGA PEAJE TACNA		
SENTIDO A TARATA		
Vehículos Controlados		
Tipo	**Cantidad**	%
B2	13	5.51%
C2	194	82.20%
C3	27	11.44%
8X4	1	0.42%
3S3	1	0.42%
Total	236	100.00%

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

Tabla 51.
Vehículos controlados (salida)

CENSO DE CARGA PEAJE TACNA		
SENTIDO A TACNA		
Vehículos Controlados		
Tipo	**Cantidad**	%
B2	19	7.66%
C2	183	73.79%
C3	44	17.74%
3S3	2	0.81%
Total	248	100.00%

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

Asimismo, se identificaron los vehículos que causan mayor daño a la estructura del pavimento.

Las tablas 52 y 53 muestran los factores de carga equivalente (FCE) de entrada y salida para los distintos tipos de vehículo, en donde los FCE a su vez están afectados por el factor de corrección de presión de llantas (FCLL).

Tabla 52.

Factor de carga equivalente de vehículos destructivos (entrada)

CENSO DE CARGA ALTO TACNA				
SENTIDO A TARATA				
FACTORES DE CARGA EQUIVALENTE				
Tipo	**FCE sin FCLL**	**FCE con FCLL 50 mm**	**FCE con FCLL 75 mm**	**FCE con FCLL 100 mm**
B2	1.7322	2.3558	2.2346	2.1306
C2	0.7016	0.8606	0.8281	0.8012
C3	1.9963	2.8541	2.6796	2.5345
8X4	3.0619	5.3767	4.8592	4.4550
3S3	3.2946	5.7854	5.2286	4.7937

FCLL : Factor de Corrección de Presión de Llantas

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

Tabla 53.

Factor de carga equivalente de vehículos destructivos (entrada)

CENSO DE CARGA ALTO TACNA				
SENTIDO A TACNA				
FACTORES DE CARGA EQUIVALENTE				
Tipo	**FCE sin FCLL**	**FCE con FCLL 50 mm**	**FCE con FCLL 75 mm**	**FCE con FCLL 100 mm**
B2	2.7284	3.7106	3.5196	3.3559
C2	0.6982	0.8696	0.8344	0.8054
C3	1.3158	1.7967	1.7001	1.6191
3S3	3.8355	5.2163	4.9478	4.7177

FCLL : Factor de Corrección de Presión de Llantas

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

Proyección de la demanda.

Se realizó la proyección de tráfico considerando las estructuras de flujos de transporte entre pares y zonas para cada tipo de vehículo.

La tabla 54 muestra las tasas de crecimiento que afectarán a la demanda del transporte.

Tabla 54.
Tasas de Crecimiento de la Demanda

RESUMEN TASA DE CRECIMIENTO	
Tipo	Tasas
AUTOS	2.46
CAMIONETAS	1.60
COMBI	1.60
BUSES	1.60
CAMIONES	2.80
ARTICULADOS	2.80

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016



Figura 94. Censo de carga
Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

La proyección de la demanda normal obtenido a partir del IMDA para vehículos ligeros y pesados se calculó aplicando las tasas de crecimiento propuestas. Las proyecciones han sido calculadas para el año 2026, asumiendo que una vez la carretera esté terminada el tráfico de vehículos ligeros aumentará un 50% y el de vehículos pesados 30%, valores que fueron determinados en función al amplio historial de experiencias en carreteras que fueron mejoradas bajo las mismas circunstancias.

La demanda total proyectada es producto de la sumatoria entre el tráfico normal y el tráfico generado, como se muestra a continuación en las tablas 55, 56 y 57.

Tabla 55.

Determinación de Tráfico Generado E 3 - Incremento 50% - 30%

PROYECCIONES DE TRAFICO

CARRETERA Dv. HUMAJALSO - MAZOCRUZ - DESAGUADERO y TACNA - TARATA - CAPASO - MAZOCRUZ
PROYECCION DEL TRAFICO POR TIPO DE VEHICULO
TASA DE CRECIMIENTO DEL TRAFICO POR TIPO DE VEHICULO

TIPO DE VEHICULO	TASA ANUAL %
AUTO	2.46
CAMIONETA PICK UP	1.60
CAMIONETA RURAL	1.60
MICRO	1.60
BUS	1.60
CAMIONES	2.80
ARTICULADOS	2.80

TRAMO: **Capaso - Mazocruz**

PROYECCIONES DEL TRAFICO AÑO ESTACION: E3

TRAFICO NORMAL	AÑO							
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2026
AUTO/SW	13	13	14	14	14	15	15	17
CAMIONETA PICK UP/PANEL	72	73	74	76	77	78	79	84
CAMIONETA RURAL	55	56	57	58	59	60	60	64
MICRO	1	1	1	1	1	1	1	1
BUSES	0	0	0	0	0	0	0	0
CAMION 2E	24	25	25	26	27	28	28	32
CAMION 3E	8	8	8	9	9	9	9	11
CAMION 4E	1	1	1	1	1	1	1	1
SEMITRAYLER 2S2	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 2S3	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 3S2	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 3S3	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 2T2	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 2T3	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 3T2	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 3T3	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	**174**	**177**	**180**	**185**	**188**	**192**	**193**	**210**
	0.50			0.3				
TRAFICO GENERADO	Ligeros: +50% del actual			Pesados: +30% del actual				
AUTO/SW		7	7	7	7	8	8	9
CAMIONETA PICK UP/PANEL		37	37	38	39	39	40	42
CAMIONETA RURAL		28	29	29	30	30	30	32
MICRO		1	1	1	1	1	1	1
BUSES		0	0	0	0	0	0	0
CAMION 2E		8	8	8	8	8	8	10
CAMION 3E		2	2	3	3	3	3	3
CAMION 4E		0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 2S2		0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 2S3		0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 3S2		0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 3S3		0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 2T2		0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 2T3		0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 3T2		0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 3T3		0	0	0	0	0	0	0
TOTAL		**82**	**83**	**85**	**87**	**88**	**89**	**96**
TRAFICO TOTAL								
AUTO/SW	13	20	21	21	21	23	23	26
CAMIONETA PICK UP/PANEL	72	110	111	114	116	117	119	126
CAMIONETA RURAL	55	84	86	87	89	90	90	96
MICRO	1	2	2	2	2	2	2	2
BUSES	0	0	0	0	0	0	0	0
CAMION 2E	24	33	33	34	35	36	36	42
CAMION 3E	8	10	10	12	12	12	12	14
CAMION 4E	1	1	1	1	1	1	1	1
SEMITRAYLER 2S2	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 2S3	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 3S2	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 3S3	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 2T2	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 2T3	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 3T2	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 3T3	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	**174**	**259**	**263**	**270**	**275**	**280**	**282**	**306**

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

Tabla 56.

Determinación de Tráfico Generado E 10 - Incremento 50% - 30%

PROYECCIONES DE TRAFICO

CARRETERA Dv. HUMAJALSO - MAZOCRUZ - DESAGUADERO y TACNA - TARATA - CAPASO - MAZOCRUZ
PROYECCION DEL TRAFICO POR TIPO DE VEHICULO
TASA DE CRECIMIENTO DEL TRAFICO POR TIPO DE VEHICULO

TIPO DE VEHICULO	TASA ANUAL %
AUTO	2.46
CAMIONETA PICK UP	1.60
CAMIONETA RURAL	1.60
MICRO	1.60
BUS	1.60
CAMIONES	2.80
ARTICULADOS	2.80

TRAMO: **Tarata - Challapalca**

PROYECCIONES DEL TRAFICO AÑO ESTACION: E10

TRAFICO NORMAL	AÑO							
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2026
AUTO/SW	5	5	5	5	6	6	6	6
CAMIONETA PICK UP/PANEL	37	38	38	39	39	40	41	43
CAMIONETA RURAL	11	11	11	12	12	12	12	13
MICRO	2	2	2	2	2	2	2	2
BUSES	1	1	1	1	1	1	1	1
CAMION 2E	14	14	15	15	16	16	17	18
CAMION 3E	6	6	6	7	7	7	7	8
CAMION 4E	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 2S2	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 2S3	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 3S2	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 3S3	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 2T2	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 2T3	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 3T2	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 3T3	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	**76**	**77**	**78**	**81**	**83**	**84**	**86**	**91**
	0.50			0.3				
TRAFICO GENERADO	Ligeros: +50% del actual			Pesados: +30% del actual				
AUTO/SW		3	3	3	3	3	3	3
CAMIONETA PICK UP/PANEL		19	19	20	20	20	21	22
CAMIONETA RURAL		6	6	6	6	6	6	7
MICRO		1	1	1	1	1	1	1
BUSES		0	0	0	0	0	0	0
CAMION 2E		4	5	5	5	5	5	5
CAMION 3E		2	2	2	2	2	2	2
CAMION 4E		0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 2S2		0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 2S3		0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 3S2		0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 3S3		0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 2T2		0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 2T3		0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 3T2		0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 3T3		0	0	0	0	0	0	0
TOTAL		**34**	**35**	**36**	**37**	**37**	**38**	**40**
TRAFICO TOTAL								
AUTO/SW	5	8	8	8	9	9	9	9
CAMIONETA PICK UP/PANEL	37	57	57	59	59	60	62	65
CAMIONETA RURAL	11	17	17	18	18	18	18	20
MICRO	2	3	3	3	3	3	3	3
BUSES	1	1	1	1	1	1	1	1
CAMION 2E	14	18	20	20	21	21	22	23
CAMION 3E	6	8	8	9	9	9	9	10
CAMION 4E	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 2S2	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 2S3	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 3S2	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 3S3	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 2T2	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 2T3	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 3T2	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 3T3	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	**76**	**111**	**113**	**117**	**120**	**121**	**124**	**131**

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa – 2016

Tabla 57.

Determinación de Tráfico Generado E 10 - Incremento 50% - 30%

PROYECCIONES DE TRAFICO

CARRETERA Dv. HUMAJALSO - MAZOCRUZ - DESAGUADERO y TACNA - TARATA - CAPASO - MAZOCRUZ
PROYECCION DEL TRAFICO POR TIPO DE VEHICULO
TASA DE CRECIMIENTO DEL TRAFICO POR TIPO DE VEHICULO

TIPO DE VEHICULO	TASA ANUAL %
AUTO	2.46
CAMIONETA PICK UP	1.60
CAMIONETA RURAL	1.60
MICRO	1.60
BUS	1.60
CAMIONES	2.80
ARTICULADOS	2.80

TRAMO: **Challapalca - Capaso**

PROYECCIONES DEL TRAFICO AÑO ESTACION: E11

TRAFICO NORMAL	AÑO							
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2026
AUTO/SW	5	5	5	5	6	6	6	6
CAMIONETA PICK UP/PANEL	38	39	39	40	40	41	42	45
CAMIONETA RURAL	13	13	13	14	14	14	14	15
MICRO	0	0	0	0	0	0	0	0
BUSES	1	1	1	1	1	1	1	1
CAMION 2E	16	16	17	17	18	18	19	21
CAMION 3E	8	8	8	9	9	9	9	11
CAMION 4E	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 2S2	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 2S3	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 3S2	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 3S3	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 2T2	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 2T3	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 3T2	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 3T3	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	**81**	**82**	**83**	**86**	**88**	**89**	**91**	**99**
		0.50		0.3				
TRAFICO GENERADO	Ligeros: +50% del actual			Pesados: +30% del actual				
AUTO/SW		3	3	3	3	3	3	3
CAMIONETA PICK UP/PANEL		20	20	20	20	21	21	23
CAMIONETA RURAL		7	7	7	7	7	7	8
MICRO		0	0	0	0	0	0	0
BUSES		0	0	0	0	0	0	0
CAMION 2E		5	5	5	5	5	6	6
CAMION 3E		2	2	3	3	3	3	3
CAMION 4E		0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 2S2		0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 2S3		0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 3S2		0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 3S3		0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 2T2		0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 2T3		0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 3T2		0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 3T3		0	0	0	0	0	0	0
TOTAL		**36**	**36**	**38**	**38**	**39**	**40**	**43**
TRAFICO TOTAL								
AUTO/SW	5	8	8	8	9	9	9	9
CAMIONETA PICK UP/PANEL	38	59	59	60	60	62	63	68
CAMIONETA RURAL	13	20	20	21	21	21	21	23
MICRO	0	0	0	0	0	0	0	0
BUSES	1	1	1	1	1	1	1	1
CAMION 2E	16	21	22	22	23	23	25	27
CAMION 3E	8	10	10	12	12	12	12	14
CAMION 4E	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 2S2	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 2S3	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 3S2	0	0	0	0	0	0	0	0
SEMITRAYLER 3S3	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 2T2	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 2T3	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 3T2	0	0	0	0	0	0	0	0
TRAYLER 3T3	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	**81**	**118**	**119**	**124**	**126**	**128**	**131**	**142**

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa – 2016

Proyección de ESAL.

Se calculó la proyección de ESAL de acuerdo a la ecuación establecida en la subsección "Número de ejes equivalentes para el periodo de diseño" de la presente investigación.

La proyección se realizó para un periodo de diseño de 10 años, la tabla 58 muestra los valores de ESAL obtenidos, considerando correcciones por factor de carga y presión de neumáticos.

Tabla 58.
Proyección de ESAL

Tramo			Repeticiones de Ejes Equivalentes Acumulados al 2026	
			Solo Factor de Carga	Factor de Carga con Factor de Ajuste de Presión de Neumaticos e=50 mm
Tramo VII	Tarata - Capazo	Tarata - Challapalca	1.16E+05	1.52E+05
		Challapalca - Capazo	1.33E+05	1.74E+05
Tramo VIII	Capazo - Mazocruz	Capazo - Mazocruz	2.59E+05	3.61E+05

Fuente: Consorcio Conservación Vial Santa Rosa - 2016

Diseño de la sección estructural del pavimento.

Se realizo el diseño estructural de la estructura del pavimento considerando los criterios establecidos en la "Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos – 1993", previamente a la propuesta, se realizó el mejoramiento de la subrasante existente en donde el Valor de Soporte Relativo no superaba el 6%, por ende, la nueva estructura diseñada que descansa sobre el terreno de fundación fallaría.

Mejoramiento del terreno de fundación.

Durante la evaluación geotécnica se presenció en la mayoría de calicatas, la existencia de dos a tres capas en la profundidad de 1.50 metros; por tal motivo se optó por utilizar el

método de cálculo de CBR compuesto para hallar el Valor de Soporte Relativo que considere los espesores y la resistencia estructural de cada capa que formará parte del terreno de fundación.

En las tablas 59 y 60 se muestran los valores de CBR al 95% de la Máxima Densidad Seca y espesores para cada calicata profunda de los tramos 7 y 8, en donde se realizaron los ensayos de clasificación geotécnica; asimismo, se muestra el CBR final representativo del terreno de fundación (CBR compuesto).

Tabla 59.
Cálculo de CBR compuesto sin mejoramiento del tramo 7

CÁLCULO DE CBR COMPUESTO TRAMO 7 TARATA - CAPAZO (SIN MEJORAMIENTO)							
UBICACIÓN	MUESTRA 1		MUESTRA 2		MUESTRA 3		CBR COMPUESTO (%)
	CBR AL 95% (%)	ESPESOR (m)	CBR AL 95% (%)	ESPESOR (m)	CBR AL 95% (%)	ESPESOR (m)	
90+000	63.9	0.20	34.9	1.30	-	-	35.0
92+000	18.8	0.30	3.1	1.20	-	-	3.3
94+000	20.3	0.20	3.3	0.50	20.0	0.80	16.8
96+000	7.1	0.40	25.0	1.10	-	-	24.2
98+000	28.2	0.30	31.0	1.20	-	-	31.0
100+000	47.4	0.25	32.6	1.30	-	-	32.7
102+000	23.4	0.20	18.1	1.30	-	-	18.1
104+000	10.2	0.25	19.0	0.70	25.0	0.60	21.3
106+000	30.7	0.20	4.6	1.30	-	-	4.7
108+000	23.7	0.20	17.4	1.30	-	-	17.4
110+000	10.2	1.50	-	-	-	-	10.2
112+000	40.0	1.50	-	-	-	-	40.0
114+000	41.3	0.30	25.0	1.20	-	-	25.3
116+000	31.7	1.50	-	-	-	-	31.7
118+000	65.3	1.50	-	-	-	-	65.3
120+000	36.1	0.60	25.0	0.90	-	-	27.5
122+000	37.8	0.50	25.0	1.00	-	-	26.4
126+000	46.6	0.20	47.1	1.30	-	-	47.1
128+000	34.1	0.20	53.0	1.30	-	-	52.9
130+000	38.8	0.30	38.5	1.20	-	-	38.5
132+000	42.2	0.10	28.2	1.40	-	-	28.2
134+000	25.3	0.70	25.0	0.80	-	-	25.1
136+000	46.1	1.50	-	-	-	-	46.1
138+000	30.8	0.60	33.5	0.90	-	-	32.9
140+000	27.4	1.50	-	-	-	-	27.4
142+000	21.2	1.50	-	-	-	-	21.2
144+000	33.6	1.50	-	-	-	-	33.6
146+000	41.3	1.50	-	-	-	-	41.3
148+000	29.5	1.50	-	-	-	-	29.5

CÁLCULO DE CBR COMPUESTO TRAMO 7 TARATA - CAPAZO (SIN MEJORAMIENTO)							
UBICACIÓN	MUESTRA 1		MUESTRA 2		MUESTRA 3		CBR COMPUESTO (%)
	CBR AL 95% (%)	ESPESOR (m)	CBR AL 95% (%)	ESPESOR (m)	CBR AL 95% (%)	ESPESOR (m)	
150+000	26.5	1.50	-	-	-	-	26.5
152+000	29.5	1.50	-	-	-	-	29.5
154+000	25.1	1.50	-	-	-	-	25.1
156+000	24.1	0.10	24.9	1.40	-	-	24.9
158+000	23.1	1.50	-	-	-	-	23.1
160+000	36.4	1.50	-	-	-	-	36.4
162+000	37.0	0.50	12.3	1.00	-	-	15.0
164+000	43.7	0.40	26.7	1.10	-	-	27.5
166+000	38.7	0.15	50.9	1.40	-	-	50.9
168+000	43.3	0.10	16.3	1.40	-	-	16.3
170+000	46.2	0.30	50.8	0.60	25.0	0.60	38.4
172+000	43.7	0.35	49.6	1.20	-	-	49.5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 60.

Cálculo de CBR compuesto sin mejoramiento del tramo 8

CÁLCULO DE CBR COMPUESTO TRAMO 8 CAPAZO - MAZOCRUZ (SIN MEJORAMIENTO)							
UBICACIÓN	MUESTRA 1		MUESTRA 2		MUESTRA 3		CBR COMPUESTO (%)
	CBR AL 95% (%)	ESPESOR (m)	CBR AL 95% (%)	ESPESOR (m)	CBR AL 95% (%)	ESPESOR (m)	
174+000	51.1	0.15	47.2	0.50	55.3	0.85	53.9
176+000	38.8	0.25	35.2	0.50	14.1	0.80	17.3
178+000	42.2	0.25	38.5	1.30	-	-	38.5
180+000	43.1	0.10	32.5	0.60	45.2	0.80	41.4
182+000	49.3	0.10	49.6	1.40	-	-	49.6
184+000	46.6	0.15	25.0	0.45	32.0	0.90	31.2
186+000	49.4	0.35	13.3	1.20	-	-	13.3
188+000	42.8	0.15	11.9	1.40	-	-	11.9
190+000	49.9	0.20	24.4	1.30	-	-	24.4
192+000	50.6	0.20	36.8	1.30	-	-	36.8
194+000	49.9	0.30	49.4	1.20	-	-	49.4
196+000	38.8	0.10	30.5	1.40	-	-	30.5
198+000	73.8	0.20	30.3	1.30	-	-	30.3
200+000	29.5	0.25	51.1	1.30	-	-	51.1
202+000	52.2	0.40	34.2	1.10	-	-	34.2
204+000	50.2	0.60	12.0	0.90	-	-	12.0
206+000	54.0	0.30	25.0	1.20	-	-	25.0
208+000	39.4	0.30	33.9	1.20	-	-	33.9
210+000	41.3	0.25	20.7	1.30	-	-	20.7
212+000	41.8	0.70	9.4	0.80	-	-	9.4
214+000	36.4	0.30	8.3	0.70	9.9	0.50	8.7
216+000	42.7	0.35	14.5	0.60	4.6	0.55	10.2
218+000	33.6	0.10	11.9	0.70	10.4	0.70	11.2

CÁLCULO DE CBR COMPUESTO TRAMO 8 CAPAZO - MAZOCRUZ (SIN MEJORAMIENTO)							
UBICACIÓN	MUESTRA 1		MUESTRA 2		MUESTRA 3		CBR COMPUESTO (%)
	CBR AL 95% (%)	ESPESOR (m)	CBR AL 95% (%)	ESPESOR (m)	CBR AL 95% (%)	ESPESOR (m)	
220+000	36.5	0.40	52.1	1.10	-	-	52.1
222+000	34.1	0.60	71.3	0.90	-	-	71.3
224+000	47.1	0.20	9.8	1.30	-	-	9.8
226+000	48.9	0.15	47.4	1.40	-	-	47.4

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en las tablas de cálculo de CBR compuesto sin mejoramiento de la subrasante, existen valores de CBR menores a 6%. Por tal motivo, se consideró necesario realizar el reemplazo de material por un suelo granular cuyo CBR se estima es de 20%; asimismo se identificaron zonas en ambos tramos donde existen bofedales que comprometen la estructura, por tal motivo se elevó el nivel de la rasante, considerando un CBR estimado de 30% para el material empleado.

Las tablas 61 y 62 muestran los valores de CBR al 95% de la Máxima Densidad Seca, espesores y el cálculo del CBR compuesto para cada calicata profunda de los tramos 7 y 8, considerando los nuevos valores de CBR producto del reemplazo de material inadecuado (con mejoramiento).

Tabla 61.
Cálculo de CBR compuesto con mejoramiento del tramo 7

CÁLCULO DE CBR COMPUESTO TRAMO 7 TARATA - CAPAZO (CON MEJORAMIENTO)									
UBICACIÓN	MUESTRA 1		MUESTRA 2		MUESTRA 3		MUESTRA 4		CBR COMPUESTO (%)
	CBR AL 95% (%)	ESPESOR (m)	CBR AL 95% (%)	ESPESOR (m)	CBR AL 95% (%)	ESPESOR (m)	CBR AL 95% (%)	ESPESOR (m)	
90+000	63.9	0.20	34.9	1.30	-	-	-	-	35.0
92+000	18.8	0.30	20.0	0.30	3.1	0.90	-	-	4.2
94+000	20.3	0.20	20.0	0.30	3.3	0.10	20.0	0.80	19.8
96+000	7.1	0.40	25.0	1.10	-	-	-	-	24.2
98+000	28.2	0.30	31.0	1.20	-	-	-	-	31.0
100+000	47.4	0.25	32.6	1.30	-	-	-	-	32.7
102+000	23.4	0.20	18.1	1.30	-	-	-	-	18.1
104+000	10.2	0.25	19.0	0.70	25.0	0.60	-	-	21.3
106+000	30.7	0.20	20.0	0.30	4.6	0.90	-	-	5.2
108+000	23.7	0.20	17.4	1.30	-	-	-	-	17.4
110+000	10.2	1.50	-	-	-	-	-	-	10.2
112+000	40.0	1.50	-	-	-	-	-	-	40.0
114+000	41.3	0.30	25.0	1.20	-	-	-	-	25.3
116+000	31.7	1.50	-	-	-	-	-	-	31.7
118+000	65.3	1.50	-	-	-	-	-	-	65.3

CÁLCULO DE CBR COMPUESTO TRAMO 7 TARATA - CAPAZO (CON MEJORAMIENTO)									
UBICACIÓN	MUESTRA 1		MUESTRA 2		MUESTRA 3		MUESTRA 4		CBR COMPUESTO (%)
	CBR AL 95% (%)	ESPESOR (m)	CBR AL 95% (%)	ESPESOR (m)	CBR AL 95% (%)	ESPESOR (m)	CBR AL 95% (%)	ESPESOR (m)	
120+000	36.1	0.60	25.0	0.90	-	-	-	-	27.5
122+000	37.8	0.50	25.0	1.00	-	-	-	-	26.4
126+000	46.6	0.20	47.1	1.30	-	-	-	-	47.1
128+000	34.1	0.20	53.0	1.30	-	-	-	-	52.9
130+000	38.8	0.30	38.5	1.20	-	-	-	-	38.5
132+000	42.2	0.10	28.2	1.40	-	-	-	-	28.2
134+000	25.3	0.70	25.0	0.80	-	-	-	-	25.1
136+000	46.1	1.50	-	-	-	-	-	-	46.1
138+000	30.8	0.60	33.5	0.90	-	-	-	-	32.9
140+000	27.4	1.50	-	-	-	-	-	-	27.4
142+000	21.2	1.50	-	-	-	-	-	-	21.2
144+000	33.6	1.50	-	-	-	-	-	-	33.6
146+000	41.3	1.50	-	-	-	-	-	-	41.3
148+000	29.5	1.50	-	-	-	-	-	-	29.5
150+000	26.5	1.50	-	-	-	-	-	-	26.5
152+000	29.5	1.50	-	-	-	-	-	-	29.4
154+000	25.1	1.50	-	-	-	-	-	-	25.1
156+000	24.1	0.10	24.9	1.40	-	-	-	-	24.9
158+000	23.1	1.50	-	-	-	-	-	-	23.1
160+000	36.4	1.50	-	-	-	-	-	-	36.2
162+000	37.0	0.50	12.3	1.00	-	-	-	-	15.0
164+000	43.7	0.40	26.7	1.10	-	-	-	-	27.5
166+000	38.7	0.15	50.9	1.40	-	-	-	-	50.9
168+000	43.3	0.10	16.3	1.40	-	-	-	-	16.3
170+000	46.2	0.30	50.8	0.60	25.0	0.60	-	-	38.4
172+000	43.7	0.35	49.6	1.20	-	-	-	-	47.6

Fuente: Elaboración propia



Figura 95. Sector de mejoramiento del tramo 7
Fuente: Elaboración propia

Tabla 62.

Cálculo de CBR compuesto con mejoramiento del tramo 8

CÁLCULO DE CBR COMPUESTO TRAMO 8 CAPAZO - MAZOCRUZ (CON MEJORAMIENTO)							
UBICACIÓN	MUESTRA 1		MUESTRA 2		MUESTRA 3		CBR COMPUESTO (%)
	CBR AL 95% (%)	ESPESOR (m)	CBR AL 95% (%)	ESPESOR (m)	CBR AL 95% (%)	ESPESOR (m)	
174+000	-	-	47.2	0.50	55.3	0.85	53.9
176+000	-	-	35.2	0.45	14.1	0.80	17.3
178+000	-	-	38.5	1.30	-	-	38.5
180+000	-	-	32.5	0.60	45.2	0.80	41.4
182+000	-	-	49.6	1.40	-	-	49.6
184+000	-	-	25	0.45	32	0.90	31.2
186+000	49.4	0.35	13.3	1.15	-	-	14.9
188+000	-	-	11.9	1.35	-	-	11.9
190+000	-	-	24.4	1.30	-	-	24.4
192+000	-	-	36.8	1.30	-	-	36.8
194+000	-	-	49.4	1.20	-	-	49.4
196+000	-	-	30.5	1.40	-	-	30.5
198+000	-	-	30.3	1.30	-	-	30.3
200+000	-	-	51.1	1.25	-	-	51.1
202+000	52.2	0.40	34.2	1.10	-	-	34.8
204+000	50.2	0.60	12	0.90	-	-	21.3
206+000	-	-	25	1.20	-	-	25
208+000	-	-	33.9	1.20	-	-	33.9
210+000	-	-	20.7	1.25	-	-	20.7
212+000	41.8	0.70	9.4	0.80	-	-	22.9
214+000	36.4	0.30	8.3	0.70	9.9	0.50	12.5
216+000	42.7	0.35	14.5	0.60	4.6	0.55	15.6
218+000	-	-	11.9	0.70	10.4	0.70	11.2
220+000	-	-	52.1	1.10	-	-	52.1
222+000	-	-	71.3	0.90	-	-	71.3
224+000	47.1	0.20	9.8	1.30	-	-	10.5
226+000	-	-	47.4	1.35	-	-	47.4

Fuente: Elaboración propia



Figura 96. Sector de mejoramiento del tramo 8
Fuente: Elaboración propia

Tramificación (Método de las diferencias acumuladas).

La subdivisión en tramos homogéneos se realizó mediante el Método de las diferencias acumuladas, obteniendo cinco sectores homogéneos en el tramo 7 e igual cantidad para el tramo 8. Las tablas 63 y 64 muestran los cálculos realizados para obtener los valores de diferencias acumuladas en cada progresiva del tramo 7 y 8.

Tabla 63.
Cálculo de Z_X para el tramo 7 mediante el método de las diferencias acumuladas.

MÉTODO DE LAS DIFERENCIAS ACUMULADAS TRAMO 7: TARATA - CAPAZO (KM.: 90+000 - KM.: 174+000)										
CALICATA	**PROGRESIVA**	**CBR AL 95%**	**# INTERVALO**	**DISTANCIA ENTRE INTERVALO**	**DISTANCIA ACUMULADA ENTRE INTERVALO**	**INTERVALO PROMEDIO**	**ÁREA DEL INTERVALO**	**ÁREA ACUMULADA**	**Z_X**	**SUBTRAMO CBR PROMEDIO (%)**
C-1	90+000	35.0	1	2000	2000	35.0	70010.4	70010.4	10927.3	
C-5	92+000	4.2	2	2000	4000	19.6	39229.4	109239.8	-8926.4	
C-9	94+000	19.8	3	2000	6000	12.0	23987.7	133227.5	-44021.8	
C-13	96+000	24.2	4	2000	8000	22.0	43940.5	177168.1	-59164.4	
C-17	98+000	31.0	5	2000	10000	27.6	55133.9	232301.9	-63113.6	
C-21	100+000	32.7	6	2000	12000	31.8	63674.4	295976.3	-58522.3	
C-25	102+000	18.1	7	2000	14000	25.4	50836.7	346813.0	-66768.7	21.6
C-29	104+000	21.3	8	2000	16000	19.7	39407.6	386220.6	-86444.2	
C-33	106+000	5.2	9	2000	18000	13.2	26491.9	412712.5	-119035.5	
C-37	108+000	17.4	10	2000	20000	11.3	22626.3	435338.9	-155492.2	
C-41	110+000	10.2	11	2000	22000	13.8	27622.9	462961.7	-186952.5	
C-45	112+000	40.0	12	2000	24000	25.1	50200.0	513161.7	-195835.6	
C-49	114+000	25.3	13	2000	26000	32.6	65250.8	578412.5	-189667.9	
C-53	116+000	31.7	14	2000	28000	28.5	56950.8	635363.2	-191800.3	
C-57	118+000	65.3	15	2000	30000	48.5	97000.0	732363.2	-153883.4	
C-61	120+000	27.5	16	2000	32000	46.4	92837.1	825200.4	-120129.4	
C-65	122+000	26.4	17	4000	36000	27.0	107918.7	933119.1	-130376.8	38.1
C-69	124+000	ROCA SUELTA								
C-73	126+000	47.1	18	2000	38000	36.8	73520.4	1006639.5	-115939.5	
C-77	128+000	52.9	19	2000	40000	50.0	100029.6	1106669.1	-74993.0	
C-81	130+000	38.5	20	2000	42000	45.7	91436.0	1198105.2	-42640.1	

MÉTODO DE LAS DIFERENCIAS ACUMULADAS TRAMO 7: TARATA - CAPAZO (KM.: 90+000 - KM.: 174+000)										
CALICATA	**PROGRESIVA**	**CBR AL 95%**	**# INTERVALO**	**DISTANCIA ENTRE INTERVALO**	**DISTANCIA ACUMULADA ENTRE INTERVALO**	**INTERVALO PROMEDIO**	**ÁREA DEL INTERVALO**	**ÁREA ACUMULADA**	**Z_X**	**SUBTRAMO CBR PROMEDIO (%)**
C-85	132+000	28.2	21	2000	44000	33.4	66709.7	1264814.9	-35013.5	
C-89	134+000	25.1	22	2000	46000	26.7	53325.5	1318140.4	-40771.1	
C-93	136+000	46.1	23	2000	48000	35.6	71220.4	1389360.7	-28633.9	
C-97	138+000	32.9	24	2000	50000	39.5	78982.9	1468343.6	-8734.2	
C-101	140+000	27.4	25	2000	52000	30.1	60282.9	1528626.4	-7534.4	
C-105	142+000	21.2	26	2000	54000	24.3	48600.0	1577226.4	-18017.5	32.1
C-109	144+000	33.6	27	2000	56000	27.4	54800.0	1632026.4	-22300.6	
C-113	146+000	41.3	28	2000	58000	37.5	74900.0	1706926.4	-6483.7	
C-117	148+000	29.5	29	2000	60000	35.4	70800.0	1777726.4	5233.2	
C-121	150+000	26.5	30	2000	62000	28.0	55972.1	1833698.5	2122.1	
C-125	152+000	29.4	31	2000	64000	27.9	55888.3	1889586.8	-1072.6	
C-129	154+000	25.1	32	2000	66000	27.3	54514.4	1944101.2	-5641.4	
C-133	156+000	24.9	33	2000	68000	25.0	50000.1	1994101.4	-14724.3	25.8
C-137	158+000	23.1	34	2000	70000	24.0	48037.4	2042138.7	-25770.1	
C-141	160+000	36.2	35	2000	72000	29.7	59323.2	2101461.9	-25530.0	
C-145	162+000	15.0	36	2000	74000	25.6	51232.3	2152694.2	-33380.8	
C-149	164+000	27.5	37	2000	76000	21.3	42524.4	2195218.6	-49939.5	
C-153	166+000	50.9	38	2000	78000	39.2	78363.2	2273581.8	-30659.4	
C-157	168+000	16.3	39	2000	80000	33.6	67193.1	2340774.9	-22549.4	36.1
C-161	170+000	38.4	40	2000	82000	27.3	54698.1	2395473.0	-26934.5	
C-165	172+000	47.6	41	2000	84000	43.0	86017.6	2481490.6	0.0	
							At	2481490.6		
							L_P	84000		
							F	29.5		

(*) En las calicatas en las que se encontró un terreno inadecuado (CBR < 6%), se consideró el reemplazo con un material de préstamo (CBR = 20%), valores de color rojo.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 64.

Cálculo de Z_X para el tramo 8 mediante el método de las diferencias acumuladas

MÉTODO DE LAS DIFERENCIAS ACUMULADAS TRAMO 8: CAPAZO - MAZOCRUZ (KM.: 174+000 - KM.: 227+250)										
CALICATA	**PROGRESIVA**	**CBR AL 95%**	**# INTERVALO**	**DISTANCIA ENTRE INTERVALO**	**DISTANCIA ACUMULADA ENTRE INTERVALO**	**INTERVALO PROMEDIO**	**ÁREA DEL INTERVALO**	**ÁREA ACUMULADA**	**Z_X**	**SUBTRAMO CBR PROMEDIO (%)**
C-1	174+000	53.9	1	2000	2000	53.9	107860.3	107860.3	43791.0	38.7
C-5	176+000	17.3	2	2000	4000	35.6	71218.1	179078.4	50939.8	
C-9	178+000	38.5	3	2000	6000	27.9	55788.0	234866.3	42658.5	
C-13	180+000	41.4	4	2000	8000	40.0	79931.9	314798.2	58521.1	
C-17	182+000	49.6	5	2000	10000	45.5	91031.9	405830.1	85483.7	
C-21	184+000	31.2	6	2000	12000	40.4	80822.2	486652.3	102236.6	
C-25	186+000	14.9	7	2000	14000	23.1	46129.7	532782.0	84297.1	22.0
C-29	188+000	11.9	8	2000	16000	13.4	26807.5	559589.5	47035.3	
C-33	190+000	24.4	9	2000	18000	18.2	36300.0	595889.5	19266.0	
C-37	192+000	36.8	10	2000	20000	30.6	61200.0	657089.5	16396.7	
C-41	194+000	49.4	11	2000	22000	43.1	86200.0	743289.5	38527.5	39.2
C-45	196+000	30.5	12	2000	24000	40.0	79900.0	823189.5	54358.2	
C-49	198+000	30.3	13	2000	26000	30.4	60800.0	883989.5	51088.9	
C-53	200+000	51.1	14	2000	28000	40.7	81400.0	965389.5	68419.6	
C-57	202+000	34.8	15	2000	30000	43.0	85905.3	1051294.8	90255.7	
C-61	204+000	21.3	16	2000	32000	28.1	56124.7	1107419.5	82311.1	20.4
C-65	206+000	25.0	17	2000	34000	23.2	46319.3	1153738.8	64561.2	
C-69	208+000	33.9	18	2000	36000	29.5	58900.0	1212638.8	59391.9	
C-73	210+000	20.7	19	2000	38000	27.3	54600.0	1267238.8	49922.6	
C-77	212+000	22.9	20	2000	40000	21.8	43627.3	1310866.1	29480.7	
C-81	214+000	12.5	21	2000	42000	17.7	35426.8	1346292.9	838.2	
C-85	216+000	15.6	22	2000	44000	14.1	28131.7	1374424.6	-35099.4	
C-89	218+000	11.2	23	2000	46000	13.4	26782.3	1401206.9	-72386.4	
C-93	220+000	52.1	24	2000	48000	31.6	63250.0	1464456.9	-73205.7	45.3
C-97	222+000	71.3	25	2000	50000	61.7	123400.0	1587856.9	-13874.9	
C-161	224+000	10.5	26	2000	52000	40.9	81800.0	1669656.9	3855.8	
C-165	226+000	47.4	27	1250	53250	29.0	36187.5	1705844.4	0.0	
							At	1705844.4		
							L_P	53250		
							F	32.0		

(*) Existen sectores en donde se elevó el nivel de la rasante debido a la existencia de bofedales (CBR mejoramiento = 30%), valores de color rojo.

Fuente: Elaboración propia

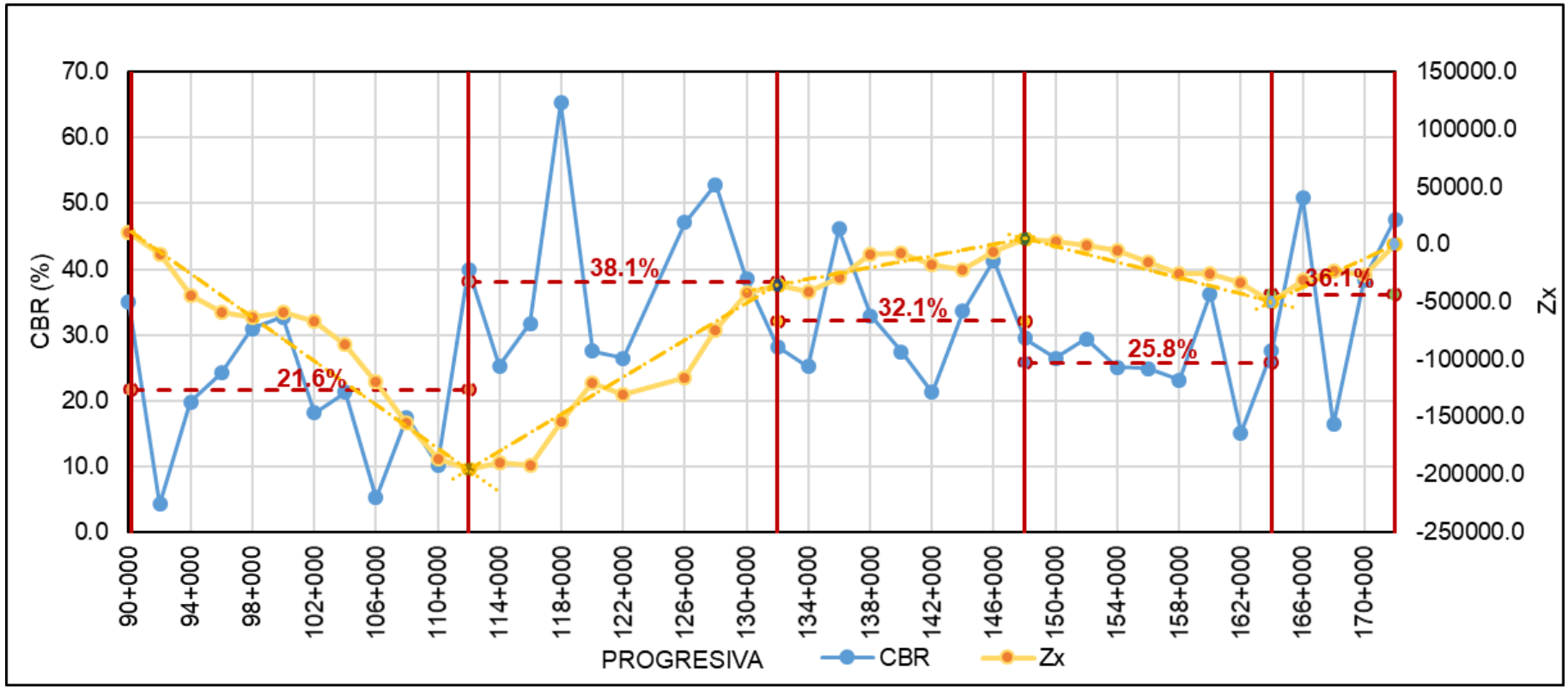


Figura 97. Sectorización mediante diferencias acumuladas del tramo 7
Fuente: Elaboración propia

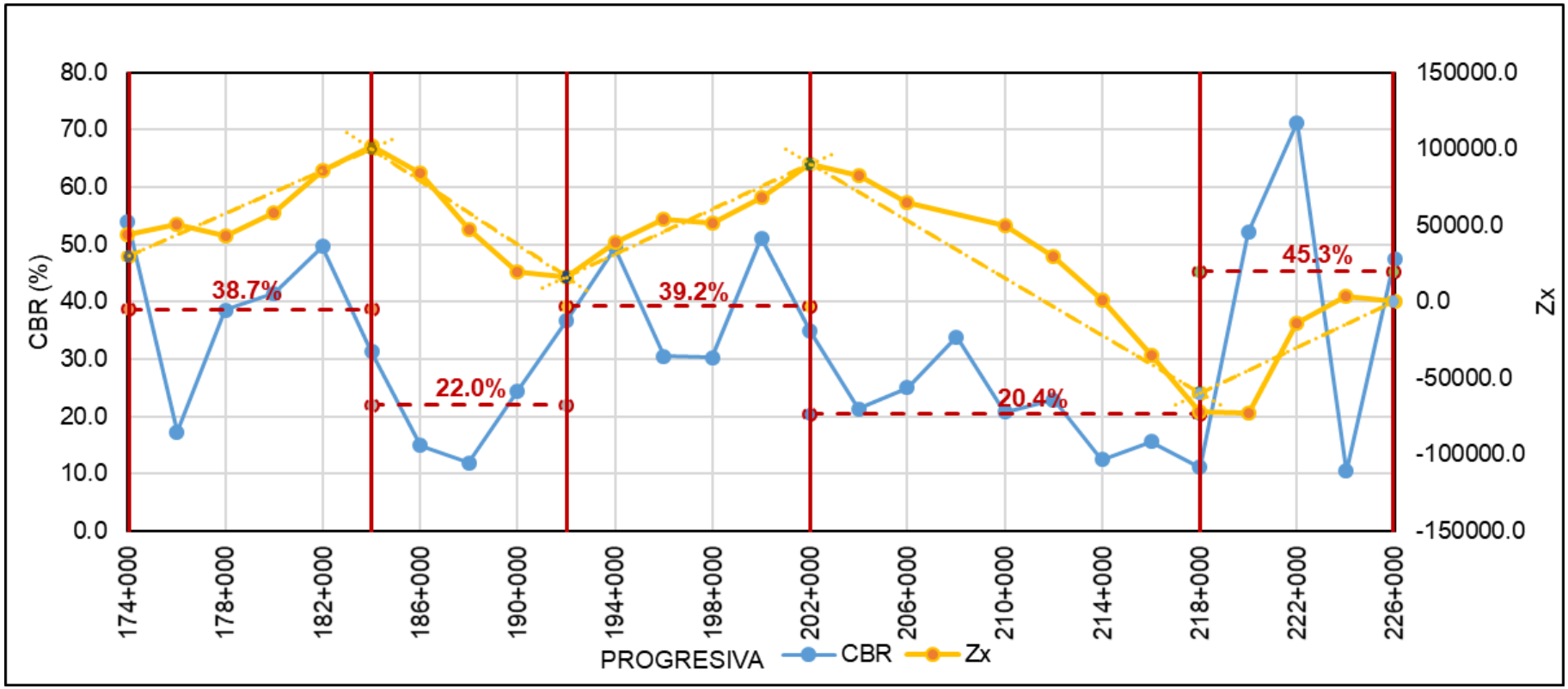


Figura 98. Sectorización mediante diferencias acumuladas del tramo 8
Fuente: Elaboración propia

El entregable obtenido del cálculo mediante el Método de las diferencias acumuladas, se presenta en las tablas 65 y 66.

Tabla 65.
Sectores homogéneos del tramo 7

SECTOR HOMOGÉNEO	INICIO	FIN	CBR (%)
T7-S1	90+000	112+000	21.6
T7-S2	112+000	132+000	38.1
T7-S3	132+000	148+000	32.1
T7-S4	148+000	162+000	25.8
T7-S5	162+000	174+000	36.1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 66.
Sectores homogéneos del tramo 8

SECTOR HOMOGÉNEO	INICIO	FIN	CBR (%)
T8-S1	174+000	184+000	38.7
T8-S2	184+000	192+000	22.0
T8-S3	192+000	202+000	39.2
T8-S4	202+000	218+000	20.4
T8-S5	218+000	227+250	45.3

Fuente: Elaboración propia

Obtenidos los sectores homogéneos se procedió a elaborar el plan de canteras, el cual contempla la zona de influencia de cada cantera y el uso respectivo que tendrán.

La figura 99 muestra la disposición de las canteras y el área de influencia de acuerdo a las distancias de acarreo máximas con la finalidad de evitar sobrecostos por transporte.

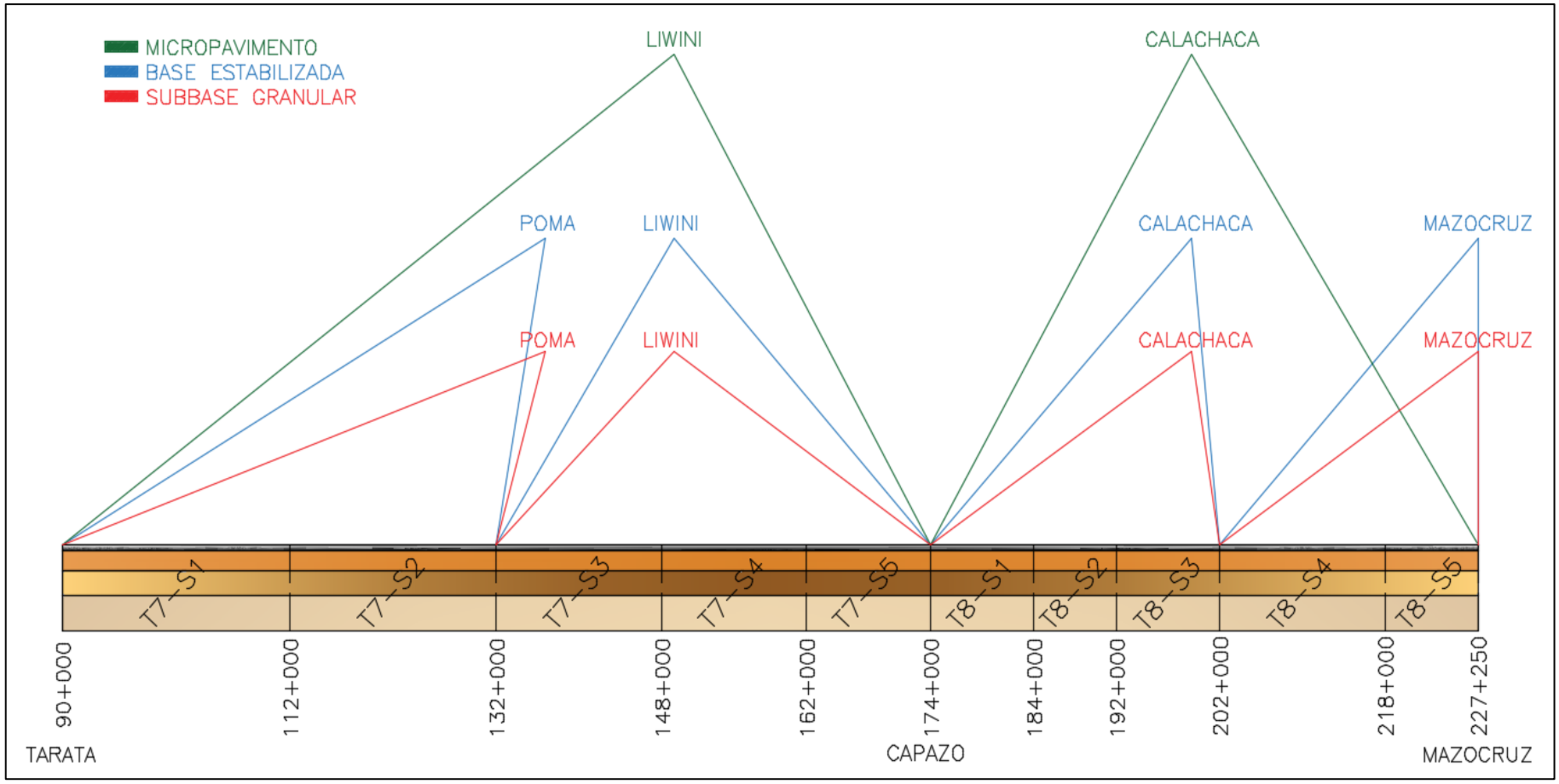


Figura 99. Plan de canteras del tramo 7 y 8
Fuente: Elaboración propia

Número Estructural Requerido.

Tramo 7 Tarata - Capazo.

Las variables de entrada directa de la fórmula AASHTO 1993 se muestran en la tabla 67, la cual fue confeccionada de acuerdo a los valores sugeridos en el Manual de Carreteras "Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos"; adoptando un valor de ESAL equivalente a 1.74E5 (T_{P1}), de acuerdo al periodo de diseño. Los valores se resaltaron de color rojo y fueron usados para el cálculo del Número Estructural Requerido.

Tabla 67.
Tránsito vs. Serviciabilidad y Confiabilidad para el tramo 7

NIVEL DE TRÁNSITO	ESAL		CONFIABILIDAD (%)	S_0	Zr	P_0	P_t	FACTOR DE SEGURIDAD
	DE	A						
T_{P0}	0	150,000	65	0.45	-0.385	3.8	2.0	1.49
T_{P1}	150,000	300,000	70	0.45	-0.524	3.8	2.0	1.72
T_{P2}	300,000	500,000	75	0.45	-0.674	3.8	2.0	2.01
T_{P3}	500,000	750,000	80	0.45	-0.842	3.8	2.0	2.39
T_{P4}	750,000	1,000,000	80	0.45	-0.842	3.8	2.0	2.39
T_{P5}	1,000,000	1,500,000	85	0.45	-1.036	4.0	2.5	2.93
T_{P6}	1,500,000	3,000,000	85	0.45	-1.036	4.0	2.5	2.93
T_{P7}	3,000,000	5,000,000	85	0.45	-1.036	4.0	2.5	2.93
T_{P8}	5,000,000	7,500,000	90	0.45	-1.282	4.0	2.5	3.77
T_{P9}	7,500,000	10,000,000	90	0.45	-1.282	4.0	2.5	3.77
T_{P10}	10,000,000	12,500,000	90	0.45	-1.282	4.0	2.5	3.77
T_{P11}	12,500,000	15,000,000	90	0.45	-1.282	4.0	2.5	3.77
T_{P12}	15,000,000	20,000,000	95	0.45	-1.645	4.2	3.0	5.5
T_{P13}	20,000,000	25,000,000	95	0.45	-1.645	4.2	3.0	5.5
T_{P14}	25,000,000	30,000,000	95	0.45	-1.645	4.2	3.0	5.5
T_{P15}	>30000000		95	0.45	-1.645	4.2	3.0	5.5

Fuente: Manual de Carreteras "Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos"

Se realizó el cálculo del Número Estructural Requerido para los cinco sectores homogéneos del tramo 7, obtenidos a partir del método de las diferencias acumuladas, las tablas 68, 69, 70, 71 y 72 muestran la ecuación AASHTO 1993 y los valores de diseño empleados.

Tabla 68.

Cálculo del SN_{REQ}, Sector 1 – Tramo 7

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE (AASHTO 1993) TRAMO 7		
SECTOR 1 (90+000 - 112+000)		
VARIABLE	**VALOR**	**DESCRIPCIÓN**
R =	70%	Nivel de Confiabilidad para el periodo de análisis
Z_R =	-0.524	Desviación Estándar Normal
S_o =	0.45	Variabilidad
W_{18} =	1.74E+05	ESAL para el periodo de diseño
P_o =	3.8	Serviciabilidad inicial
P_t =	2	Serviciabilidad final
DPSI =	1.8	Pérdida de serviciabilidad (P_t - P_o)
CBR =	21.6	CBR de diseño
M_r =	18257.5	Módulo Resiliente
SN_{REQ} =	1.60	Número Estructural Requerido

Fuente: Elaboración propia

Tabla 69.

Cálculo del SN_{REQ}, Sector 2 – Tramo 7

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE (AASHTO 1993) TRAMO 7		
SECTOR 2 (112+000 - 132+00)		
VARIABLE	**VALOR**	**DESCRIPCIÓN**
R =	70%	Nivel de Confiabilidad para el periodo de análisis
Z_R =	-0.524	Desviación Estándar Normal
S_o =	0.45	Variabilidad
W_{18} =	1.74E+05	ESAL para el periodo de diseño
P_o =	3.8	Serviciabilidad inicial
P_t =	2	Serviciabilidad final
DPSI =	1.8	Pérdida de serviciabilidad (P_t - P_o)
CBR =	38.1	CBR de diseño
M_r =	26253.2	Módulo Resiliente
SN_{REQ} =	1.37	Número Estructural Requerido

Fuente: Elaboración propia

Tabla 70.

Cálculo del SN_{REQ}, Sector 3 – Tramo 7

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE (AASHTO 1993) TRAMO 7		
SECTOR 3 (132+00 - 148+000)		
VARIABLE	**VALOR**	**DESCRIPCIÓN**
R =	70%	Nivel de Confiabilidad para el periodo de análisis
Z_R =	-0.524	Desviación Estándar Normal
S_o =	0.45	Variabilidad
W_{18} =	1.74E+05	ESAL para el periodo de diseño
P_o =	3.8	Serviciabilidad inicial
P_t =	2	Serviciabilidad final
DPSI =	1.8	Pérdida de serviciabilidad (P_t - P_o)
CBR =	32.1	CBR de diseño
M_r =	23526.3	Módulo Resiliente
SN_{REQ} =	1.44	Número Estructural Requerido

Fuente: Elaboración propia

Tabla 71.

Cálculo del SN_{REQ}, Sector 4 – Tramo 7

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE (AASHTO 1993) TRAMO 7		
SECTOR 4 (148+000 - 162+000)		
VARIABLE	**VALOR**	**DESCRIPCIÓN**
R =	70%	Nivel de Confiabilidad para el periodo de análisis
Z_R =	-0.524	Desviación Estándar Normal
S_o =	0.45	Variabilidad
W_{18} =	1.74E+05	ESAL para el periodo de diseño
P_o =	3.8	Serviciabilidad inicial
P_t =	2	Serviciabilidad final
DPSI =	1.8	Pérdida de serviciabilidad (P_t - P_o)
CBR =	25.8	CBR de diseño
M_r =	20456.3	Módulo Resiliente
SN_{REQ} =	1.52	Número Estructural Requerido

Fuente: Elaboración propia

Tabla 72.

Cálculo del SN_{REQ}, Sector 5 – Tramo 7

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE (AASHTO 1993) TRAMO 7		
SECTOR 5 (162+000 - 174+000)		
VARIABLE	**VALOR**	**DESCRIPCIÓN**
R =	70%	Nivel de Confiabilidad para el periodo de análisis
Z_R =	-0.524	Desviación Estándar Normal
S_o =	0.45	Variabilidad
W_{18} =	1.74E+05	ESAL para el periodo de diseño
P_o =	3.8	Serviciabilidad inicial
P_t =	2	Serviciabilidad final
DPSI =	1.8	Pérdida de serviciabilidad (P_t - P_o)
CBR =	36.1	CBR de diseño
M_r =	25362.7	Módulo Resiliente
SN_{REQ} =	1.39	Número Estructural Requerido

Fuente: Elaboración propia

Tramo 8 Capazo - Mazocruz.

De la misma manera, para el tramo 8 se presenta la tabla 73 con las variables y valores sugeridos en el Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”; adoptando un valor de ESAL equivalente a 3.61E5 (T_{P2}), de acuerdo al periodo de diseño. Los valores se resaltaron de color rojo y fueron usados para el cálculo del Número Estructural Requerido

Tabla 73.

Tránsito vs. Serviciabilidad y Confiabilidad para el tramo 8

NIVEL DE TRÁNSITO	ESAL		CONFIABILIDAD (%)	S_0	Zr	P_0	P_t	FACTOR DE SEGURIDAD
	DE	A						
T_{P0}	0	150,000	65	0.45	-0.385	3.8	2.0	1.49
T_{P1}	150,000	300,000	70	0.45	-0.524	3.8	2.0	1.72
T_{P2}	300,000	500,000	75	0.45	-0.674	3.8	2.0	2.01
T_{P3}	500,000	750,000	80	0.45	-0.842	3.8	2.0	2.39
T_{P4}	750,000	1,000,000	80	0.45	-0.842	3.8	2.0	2.39
T_{P5}	1,000,000	1,500,000	85	0.45	-1.036	4.0	2.5	2.93

NIVEL DE TRÁNSITO	ESAL		CONFIABILIDAD (%)	S_0	Zr	P_0	P_t	FACTOR DE SEGURIDAD
	DE	A						
T_{P6}	1,500,000	3,000,000	85	0.45	-1.036	4.0	2.5	2.93
T_{P7}	3,000,000	5,000,000	85	0.45	-1.036	4.0	2.5	2.93
T_{P8}	5,000,000	7,500,000	90	0.45	-1.282	4.0	2.5	3.77
T_{P9}	7,500,000	10,000,000	90	0.45	-1.282	4.0	2.5	3.77
T_{P10}	10,000,000	12,500,000	90	0.45	-1.282	4.0	2.5	3.77
T_{P11}	12,500,000	15,000,000	90	0.45	-1.282	4.0	2.5	3.77
T_{P12}	15,000,000	20,000,000	95	0.45	-1.645	4.2	3.0	5.5
T_{P13}	20,000,000	25,000,000	95	0.45	-1.645	4.2	3.0	5.5
T_{P14}	25,000,000	30,000,000	95	0.45	-1.645	4.2	3.0	5.5
T_{P15}	>30000000		95	0.45	-1.645	4.2	3.0	5.5

Fuente: Manual de Carreteras "Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos"

Se realizó el cálculo del Número Estructural Requerido para los cinco sectores homogéneos del tramo 8, obtenidos a partir del método de las diferencias acumuladas, las siguientes tablas muestran la ecuación AASHTO 1993 y los valores de diseño empleados.

Tabla 74.
Cálculo del SN_{REQ}, Sector 1 – Tramo 8

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE (AASHTO 1993) TRAMO 8		
SECTOR 1 (174+000 - 184+000)		
VARIABLE	VALOR	DESCRIPCIÓN
R =	75%	Nivel de Confiabilidad para el periodo de análisis
Z_R =	-0.674	Desviación Estándar Normal
S_o =	0.45	Variabilidad
W_{18} =	3.61E+05	ESAL para el periodo de diseño
P_o =	3.8	Serviciabilidad inicial
P_t =	2	Serviciabilidad final
DPSI =	1.8	Pérdida de serviciabilidad (P_t - P_o)
CBR =	38.7	CBR de diseño
M_r =	26517.1	Módulo Resiliente
SN_{REQ} =	1.60	Número Estructural Requerido

Fuente: Elaboración propia

Tabla 75.

Cálculo del SN_{REQ}, Sector 2 – Tramo 8

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE (AASHTO 1993) TRAMO 8		
SECTOR 2 (184+000 - 192+000)		
VARIABLE	**VALOR**	**DESCRIPCIÓN**
R =	75%	Nivel de Confiabilidad para el periodo de análisis
Z_R =	-0.674	Desviación Estándar Normal
S_o =	0.45	Variabilidad
W_{18} =	3.61E+05	ESAL para el periodo de diseño
P_o =	3.8	Serviciabilidad inicial
P_t =	2	Serviciabilidad final
DPSI =	1.8	Pérdida de serviciabilidad (P_t - P_o)
CBR =	22	CBR de diseño
M_r =	18473.2	Módulo Resiliente
SN_{REQ} =	1.86	Número Estructural Requerido

Fuente: Elaboración propia

Tabla 76.

Cálculo del SN_{REQ}, Sector 3 – Tramo 8

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE (AASHTO 1993) TRAMO 8		
SECTOR 3 (192+000 - 202+000)		
VARIABLE	**VALOR**	**DESCRIPCIÓN**
R =	75%	Nivel de Confiabilidad para el periodo de análisis
Z_R =	-0.674	Desviación Estándar Normal
S_o =	0.45	Variabilidad
W_{18} =	3.61E+05	ESAL para el periodo de diseño
P_o =	3.8	Serviciabilidad inicial
P_t =	2	Serviciabilidad final
DPSI =	1.8	Pérdida de serviciabilidad (P_t - P_o)
CBR =	39.2	CBR de diseño
M_r =	26735.8	Módulo Resiliente
SN_{REQ} =	1.60	Número Estructural Requerido

Fuente: Elaboración propia

Tabla 77.

Cálculo del SN_{REQ}, Sector 4 – Tramo 8

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE (AASHTO 1993) TRAMO 8		
SECTOR 4 (202+000 - 218+000)		
VARIABLE	**VALOR**	**DESCRIPCIÓN**
R =	75%	Nivel de Confiabilidad para el periodo de análisis
Z_R =	-0.674	Desviación Estándar Normal
S_o =	0.45	Variabilidad
W_{18} =	3.61E+05	ESAL para el periodo de diseño
P_o =	3.8	Serviciabilidad inicial
P_t =	2	Serviciabilidad final
DPSI =	1.8	Pérdida de serviciabilidad (P_t - P_o)
CBR =	20.4	CBR de diseño
M_r =	17601.7	Módulo Resiliente
SN_{REQ} =	1.89	Número Estructural Requerido

Fuente: Elaboración propia

Tabla 78.

Cálculo del SN_{REQ}, Sector 5 – Tramo 8

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE (AASHTO 1993) TRAMO 8		
SECTOR 5 (218+000 - 227+250)		
VARIABLE	**VALOR**	**DESCRIPCIÓN**
R =	75%	Nivel de Confiabilidad para el periodo de análisis
Z_R =	-0.674	Desviación Estándar Normal
S_o =	0.45	Variabilidad
W_{18} =	3.61E+05	ESAL para el periodo de diseño
P_o =	3.8	Serviciabilidad inicial
P_t =	2	Serviciabilidad final
DPSI =	1.8	Pérdida de serviciabilidad (P_t - P_o)
CBR =	45.3	CBR de diseño
M_r =	29328.8	Módulo Resiliente
SN_{REQ} =	1.54	Número Estructural Requerido

Fuente: Elaboración propia

Número Estructural Propuesto.

El cálculo del Número Estructural Propuesto para cada sector se realizó en función del único requisito que la "Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos – 1993" exige, el cual es igualar o superar el valor obtenido en el cálculo del Número Estructural Requerido.

Los coeficientes de drenaje usados para todos los sectores de los tramos 7 y 8 fueron de 1.00 y 0.95 para la base y subbase respectivamente; debido a que la primera se estima posea una calidad de drenaje buena y la segunda una regular.

Los valores de resistencia obtenidos para cada diseño se plasman en las tablas de acuerdo al tipo de tratamiento aplicado (suelo sin estabilización, suelo estabilizado con cemento Portland y suelo estabilizado con emulsión asfáltica); a partir de estos se obtuvieron los coeficientes de aporte estructural basados en los ábacos sugeridos por la "Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos - 1993" y el "Manual de reciclado en frío" de Wirtgen.

La tabla 79 muestra los coeficientes de aporte estructural obtenidos a partir del Valor de Soporte Relativo del material integral (sin estabilización).

Tabla 79.
Valores de resistencia al cortante y coeficientes de aporte estructural

RESUMEN DE RESISTENCIA AL CORTANTE					
CANTERA	**MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm^3)**	**ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)**	**CBR AL 100% MDS (%)**	**MÓDULO RESILIENTE (ksi)**	**COEFICIENTE ESTRUCTURAL (1/cm)**
POMA	2.054	9.6	51.4	31.8	0.12
LIWINI	2.061	9.6	86.5	44.4	0.13
CALACHACA	1.925	7.6	68.2	38.1	0.12
MAZOCRUZ	1.978	9.3	83.1	43.2	0.13

Fuente: Elaboración propia

Los coeficientes de aporte estructural se obtuvieron de manera directa a través del ábaco propuesto en la “Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos – 1993”.
La tabla 80 muestra los coeficientes de aporte estructural obtenidos a partir de la resistencia a compresión no confinada del material estabilizado con cemento Portland.

Tabla 80.
Valores de Resistencia a la compresión no confinada y coeficientes de aporte estructural

VALORES DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA					
CANTERA	**CANTIDAD DE CEMENTO (%)**	**EDAD (DÍAS)**	**RESISTENCIA (kg/cm²)**	**RESISTENCIA (psi)**	**COEFICIENTE ESTRUCTURAL (1/cm)**
POMA	2%	7	15.5	220	0.13
	3%	7	30.0	427	0.16
	4%	7	46.1	656	0.19
LIWINI	2%	7	18.6	265	0.13
	3%	7	32.5	462	0.16
	4%	7	47.8	680	0.20
CALAC HACA	2%	7	14.9	212	0.13
	3%	7	28.9	411	0.16
	4%	7	44.3	630	0.19
MAZOCRUZ	2%	7	16.0	228	0.13
	3%	7	30.6	435	0.16
	4%	7	49.0	697	0.20

Fuente: Elaboración propia

Los coeficientes de aporte estructural se obtuvieron de manera directa a través del ábaco propuesto en la “Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos – 1993”.

Para el caso de suelos tratados con cemento el parámetro de entrada usado en el ábaco fue la Resistencia a la compresión no confinada promediada de cada juego de briquetas para cada porcentaje de cemento; el valor promedio de resistencia estuvo expresado en unidades inglesas de libras por pulgada cuadrada.

La tabla 81 muestra los coeficientes de aporte estructural obtenidos a partir de la resistencia a la tracción indirecta del material estabilizado con emulsión asfáltica.

Tabla 81.
Valores de Resistencia ITS y coeficientes de aporte estructural

RESUMEN DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA						
CANTERA	CANTIDAD DE RESIDUO ASFÁLTICO (%)	CARGA (Kg-f)		RESISTENCIA (KPa)		COEFICIENTE ESTRUCTURAL (1/cm)
		SECA	HÚMEDA	SECA	HÚMEDA	
POMA	2%	546.2	443.0	232.8	187.9	0.23
LIWINI	2%	671.8	370.6	251.0	138.3	0.24
CALACHACA	2%	620.6	359.0	232.1	134.0	0.23
MAZOCRUZ	2%	708.6	429.5	264.5	160.7	0.24

Fuente: Elaboración propia

A diferencia de los dos escenarios anteriores, el coeficiente de aporte estructural de los suelos tratados con asfalto no se obtuvo de la “Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos - 1993”. Sin embargo, se usó el Manual de Reciclado en Frío para este diseño debido a que los valores de estabilidad modificada son muy elevados y se optó por realizar el ensayo de tracción indirecta con la finalidad de obtener resultados más objetivos. Una vez conocido el valor de los coeficientes de aporte estructural y drenaje, se procedió a realizar una serie de iteraciones hasta lograr satisfacer la condición de igualdad o superioridad del Número Estructural Propuesto.

A continuación, se muestran las tablas de cálculo del Número Estructural Propuesto para los diez sectores del tramo 7 y 8, considerando el espesor de subbase uniforme de 10 centímetros en todos los escenarios y una variedad de espesores en la base que oscilan entre 10 y 30 centímetros.
De igual manera, la capa de rodadura propuesta, al ser un proyecto que exige la ejecución de soluciones básicas será un mortero asfáltico (micropavimento) de 10 milímetros de espesor, por ende, no brinda aporte estructural a la estructura del pavimento, sin embargo, se realizaron distintos controles de calidad a la capa de rodadura puesto que mantiene un factor común con una de las soluciones de estabilización (emulsión) pero a diferencia de esta, el diseño de micropavimento se realizó empleando emulsión asfáltica de rotura controlada (CQS-1HP).

Tabla 82.

Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Integral, Sector 1 – Tramo 7

NÚMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO					
CAPA		**(CENTÍMETROS)**	**(PULGADAS)**	**SN**	
CAPA 1 Micropavimento	a_1	SIN APORTE		SN CAPA 1	0.00
	m_1				
	D_1				
CAPA 2 Base granular integral	a_2	0.05	0.12	SN CAPA 2	1.18
	m_2	1	1		
	D_2	25.0	9.8		
CAPA 3 Subbase granular	a_3	0.05	0.12	SN CAPA 3	0.45
	m_3	0.95	0.95		
	D_3	10.0	3.9		
SN_{PROP} total del pavimento					1.63

Fuente: Elaboración propia

Tabla 83.

Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Cemento, Sector 1–Tramo 7

NÚMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO					
CAPA		**(CENTÍMETROS)**	**(PULGADAS)**	**SN**	
CAPA 1 Micropavimento	a_1	SIN APORTE		SN CAPA 1	0.00
	m_1				
	D_1				
CAPA 2 Base granular estabilizada con cemento Portland	a_2	0.06	0.16	SN CAPA 2	1.20
	m_2	1	1		
	D_2	19.0	7.5		
CAPA 3 Subbase granular	a_3	0.05	0.12	SN CAPA 3	0.45
	m_3	0.95	0.95		
	D_3	10.0	3.9		
SN_{PROP} total del pavimento					1.65

Fuente: Elaboración propia

Tabla 84.

Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Emulsión, Sector 1–Tramo 7

NÚMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO					
CAPA		**(CENTÍMETROS)**	**(PULGADAS)**	**SN**	
CAPA 1 Micropavimento	a_1	SIN APORTE		SN CAPA 1	0.00
	m_1				
	D_1				
CAPA 2 Base granular estabilizada con emulsión asfáltica	a_2	0.09	0.23	SN CAPA 2	1.18
	m_2	1	1		
	D_2	13.0	5.1		
CAPA 3 Subbase granular	a_3	0.05	0.12	SN CAPA 3	0.45
	m_3	0.95	0.95		
	D_3	10.0	3.9		
SN_{PROP} total del pavimento					1.63

Fuente: Elaboración propia

Tabla 85.

Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Integral, Sector 2 – Tramo 7

NÚMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO					
CAPA		**(CENTÍMETROS)**	**(PULGADAS)**	**SN**	
CAPA 1 Micropavimento	a_1	SIN APORTE		SN CAPA 1	0.00
	m_1				
	D_1				
CAPA 2 Base granular integral	a_2	0.05	0.12	SN CAPA 2	0.94
	m_2	1	1		
	D_2	20.0	7.9		
CAPA 3 Subbase granular	a_3	0.05	0.12	SN CAPA 3	0.45
	m_3	0.95	0.95		
	D_3	10.0	3.9		
SN_{PROP} total del pavimento					1.39

Fuente: Elaboración propia

Tabla 86.

Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Cemento, Sector 2–Tramo 7

NÚMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO					
CAPA		**(CENTÍMETROS)**	**(PULGADAS)**	**SN**	
CAPA 1 Micropavimento	a_1	SIN APORTE		SN CAPA 1	0.00
	m_1				
	D_1				
CAPA 2 Base granular estabilizada con cemento Portland	a_2	0.06	0.16	SN CAPA 2	0.94
	m_2	1	1		
	D_2	15.0	5.9		
CAPA 3 Subbase granular	a_3	0.05	0.12	SN CAPA 3	0.45
	m_3	0.95	0.95		
	D_3	10.0	3.9		
SN_{PROP} total del pavimento					1.39

Fuente: Elaboración propia

Tabla 87.

Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Emulsión, Sector 2–Tramo 7

NÚMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO					
CAPA		**(CENTÍMETROS)**	**(PULGADAS)**	**SN**	
CAPA 1 Micropavimento	a_1	SIN APORTE		SN CAPA 1	0.00
	m_1				
	D_1				
CAPA 2 Base granular estabilizada con emulsión asfáltica	a_2	0.09	0.23	SN CAPA 2	1.00
	m_2	1	1		
	D_2	11.0	4.3		
CAPA 3 Subbase granular	a_3	0.05	0.12	SN CAPA 3	0.45
	m_3	0.95	0.95		
	D_3	10.0	3.9		
SN_{PROP} total del pavimento					1.44

Fuente: Elaboración propia

Tabla 88.

Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Integral, Sector 3 – Tramo 7

NÚMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO					
CAPA		**(CENTÍMETROS)**	**(PULGADAS)**	**SN**	
CAPA 1 Micropavimento	a_1	SIN APORTE		SN CAPA 1	0.00
	m_1				
	D_1				
CAPA 2 Base granular integral	a_2	0.05	0.13	SN CAPA 2	0.97
	m_2	1	1		
	D_2	19.0	7.5		
CAPA 3 Subbase granular	a_3	0.05	0.13	SN CAPA 3	0.49
	m_3	0.95	0.95		
	D_3	10.0	3.9		
SN_{PROP} total del pavimento					1.46

Fuente: Elaboración propia

Tabla 89.

Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Cemento, Sector 3–Tramo 7

NÚMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO					
CAPA		**(CENTÍMETROS)**	**(PULGADAS)**	**SN**	
CAPA 1 Micropavimento	a_1	SIN APORTE		SN CAPA 1	0.00
	m_1				
	D_1				
CAPA 2 Base granular estabilizada con cemento Portland	a_2	0.06	0.16	SN CAPA 2	1.01
	m_2	1	1		
	D_2	16.0	6.3		
CAPA 3 Subbase granular	a_3	0.05	0.13	SN CAPA 3	0.49
	m_3	0.95	0.95		
	D_3	10.0	3.9		
SN_{PROP} total del pavimento					1.49

Fuente: Elaboración propia

Tabla 90.

Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Emulsión, Sector 3–Tramo 7

NÚMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO					
CAPA		**(CENTÍMETROS)**	**(PULGADAS)**	**SN**	
CAPA 1 Micropavimento	a_1	SIN APORTE		SN CAPA 1	0.00
	m_1				
	D_1				
CAPA 2 Base granular estabilizada con emulsión asfáltica	a_2	0.09	0.24	SN CAPA 2	1.04
	m_2	1	1		
	D_2	11.0	4.3		
CAPA 3 Subbase granular	a_3	0.05	0.13	SN CAPA 3	0.49
	m_3	0.95	0.95		
	D_3	10.0	3.9		
SN_{PROP} total del pavimento					1.53

Fuente: Elaboración propia

Tabla 91.

Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Integral, Sector 4 – Tramo 7

NÚMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO					
CAPA		**(CENTÍMETROS)**	**(PULGADAS)**	**SN**	
CAPA 1 Micropavimento	a_1	SIN APORTE		SN CAPA 1	0.00
	m_1				
	D_1				
CAPA 2 Base granular integral	a_2	0.05	0.13	SN CAPA 2	1.07
	m_2	1	1		
	D_2	21.0	8.3		
CAPA 3 Subbase granular	a_3	0.05	0.13	SN CAPA 3	0.49
	m_3	0.95	0.95		
	D_3	10.0	3.9		
SN_{PROP} total del pavimento					1.56

Fuente: Elaboración propia

Tabla 92.

Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Cemento, Sector 4–Tramo 7

NÚMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO					
CAPA		**(CENTÍMETROS)**	**(PULGADAS)**	**SN**	
CAPA 1 Micropavimento	a_1	SIN APORTE		SN CAPA 1	0.00
	m_1				
	D_1				
CAPA 2 Base granular estabilizada con cemento Portland	a_2	0.06	0.16	SN CAPA 2	1.07
	m_2	1	1		
	D_2	17.0	6.7		
CAPA 3 Subbase granular	a_3	0.05	0.13	SN CAPA 3	0.49
	m_3	0.95	0.95		
	D_3	10.0	3.9		
SN_{PROP} total del pavimento					1.56

Fuente: Elaboración propia

Tabla 93.

Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Emulsión, Sector 4–Tramo 7

NÚMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO					
CAPA		**(CENTÍMETROS)**	**(PULGADAS)**	**SN**	
CAPA 1 Micropavimento	a_1	SIN APORTE		SN CAPA 1	0.00
	m_1				
	D_1				
CAPA 2 Base granular estabilizada con emulsión asfáltica	a_2	0.09	0.24	SN CAPA 2	1.04
	m_2	1	1		
	D_2	11.0	4.3		
CAPA 3 Subbase granular	a_3	0.05	0.13	SN CAPA 3	0.49
	m_3	0.95	0.95		
	D_3	10.0	3.9		
SN_{PROP} total del pavimento					1.53

Fuente: Elaboración propia

Tabla 94.

Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Integral, Sector 5 – Tramo 7

NÚMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO					
CAPA		**(CENTÍMETROS)**	**(PULGADAS)**	**SN**	
CAPA 1 Micropavimento	a_1	SIN APORTE		SN CAPA 1	0.00
	m_1				
	D_1				
CAPA 2 Base granular integral	a_2	0.05	0.13	SN CAPA 2	0.92
	m_2	1	1		
	D_2	18.0	7.1		
CAPA 3 Subbase granular	a_3	0.05	0.13	SN CAPA 3	0.49
	m_3	0.95	0.95		
	D_3	10.0	3.9		
SN_{PROP} total del pavimento					1.41

Fuente: Elaboración propia

Tabla 95.

Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Cemento, Sector 5–Tramo 7

NÚMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO					
CAPA		**(CENTÍMETROS)**	**(PULGADAS)**	**SN**	
CAPA 1 Micropavimento	a_1	SIN APORTE		SN CAPA 1	0.00
	m_1				
	D_1				
CAPA 2 Base granular estabilizada con cemento Portland	a_2	0.06	0.16	SN CAPA 2	0.94
	m_2	1	1		
	D_2	15.0	5.9		
CAPA 3 Subbase granular	a_3	0.05	0.13	SN CAPA 3	0.49
	m_3	0.95	0.95		
	D_3	10.0	3.9		
SN_{PROP} total del pavimento					1.43

Fuente: Elaboración propia

Tabla 96.

Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Emulsión, Sector 5–Tramo 7

NÚMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO					
CAPA		**(CENTÍMETROS)**	**(PULGADAS)**	**SN**	
CAPA 1 Micropavimento	a_1	SIN APORTE		SN CAPA 1	0.00
	m_1				
	D_1				
CAPA 2 Base granular estabilizada con emulsión asfáltica	a_2	0.09	0.24	SN CAPA 2	0.94
	m_2	1	1		
	D_2	10.0	3.9		
CAPA 3 Subbase granular	a_3	0.05	0.13	SN CAPA 3	0.49
	m_3	0.95	0.95		
	D_3	10.0	3.9		
SN_{PROP} total del pavimento					1.43

Fuente: Elaboración propia

Tabla 97.

Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Integral, Sector 1 – Tramo 8

NÚMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO					
CAPA		**(CENTÍMETROS)**	**(PULGADAS)**	**SN**	
CAPA 1 Micropavimento	a_1	SIN APORTE		SN CAPA 1	0.00
	m_1				
	D_1				
CAPA 2 Base granular integral	a_2	0.05	0.12	SN CAPA 2	1.18
	m_2	1	1		
	D_2	25.0	9.8		
CAPA 3 Subbase granular	a_3	0.05	0.12	SN CAPA 3	0.45
	m_3	0.95	0.95		
	D_3	10.0	3.9		
SN_{PROP} total del pavimento					1.63

Fuente: Elaboración propia

Tabla 98.

Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Cemento, Sector 1–Tramo 8

NÚMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO					
CAPA		**(CENTÍMETROS)**	**(PULGADAS)**	**SN**	
CAPA 1 Micropavimento	a_1	SIN APORTE		SN CAPA 1	0.00
	m_1				
	D_1				
CAPA 2 Base granular estabilizada con cemento Portland	a_2	0.06	0.16	SN CAPA 2	1.20
	m_2	1	1		
	D_2	19.0	7.5		
CAPA 3 Subbase granular	a_3	0.05	0.12	SN CAPA 3	0.45
	m_3	0.95	0.95		
	D_3	10.0	3.9		
SN_{PROP} total del pavimento					1.65

Fuente: Elaboración propia

Tabla 99.

Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Emulsión, Sector 1–Tramo 8

NÚMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO					
CAPA		**(CENTÍMETROS)**	**(PULGADAS)**	**SN**	
CAPA 1 Micropavimento	a_1	SIN APORTE		SN CAPA 1	0.00
	m_1				
	D_1				
CAPA 2 Base granular estabilizada con emulsión asfáltica	a_2	0.09	0.23	SN CAPA 2	1.18
	m_2	1	1		
	D_2	13.0	5.1		
CAPA 3 Subbase granular	a_3	0.05	0.12	SN CAPA 3	0.45
	m_3	0.95	0.95		
	D_3	10.0	3.9		
SN_{PROP} total del pavimento					1.63

Fuente: Elaboración propia

Tabla 100.

Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Integral, Sector 2 – Tramo 8

NÚMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO					
CAPA		**(CENTÍMETROS)**	**(PULGADAS)**	**SN**	
CAPA 1 Micropavimento	a_1	SIN APORTE		SN CAPA 1	0.00
	m_1				
	D_1				
CAPA 2 Base granular integral	a_2	0.05	0.12	SN CAPA 2	1.42
	m_2	1	1		
	D_2	30.0	11.8		
CAPA 3 Subbase granular	a_3	0.05	0.12	SN CAPA 3	0.45
	m_3	0.95	0.95		
	D_3	10.0	3.9		
SN_{PROP} total del pavimento					1.87

Fuente: Elaboración propia

Tabla 101.

Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Cemento, Sector 2–Tramo 8

NÚMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO					
CAPA		**(CENTÍMETROS)**	**(PULGADAS)**	**SN**	
CAPA 1 Micropavimento	a_1	SIN APORTE		SN CAPA 1	0.00
	m_1				
	D_1				
CAPA 2 Base granular estabilizada con cemento Portland	a_2	0.06	0.16	SN CAPA 2	1.45
	m_2	1	1		
	D_2	23.0	9.1		
CAPA 3 Subbase granular	a_3	0.05	0.12	SN CAPA 3	0.45
	m_3	0.95	0.95		
	D_3	10.0	3.9		
SN_{PROP} total del pavimento					1.90

Fuente: Elaboración propia

Tabla 102.

Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Emulsión, Sector 2 – Tramo 8

NÚMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO					
CAPA		**(CENTÍMETROS)**	**(PULGADAS)**	**SN**	
CAPA 1 Micropavimento	a_1	SIN APORTE		SN CAPA 1	0.00
	m_1				
	D_1				
CAPA 2 Base granular estabilizada con emulsión asfáltica	a_2	0.09	0.23	SN CAPA 2	1.45
	m_2	1	1		
	D_2	16.0	6.3		
CAPA 3 Subbase granular	a_3	0.05	0.12	SN CAPA 3	0.45
	m_3	0.95	0.95		
	D_3	10.0	3.9		
SN_{PROP} total del pavimento					1.90

Fuente: Elaboración propia

Tabla 103.

Cálculo del SNPROP – Suelo Integral, Sector 3 – Tramo 8

NÚMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO					
CAPA		**(CENTÍMETROS)**	**(PULGADAS)**	**SN**	
CAPA 1 Micropavimento	a_1	SIN APORTE		SN CAPA 1	0.00
	m_1				
	D_1				
CAPA 2 Base granular integral	a_2	0.05	0.12	SN CAPA 2	1.18
	m_2	1	1		
	D_2	25.0	9.8		
CAPA 3 Subbase granular	a_3	0.05	0.12	SN CAPA 3	0.45
	m_3	0.95	0.95		
	D_3	10.0	3.9		
SN_{PROP} total del pavimento					1.63

Fuente: Elaboración propia

Tabla 104.

Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Cemento, Sector 3–Tramo 8

NÚMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO					
CAPA		**(CENTÍMETROS)**	**(PULGADAS)**	**SN**	
CAPA 1 Micropavimento	a_1	SIN APORTE		SN CAPA 1	0.00
	m_1				
	D_1				
CAPA 2 Base granular estabilizada con cemento Portland	a_2	0.06	0.16	SN CAPA 2	1.20
	m_2	1	1		
	D_2	19.0	7.5		
CAPA 3 Subbase granular	a_3	0.05	0.12	SN CAPA 3	0.45
	m_3	0.95	0.95		
	D_3	10.0	3.9		
SN_{PROP} total del pavimento					1.65

Fuente: Elaboración propia

Tabla 105.

Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Emulsión, Sector 3–Tramo 8

NÚMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO					
CAPA		**(CENTÍMETROS)**	**(PULGADAS)**	**SN**	
CAPA 1 Micropavimento	a_1	SIN APORTE		SN CAPA 1	0.00
	m_1				
	D_1				
CAPA 2 Base granular estabilizada con emulsión asfáltica	a_2	0.09	0.23	SN CAPA 2	1.18
	m_2	1	1		
	D_2	13.0	5.1		
CAPA 3 Subbase granular	a_3	0.05	0.12	SN CAPA 3	0.45
	m_3	0.95	0.95		
	D_3	10.0	3.9		
SN_{PROP} total del pavimento					1.63

Fuente: Elaboración propia

Tabla 106.

Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Integral, Sector 4 – Tramo 8

NÚMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO					
CAPA		**(CENTÍMETROS)**	**(PULGADAS)**	**SN**	
CAPA 1 Micropavimento	a_1	SIN APORTE		SN CAPA 1	0.00
	m_1				
	D_1				
CAPA 2 Base granular integral	a_2	0.05	0.13	SN CAPA 2	1.43
	m_2	1	1		
	D_2	28.0	11.0		
CAPA 3 Subbase granular	a_3	0.05	0.13	SN CAPA 3	0.49
	m_3	0.95	0.95		
	D_3	10.0	3.9		
SN_{PROP} total del pavimento					1.92

Fuente: Elaboración propia

Tabla 107.

Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Cemento, Sector 4 – Tramo 8

NÚMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO					
CAPA		**(CENTÍMETROS)**	**(PULGADAS)**	**SN**	
CAPA 1 Micropavimento	a_1	SIN APORTE		SN CAPA 1	0.00
	m_1				
	D_1				
CAPA 2 Base granular estabilizada con cemento Portland	a_2	0.06	0.16	SN CAPA 2	1.45
	m_2	1	1		
	D_2	23.0	9.1		
CAPA 3 Subbase granular	a_3	0.05	0.13	SN CAPA 3	0.49
	m_3	0.95	0.95		
	D_3	10.0	3.9		
SN_{PROP} total del pavimento					1.94

Fuente: Elaboración propia

Tabla 108.

Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Emulsión, Sector 4–Tramo 8

NÚMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO					
CAPA		**(CENTÍMETROS)**	**(PULGADAS)**	**SN**	
CAPA 1 Micropavimento	a_1	SIN APORTE		SN CAPA 1	0.00
	m_1				
	D_1				
CAPA 2 Base granular estabilizada con emulsión asfáltica	a_2	0.09	0.24	SN CAPA 2	1.42
	m_2	1	1		
	D_2	15.0	5.9		
CAPA 3 Subbase granular	a_3	0.05	0.13	SN CAPA 3	0.49
	m_3	0.95	0.95		
	D_3	10.0	3.9		
SN_{PROP} total del pavimento					1.90

Fuente: Elaboración propia

Tabla 109.

Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Integral, Sector 5 – Tramo 8

NÚMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO					
CAPA		**(CENTÍMETROS)**	**(PULGADAS)**	**SN**	
CAPA 1 Micropavimento	a_1	SIN APORTE		SN CAPA 1	0.00
	m_1				
	D_1				
CAPA 2 Base granular integral	a_2	0.05	0.13	SN CAPA 2	1.07
	m_2	1	1		
	D_2	21.0	8.3		
CAPA 3 Subbase granular	a_3	0.05	0.13	SN CAPA 3	0.49
	m_3	0.95	0.95		
	D_3	10.0	3.9		
SN_{PROP} total del pavimento					1.56

Fuente: Elaboración propia

Tabla 110.

Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Cemento, Sector 5–Tramo 8

NÚMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO					
CAPA		**(CENTÍMETROS)**	**(PULGADAS)**	**SN**	
CAPA 1 Micropavimento	a_1	SIN APORTE		SN CAPA 1	0.00
	m_1				
	D_1				
CAPA 2 Base granular estabilizada con cemento Portland	a_2	0.06	0.16	SN CAPA 2	1.07
	m_2	1	1		
	D_2	17.0	6.7		
CAPA 3 Subbase granular	a_3	0.05	0.13	SN CAPA 3	0.49
	m_3	0.95	0.95		
	D_3	10.0	3.9		
SN_{PROP} total del pavimento					1.56

Fuente: Elaboración propia

Tabla 111.

Cálculo del SN_{PROP} – Suelo Emulsión, Sector 5–Tramo 8

NÚMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO					
CAPA		**(CENTÍMETROS)**	**(PULGADAS)**	**SN**	
CAPA 1 Micropavimento	a_1	SIN APORTE		SN CAPA 1	0.00
	m_1				
	D_1				
CAPA 2 Base granular estabilizada con emulsión asfáltica	a_2	0.09	0.24	SN CAPA 2	1.13
	m_2	1	1		
	D_2	12.0	4.7		
CAPA 3 Subbase granular	a_3	0.05	0.13	SN CAPA 3	0.49
	m_3	0.95	0.95		
	D_3	10.0	3.9		
SN_{PROP} total del pavimento					1.62

Fuente: Elaboración propia

Evaluación técnica.

Concluido el proceso de diseño se procedió a realizar la evaluación técnica, la cual se rigió bajo los resultados obtenidos y los Términos de Referencia de la muestra en estudio brindados por Provias Nacional.

De la mano con el Consorcio Conservación Vial Santa Rosa, se ejecutó el tramo de prueba para evaluar los factores y agentes ajenos al diseño que no fueron previstos durante la fase teórica; adicionalmente, se analizó la factibilidad del diseño puesto que las condiciones geográficas y climáticas fueron adversas (temperatura del ambiente que oscilaba entre los 15°C hasta los 20°C bajo cero, zonas sobre los 4900 msnm, geometría angosta del terreno, entre otros).

La presente evaluación técnica se enfocó en tres aspectos fundamentales los cuales fueron analizados a lo largo del tramo de prueba realizado y posteriormente en la longitud total de los tramos 7 y 8; iniciando por la factibilidad de diseño, y finalizando con la evaluación estructural y funcional de la estructura del pavimento (enfatizando el análisis en la capa de base granular; la cual tuvo uno solución típica y otras dos consideradas soluciones con innovación tecnológica en el proceso, materiales , metodología y equipos de medición).

Se logró el objetivo de verificar el estado y desempeño de los equipos, proceso definitivo de preparación de las mezclas y materiales, transporte, colocación y compactación de los mismos.

Factibilidad de diseño.

Antes de la intervención en los tramos 7 y 8, se evidenció daños superficiales (baches, hundimientos, corrugaciones, surcos, erosión, entre otros), drenaje inadecuado y zonas con depresiones extremas. Fue por tal motivo que los Términos de Referencia de la muestra exigieron realizar una capa que mitigue todos estos problemas; una recarga estructural de suelo granular a lo largo de los dos tramos con un espesor uniforme de 10 centímetros. Posteriormente está capa se convirtió parte de la nueva estructura del pavimento propuesto en la presente investigación, es por tal motivo que los diseños contemplan la no alteración del espesor de la capa de subbase granular (llamada “Transitabilidad” durante la etapa de Conservación Rutinaria antes de la Conservación Periódica).

La factibilidad de diseño teórico de espesores se basa en invariantes originales formuladas a partir de ensayos viales desarrollados por la AASHTO en pistas de prueba, repitiendo las cargas controladas durante un determinado lapso de tiempo y verificando la serviciabilidad; es por tal motivo que es el método más usado considerando parámetros de confiabilidad.
La factibilidad del diseño de mezclas por el contrario estuvo sujeto a una gran cantidad de factores que afectan directa e indirectamente la calidad y la eficacia del producto terminado. En ambos casos (diseño de mezclas usando cemento Portland y emulsión asfáltica) el factor más crítico estuvo relacionado con las temperaturas del medio ambiente, generando fallas por contracción y dilatación, curado bajo condiciones controladas, empleo de material poco susceptible al agua (limos y arcillas), rendimiento de los equipos (altitud geográfica).



Figura 100. Estado inicial y final del tramo 7
Fuente: Elaboración propia



Figura 101. Estado inicial y final del tramo 8
Fuente: Elaboración propia

A lo largo del tramo de prueba realizado sólo se ejecutaron las dos soluciones consideradas como innovación tecnológica, puesto que la variabilidad e incertidumbre del proceso constructivo de colocación de una base granular típica fue considerada nula.
Existieron dos procesos constructivos muy diferenciados para obtener una base granular estabilizada terminada (uno más efectivo que el otro); no obstante, se realizaron ambos con el único fin de aumentar el avance.
El primer proceso constructivo y más adecuado fue mediante la producción de material estabilizado en la planta mezcladora KMA 220 ubicada en la cantera explotada, la cual realizó el proceso de homogenización del agregado con el agente estabilizador, para posteriormente ser cargados a volquetes de 15 m^3 y descargados a una esparcidora de suelos.

El segundo proceso, por el contrario, se realizó in-situ mediante el tendido del material selecto de cantera y un ciclo de compactado para evitar la pérdida de humedad. Seguidamente ingresó un tren de reciclado compuesto por la recicladora móvil WR200, camión cisterna de agua, camión cisterna de emulsión y una motoniveladora. La recicladora realizó el proceso de mezclado del suelo tendido en la vía con la emulsión asfáltica propuesta a través de tuberías de inyección acopladas al camión cisterna y en el tramo de estabilización con cemento; las bolsas de cemento fueron extendidas previamente sobre la superficie a reciclar.
Debido al ancho de reciclado (máximo 2.40 metros) el proceso se realizó en dos o tres tiempos para cubrir el ancho total de la calzada. Finalmente, la motoniveladora realizó el perfilado de la superficie.
El proceso de compactado en ambos casos fue el mismo, haciendo uso de rodillos lisos y neumáticos.
Ambos procesos constructivos en el tramo de prueba se ejecutaron adecuadamente brindando resultados positivos; los factores no contemplados durante la fase teórica fueron:

- Mantener la temperatura de los agregados sobre los 5°C.
- Mantener la temperatura de la emulsión catiónica de rotura lenta entre 15 a 35°C.
- Realizar el curado de la superficie constantemente para prevenir el fisuramiento.
- Controlar la dosificación de agente estabilizador en la mezcla para evitar variaciones en el diseño.

El control de calidad se realizó adecuadamente, controlando mediante ensayos de granulometría, contenido de asfalto residual, Marshall, compresión no confinada, densidad en campo y espesores

La tabla 112 muestra el resumen de diseños (espesores y Números Estructurales) realizados con las distintas soluciones propuestas para cada sector y cantera propuesta.

Tabla 112.

Resumen de diseños AASHTO 1993 del tramo 7 y 8

RESUMEN DE DISEÑO DE PAVIMENTOS (AAHTO 1993)												
TRAMO	**CANTERA**	**SECTOR**	**SUBBASE**	**BASE INTEGRAL**	**SN_{PROP}**	**SUBBASE**	**BASE SUELO CEMENTO**	**SN_{PROP}**	**SUBBASE**	**BASE SUELO EMULSIÓN**	**SN_{PROP}**	**SN_{REQ}**
			ESPESOR (CM)	**ESPESOR (CM)**		**ESPESOR (CM)**	**ESPESOR (CM)**		**ESPESOR (CM)**	**ESPESOR (CM)**		
TRAMO 7 TARATA - CAPAZO	POMA KM.: 135+500	S1-T7	10.0	25.0	1.63	10.0	19.0	1.65	10.0	13.0	1.63	1.60
		S2-T7	10.0	20.0	1.39	10.0	15.0	1.39	10.0	11.0	1.44	1.37
	LIWINI KM.: 149+350	S3-T7	10.0	19.0	1.46	10.0	16.0	1.49	10.0	11.0	1.53	1.44
		S4-T7	10.0	21.0	1.56	10.0	17.0	1.56	10.0	11.0	1.53	1.52
		S5-T7	10.0	18.0	1.39	10.0	15.0	1.43	10.0	10.0	1.43	1.39
TRAMO 8 CAPAZO - MAZOCRUZ	CALACHACA KM.: 199+160	S1-T8	10.0	25.0	1.63	10.0	19.0	1.65	10.0	13.0	1.63	1.60
		S2-T8	10.0	30.0	1.87	10.0	23.0	1.90	10.0	16.0	1.90	1.86
		S3-T8	10.0	25.0	1.63	10.0	19.0	1.65	10.0	13.0	1.63	1.60
	MAZOCRUZ KM.: 225+650	S4-T8	10.0	28.0	1.92	10.0	23.0	1.94	10.0	15.0	1.90	1.89
		S5-T8	10.0	21.0	1.56	10.0	17.0	1.56	10.0	12.0	1.62	1.54

Fuente: Elaboración propia

Tramo de prueba.

El tramo de prueba se realizó adecuadamente a nivel de subbase granular y base estabilizada con cemento Portland y emulsión asfáltica, los resultados obtenidos instrumentales se presentan posteriormente en las subsecciones “Evaluación estructural” y “Evaluación funcional”, no obstante, se realizó una evaluación visual que fue parte de la decisión para definir el tipo de solución a ejecutar.

Las siguientes figuras muestran las condiciones de la zona y el proceso constructivo realizado, teniendo en cuenta las exigencias establecidas en el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013”.



Figura 102. Condiciones climáticas de la zona
Fuente: Elaboración propia



Figura 103. Conformación de subbase granular
Fuente: Elaboración propia



Figura 104. Esparcido de cemento Portland
Fuente: Elaboración propia



Figura 105. Reciclado de base estabilizada
Fuente: Elaboración propia



Figura 106. Colocación de base estabilizada
Fuente: Elaboración propia

Evaluación estructural.

Una vez ejecutado el tramo de prueba con resultados positivos, se procedió a implementar el diseño a lo largo los tramos 7 y 8, aplicando las dosificaciones de agua, cemento y emulsión asfáltica previamente definidas para los 10 sectores determinados.
La evaluación estructural se dividió en tres criterios que se verificaron durante toda la etapa de ejecución, ya que estos están relacionados directamente con el Módulo Resiliente de las capas de la estructura y los valores de Número Estructural Propuesto.

Grado de compactación.

La medición del grado de compactación se realizó una vez conocido el valor de la Densidad Seca en campo y la Máxima Densidad Seca; la relación entre estos dos valores expresado en porcentaje indica el grado obtenido en campo.

La presente investigación consideró un grado de compactación mínimo admisible de 98%, debido a que este es un valor intermedio entre los valores mínimos admisibles típicos de subrasante y base granular triturada (95% y 100% respectivamente) establecidos en el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013”; el valor fue elegido con la finalidad de obtener una exigencia que se adecue a la calidad del material de base granular no triturada.

La medición de la Densidad en campo se realizó inicialmente mediante el Método del Cono de Arena, el cual provee valores precisos comparados con los obtenidos en el Método del Densímetro Nuclear, la debilidad del ensayo radica en el tiempo de ejecución ya que realizar una prueba tarda 30 minutos, mientras que realizar la prueba con el Densímetro Nuclear tarda de 5 minutos aproximadamente.

Por tal motivo se realizó un artificio expresado mediante una ecuación lineal que correlaciona las densidades obtenidas por cada método; por ende, sólo bastó aplicar la fórmula a los resultados obtenidos mediante el Densímetro Nuclear.

La tabla 113 muestra los valores de cálculo para obtener la ecuación y línea de tendencia.

Tabla 113.

Grado de compactación Densímetro vs. Cono de Arena

Nº ENSAYO	GRADO DE COMPACTACIÓN (%)		ENSAYO	CAPA	LADO
	DENSÍMETRO	CONO	PROG. (Km)		
1	99.2	98.5	Tramo de prueba	BEAR	Izq.
2	99.7	98.9	Tramo de prueba	BEAR	Der.
3	100.0	98.9	Tramo de prueba	BEAR	Eje
4	100.6	99.5	Tramo de prueba	BEAR	Der.
5	99.7	98.6	Tramo de prueba	BEAR	Eje
6	99.4	98.8	Tramo de prueba	BEAR	Izq.
7	99.9	99.1	Tramo de prueba	BEAR	Der.
8	99.7	99.0	Tramo de prueba	BEAR	Eje
9	99.2	98.5	Tramo de prueba	BEAR	Izq.
10	100.2	99.3	Tramo de prueba	BEAR	Eje
11	99.5	98.7	Tramo de prueba	BEAR	Der.
12	99.7	99.0	Tramo de prueba	BEAR	Eje
13	100.6	99.6	Tramo de prueba	BEAR	Izq.
14	99.5	98.6	Tramo de prueba	BEAR	Eje
15	99.9	98.9	Tramo de prueba	BEAR	Der.
16	100.2	99.2	Tramo de prueba	BEAR	Eje
17	100.5	99.8	Tramo de prueba	BEAR	Izq.
18	99.8	99.0	Tramo de prueba	BEAR	Eje
19	99.9	98.9	Tramo de prueba	BEAR	Der.
20	100.0	98.6	Tramo de prueba	BEAR	Eje
21	100.1	99.5	Tramo de prueba	BEAR	Izq.
22	99.9	99.1	Tramo de prueba	BEAR	Eje
23	100.1	99.0	Tramo de prueba	BEAR	Der.
24	99.5	98.8	Tramo de prueba	BEAR	Eje
25	100.4	99.6	Tramo de prueba	BEAR	Izq.
26	100.8	99.6	Tramo de prueba	BEAR	Eje
27	99.7	98.9	Tramo de prueba	BEAR	Der.
28	100.1	99.0	Tramo de prueba	BEAR	Eje
29	100.3	99.4	Tramo de prueba	BEAR	Izq.
30	99.5	98.7	Tramo de prueba	BEAR	Eje

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo presentado en la tabla 113, la figura 107 muestra la correlación obtenida aplicada durante la colocación de los materiales granulares.

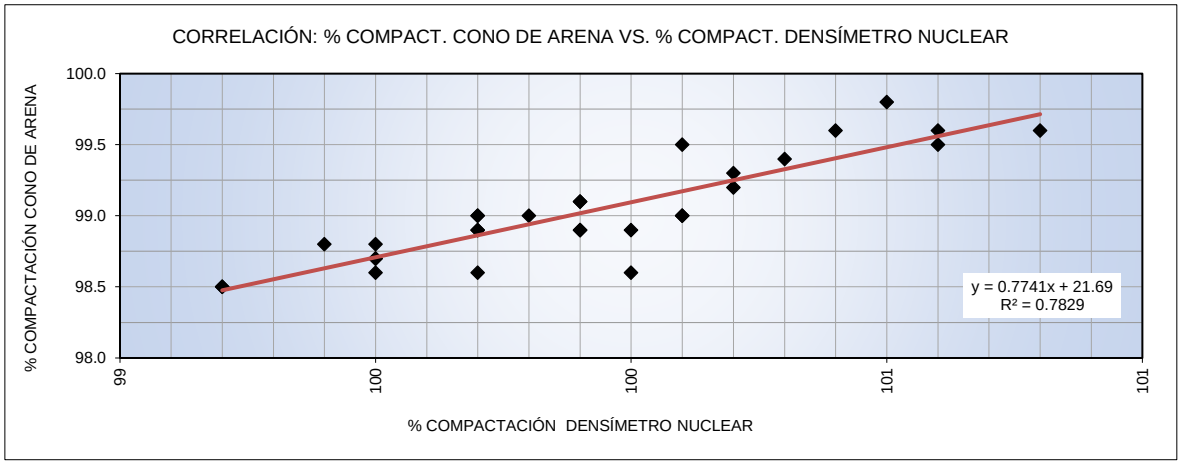


Figura 107. Correlación Densímetro Nuclear vs. Cono de Arena
Fuente: Elaboración propia

*O*btenida la ecuación de correlación o corrección "$y = 0.7741x + 21.69$", se procedió a realizar las mediciones de densidad cada 50 metros y posteriormente corregirlas para obtener el grado de compactación en los tramos intervenidos. Los resultados obtenidos superan el valor mínimo admisible

La figura 108 muestra el ensayo de determinación de la densidad in-situ mediante el Cono de Arena.



Figura 108. Densidad In-situ mediante el Cono de Arena
Fuente: Elaboración propia.

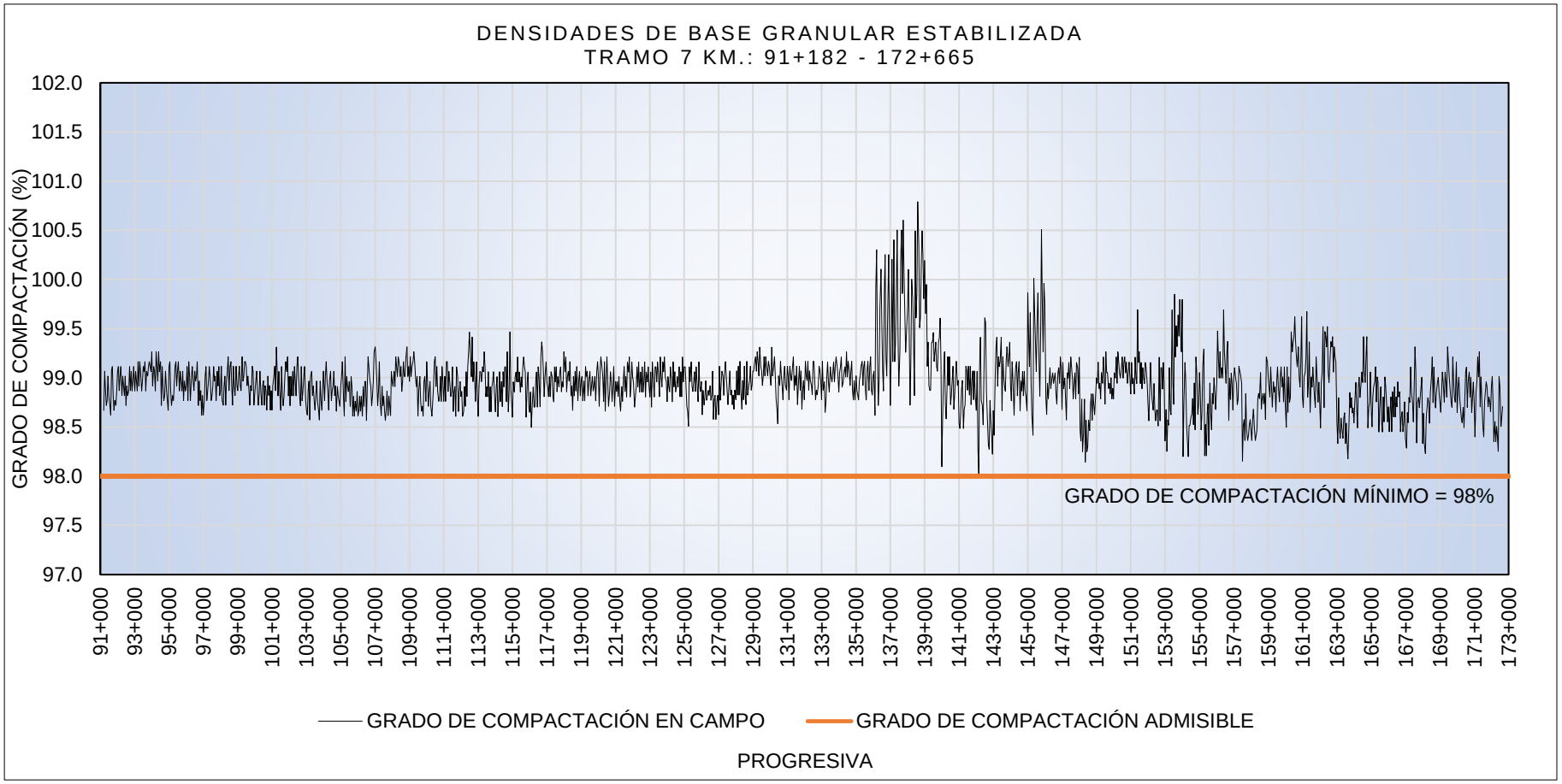


Figura 109. Grado de compactación de la base estabilizada del tramo 7
Fuente: Elaboración propia

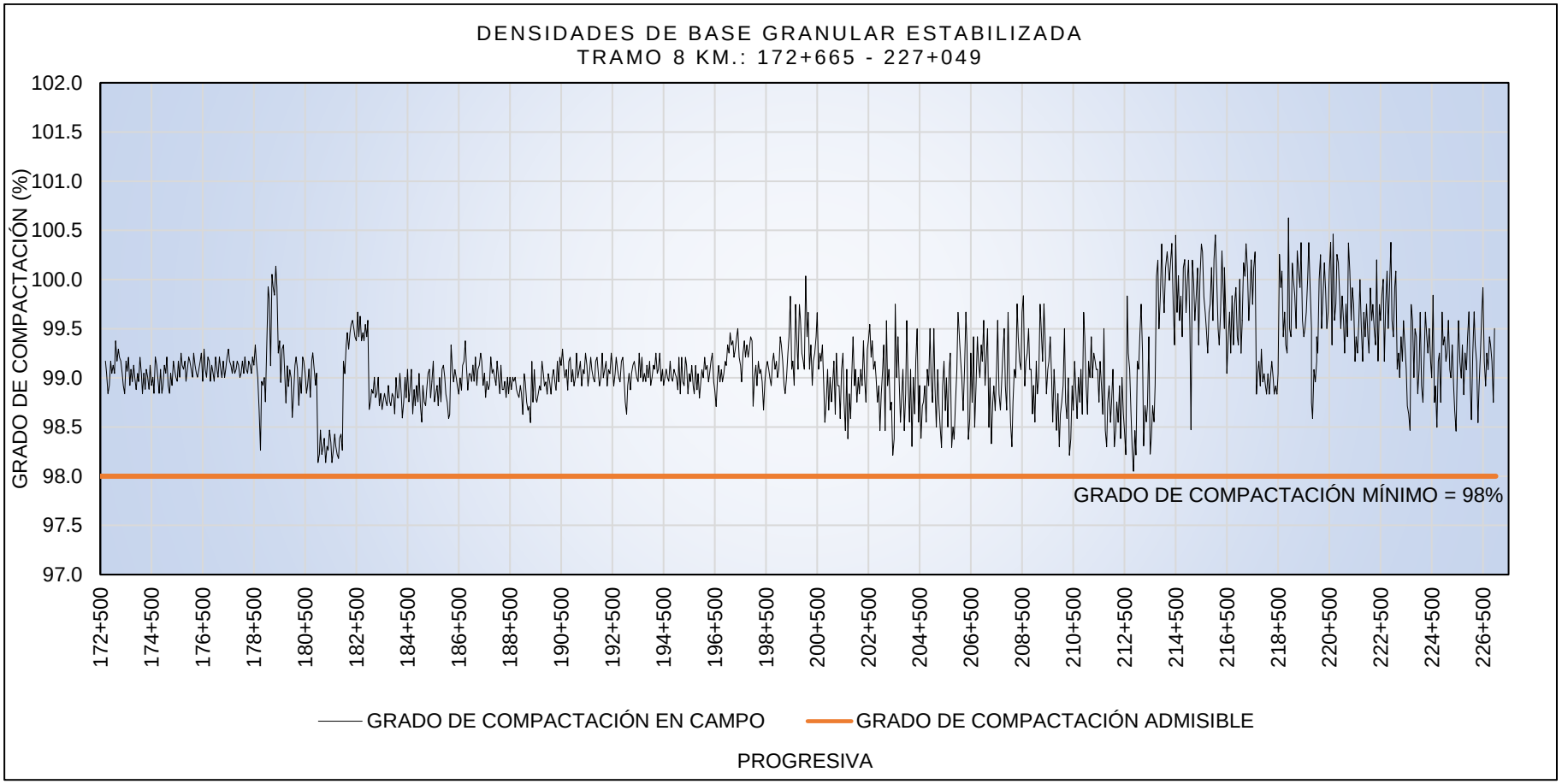


Figura 110. Grado de compactación de la base estabilizada del tramo 8
Fuente: Elaboración propia



Figura 111. Obtención de la densidad de la subbase granular (Método nuclear)
Fuente: Elaboración propia



Figura 112. Obtención de la densidad de la base estabilizada (Método nuclear)
Fuente: Elaboración propia

Deflectometría.

La evaluación estructural por medio de las deflexiones generadas en la superficie del pavimento se realizó por medio del deflectómetro conocido como “Viga Benkelman”, el cual funciona por el principio de la palanca.

El uso de este deflectómetro es muy común debido a su practicidad, costo y los resultados objetivos que se obtienen.

Las cargas dinámicas simuladas mediante este ensayo permitieron realizar una aproximación del efecto de las cargas viales. Los resultados se midieron a través de la deformación y radios de curvatura de la estructura

Fue necesario el uso de un volquete con un peso de 8.2 toneladas en el eje posterior distribuido equitativamente en las ruedas duales cuya presión de inflado varía entre 75 a 85 psi.

Se efectuaron mediciones a lo largo de los tramos 7 y 8, en ambos lados de la calzada y de manera alternada cada 10 metros. Aquellas zonas que superaron el valor admisible máximo de 0.95 milímetros procedieron a ser escarificadas y realizar nuevamente el proceso de conformación.

Las figuras 113 y 114 muestran los valores de deflexión obtenidos durante la intervención; de igual manera, las figuras 115 y 116 muestran la medición de las deflexiones mediante el uso de la viga Benkelman.

Además, la figura 117 muestra el terreno escarificado debido a que las deflexiones admisibles máximas fueron superadas y las densidades mínimas no se lograron alcanzar.

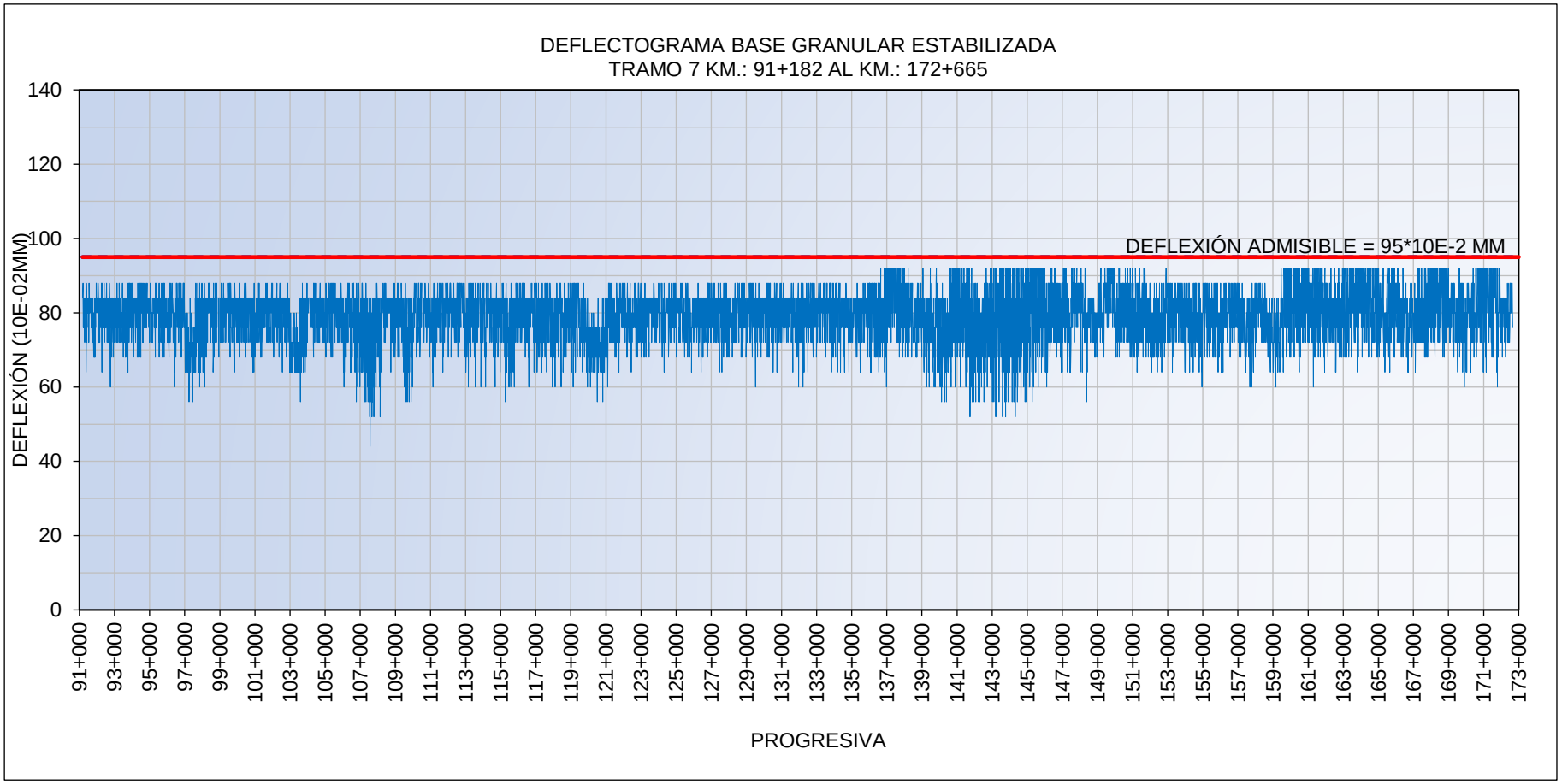


Figura 113. Deflectograma de la base estabilizada del tramo 7
Fuente: Elaboración propia

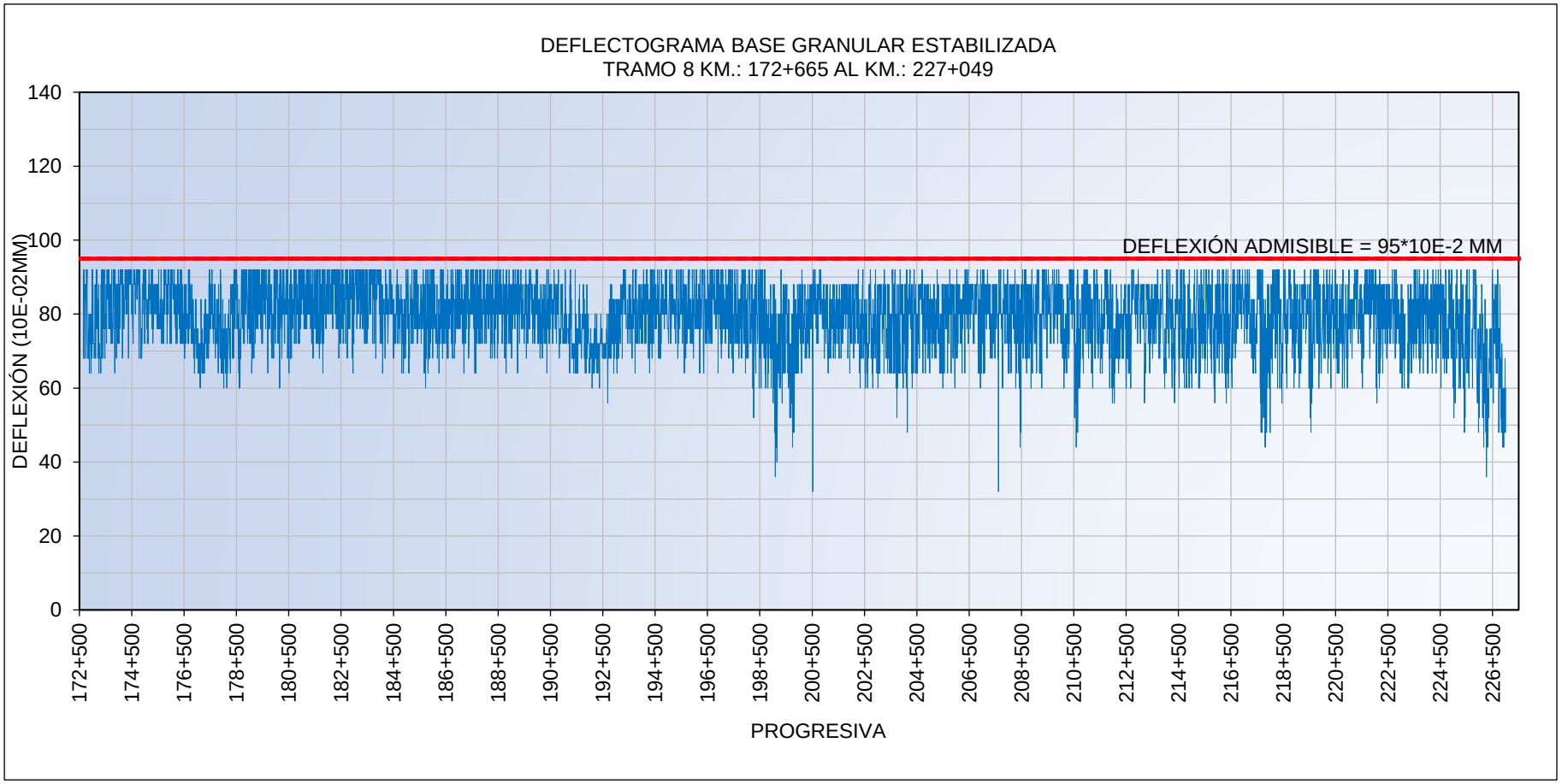


Figura 114. Deflectograma de la base estabilizada del tramo 8
Fuente: Elaboración propia



Figura 115. Deflectometría en la subbase granular
Fuente: Elaboración propia



Figura 116. Deflectometría en la base estabilizada
Fuente: Elaboración propia



Figura 117. Escarificado de base estabilizada
Fuente: Elaboración propia

Espesores.

A pesar de que la medición de espesores brinde una falsa sensación de una actividad irrelevante, esta verificación está comprometida directamente con la capacidad portante de la estructura del pavimento, ya que la fórmula del Número Estructural Propuesto la combina junto con los coeficientes de drenaje y aporte estructural; es decir, un espesor menor de la capa terminada provee un SN_{PROP} menor

Por tal motivo, se realizaron las mediciones y verificaciones en campo, en la extensión total del tramo de prueba y posteriormente en la colocación de base granular estabilizada en los tramos 7 y 8.

Las figuras 118 y 119 muestran los espesores ejecutados en los 10 sectores homogéneos. De igual manera, las figuras 120, 121 y 122 muestran la medición de espesores en las capas de subbase granular, base estabilizada y micropavimento respectivamente.

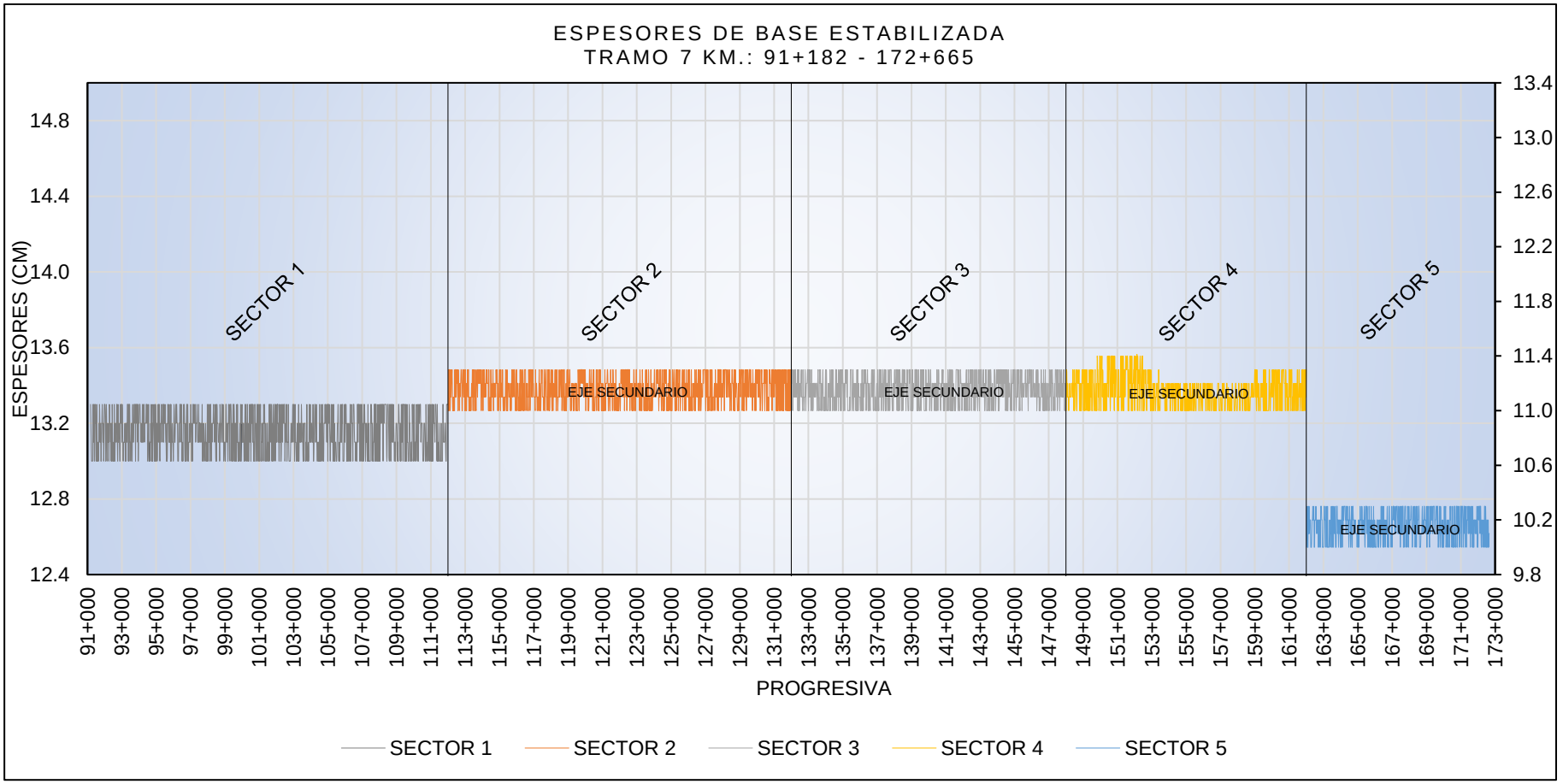


Figura 118. Espesores de la base estabilizada del tramo 7
Fuente: Elaboración propia

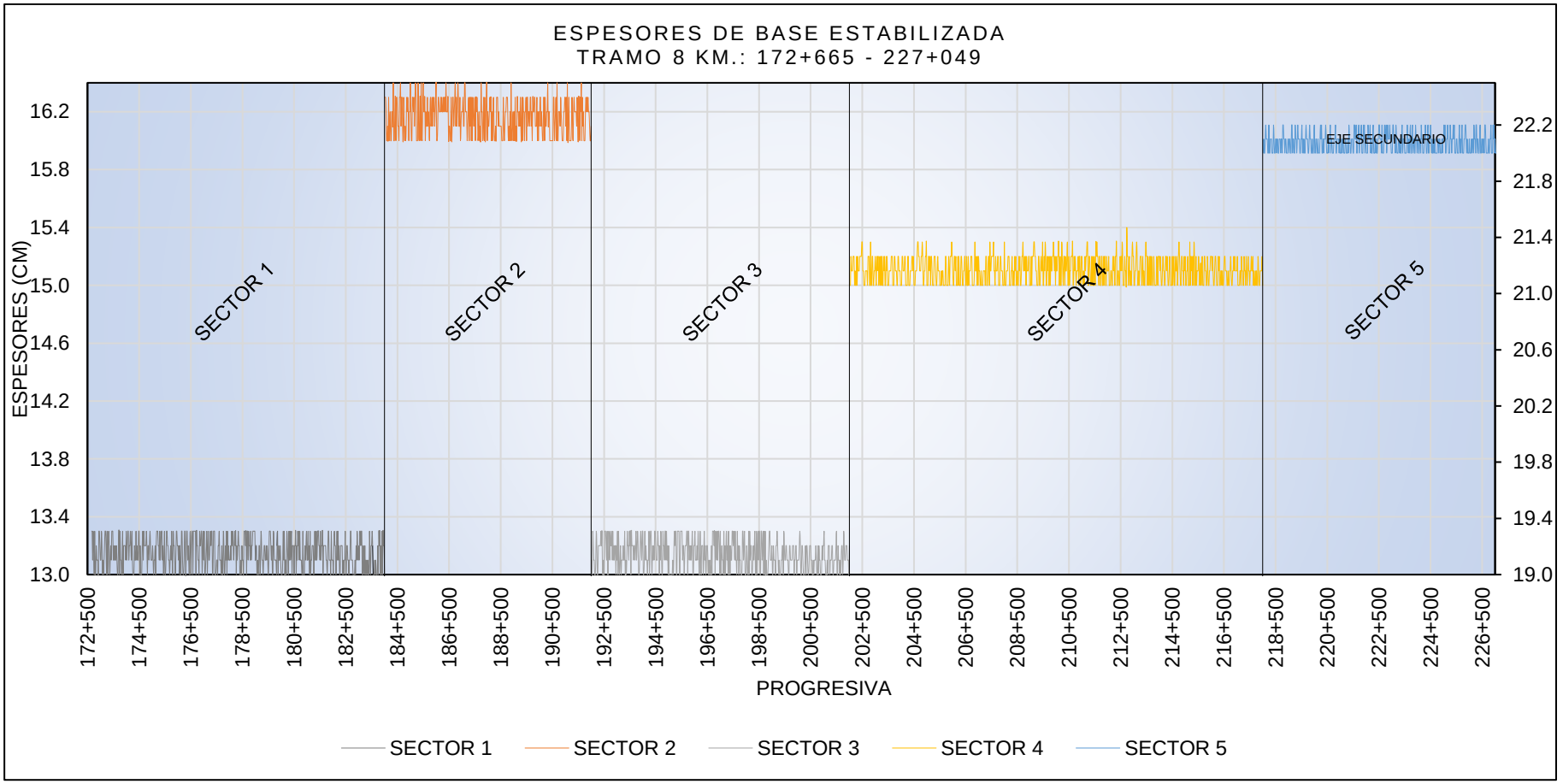


Figura 119. Espesores de la base estabilizada del tramo 8
Fuente: Elaboración propia



Figura 120. Medición de espesor de subbase granular
Fuente: Elaboración propia



Figura 121. Medición de espesor de base estabilizada
Fuente: Elaboración propia



Figura 122. Medición de espesor de micropavimento
Fuente: Elaboración propia

Evaluación funcional.

Las propiedades funcionales o superficiales de la estructura del pavimento están relacionadas estrechamente con los usuarios que utilizan la vía, puesto que estos perciben tres variables: comodidad, seguridad y economía.

Las principales propiedades superficiales se califican y cuantifican a través de:

- Regularidad superficial
- Costo del usuario
- Resistencia al deslizamiento
- Impacto ambiental

Para efectos de la presente investigación, se evaluó únicamente la regularidad a nivel de base estabilizada, debido a que las soluciones se enfocan sobre esta capa estructural puntualmente.

IRI.

La determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI) relacionado a la comodidad, tiene como fundamento evaluar la distribución de las desviaciones de la superficie de la capa del pavimento respecto a una cuerda promedio.
Los valores de IRI se expresan generalmente en m/km o mm/m, donde la escala varía entre 0 y 12 m/km; siendo 0 el valor de IRI de una superficie en perfectas condiciones de uniformidad y 12 una superficie intransitable.

La presente investigación realizó la medición de la regularidad mediante tres equipos distintos que logran los mismos resultados con ciertas variaciones de precisión que se ven compensadas por el costo y el rendimiento.
Los equipos usados fueron:

- MERLIN, costo bajo y a bajo rendimiento (Clase IV)
- Roughometer III, costo regular y de alto rendimiento (Clase III)
- Perfilómetro láser, costo alto y de alto rendimiento (Clase I)

Las figuras 123 y 124 muestran los resultados obtenidos durante la medición del IRI. Asimismo, las figuras 125, 126 y 127 muestran los equipos para medir IRI mencionados anteriormente

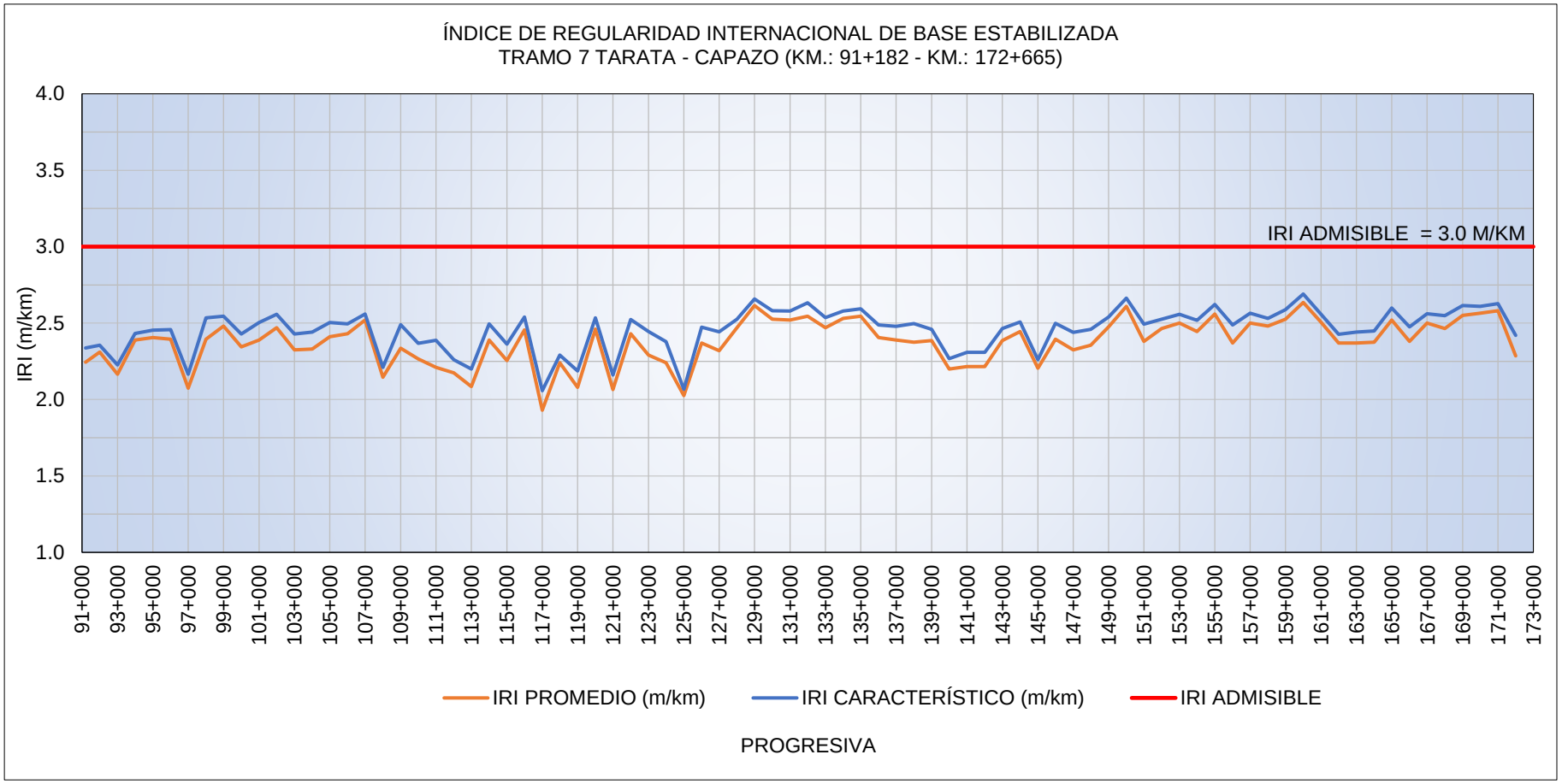


Figura 123. IRI de la base estabilizada del tramo 7
Fuente: Elaboración propia

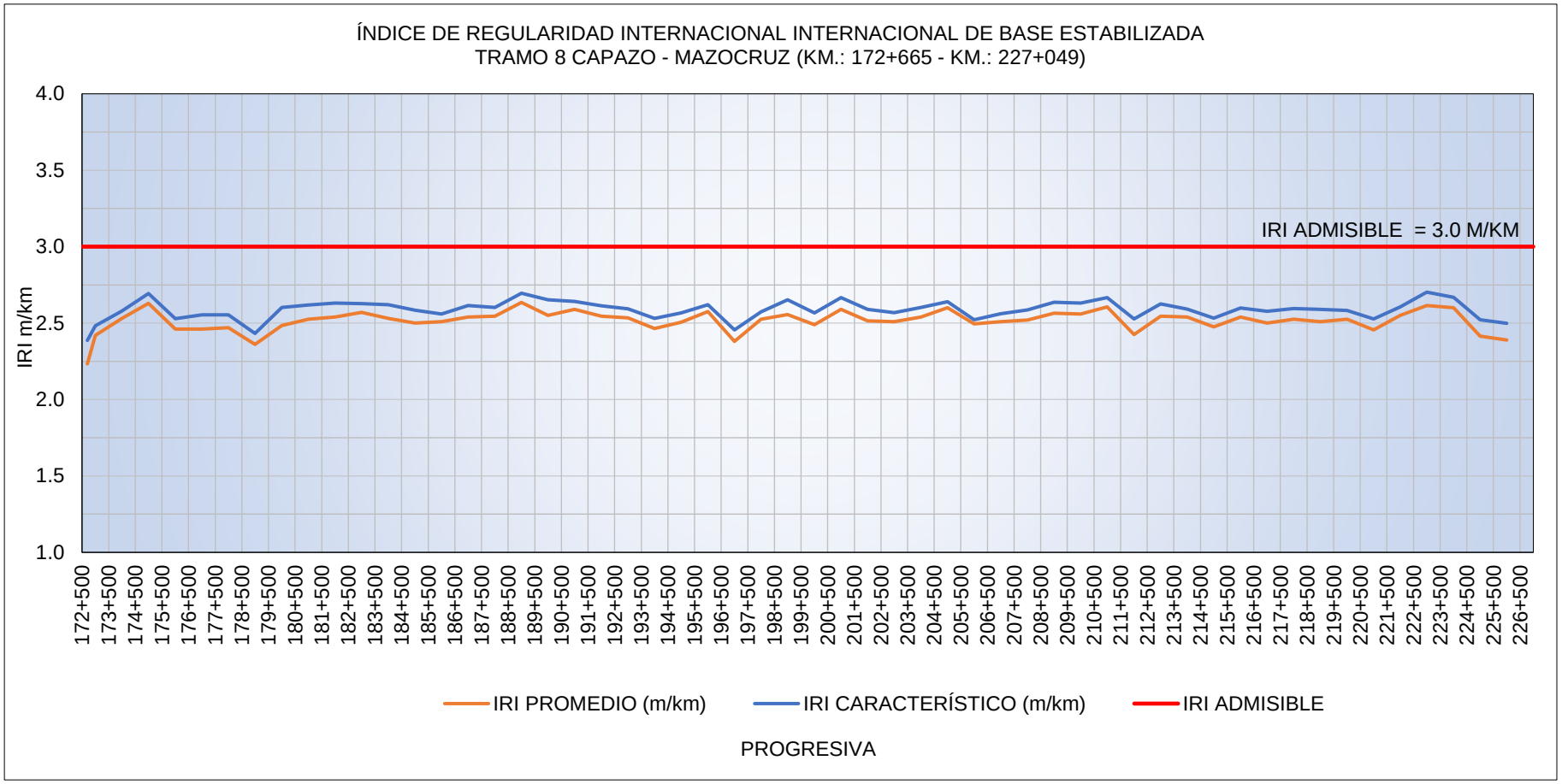


Figura 124. IRI de la base estabilizada del tramo 8
Fuente: Elaboración propia

Las figuras 125, 126 y 127 muestran los tres tipos de equipos usados durante el proceso de verificación de la regularidad superficial. Finalmente se optó por usar únicamente el equipo Roughometer, debido a su sencillez a la hora de recolectar datos, precisión aceptable y el alto rendimiento del equipo.



Figura 125. Medición del IRI con MERLIN (Clase IV)
Fuente: Elaboración propia



Figura 126. Medición del IRI con Roughometer (Clase III)
Fuente: Elaboración propia



Figura 127. Medición del IRI con Perfilómetro Láser (Clase I)
Fuente: Elaboración propia

Evaluación económica.

Para concluir satisfactoriamente el desarrollo de la investigación, se desarrolló la evaluación económica comparando los costos incurridos en la ejecución de los tramos 7 y 8, considerando adicionalmente la alternativa de colocar una base no tratada (proceso más típico).

En este sentido, se efectuó el análisis de costos unitarios vigentes por metro cuadrado para las partidas de imprimación y micropavimento; y análogamente por metro cúbico para las partidas de subbase granular, base granular típica (no tratada) y bases granulares estabilizadas; unidades establecidas en el “Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013” para la medición y valorización.

Se consideraron los costos de partidas cuyas soluciones son invariantes, tales como: subbase granular, imprimación y micropavimento; con la finalidad de presentar los costos de las actividades que forman parte de la construcción de la estructura del pavimento.

Las tablas 114, 115, 116, 117, 118 y 119 muestran el análisis de costos unitarios por partidas. Cabe mencionar que la tabla 114 y 115 poseen los mismos recursos y el mismo costo, sin embargo, se detallan por separado ya que al momento de realizar un presupuesto o una valorización es necesario identificar la partida por el nombre de la actividad en cuestión.

Tabla 114.

Análisis de costos unitarios - Subbase de material granular

Partida	**01.01 SUBBASE DE MATERIAL GRANULAR**					
Rendimiento m³/día		784.0000			**Costo unitario directo por m³**	76.13
		Jornada	10.00			
Código	**Descripción Recurso**	**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Costo S/.**	**Parcial S/.**
	Mano de Obra					
0147010008	JEFE DE GRUPO CIVIL	hh	1.00	0.0128	30.83	0.39
0147010009	OFICIAL CIVIL	hh	1.00	0.0128	22.78	0.29
0147010010	AYUDANTE CIVIL	hh	3.00	0.0383	21.12	0.81
0147010011	VIGÍA	hh	2.00	0.0255	21.12	0.54
						2.03
	Materiales					
0205030077	MATERIAL GRANULAR DE APORTE	m³		1.0000	35.49	35.49
						35.49
	Equipos					
0349120014	RODILLO VIB. LISO 12 TON 130 - 150 HP	hm	1.25	0.0159	152.83	2.43
0349120018	MOTONIVELADORA DE 160-185 HP	hm	1.00	0.0128	213.93	2.74
0349120019	CAMIÓN CISTERNA DE AGUA 4000-5000 GLN	hm	1.00	0.0128	149.40	1.91
0349120020	PAVIMENTADORA DE SUELOS S/ORUGAS 600 t/h	hm	1.00	0.0128	312.72	4.00
0386010005	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR D<= 1KM	KM		1.0000	3.31	3.31
0386010006	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR D> 1KM	KM		21.0600	1.15	24.22
						38.61

Fuente: Elaboración propia

Tabla 115.

Análisis de costos unitarios - Base de material granular no triturado

Partida	**02.01 BASE DE MATERIAL GRANULAR NO TRITURADO**					
Rendimiento	**m³/día**	784.0000			**Costo unitario directo por m³**	76.13
		Jornada	10.00			
Código	**Descripción Recurso**	**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Costo S/.**	**Parcial S/.**
	Mano de Obra					
0147010008	JEFE DE GRUPO CIVIL	hh	1.00	0.0128	30.83	0.39
0147010009	OFICIAL CIVIL	hh	1.00	0.0128	22.78	0.29
0147010010	AYUDANTE CIVIL	hh	3.00	0.0383	21.12	0.81
0147010011	VIGÍA	hh	2.00	0.0255	21.12	0.54
						2.03
	Materiales					
0205030077	MATERIAL GRANULAR DE APORTE	m³		1.0000	35.49	35.49
						35.49
	Equipos					
0349120014	RODILLO VIB. LISO 12 TON 130 - 150 HP	hm	1.25	0.0159	152.83	2.43
0349120018	MOTONIVELADORA DE 160-185 HP	hm	1.00	0.0128	213.93	2.74
0349120019	CAMIÓN CISTERNA DE AGUA 4000-5000 GLN	hm	1.00	0.0128	149.40	1.91
0349120020	PAVIMENTADORA DE SUELOS S/ORUGAS 600 t/h	hm	1.00	0.0128	312.72	4.00
0386010005	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR D<= 1KM	KM		1.0000	3.31	3.31
0386010006	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR D> 1KM	KM		21.0600	1.15	24.22
						38.61

Fuente: Elaboración propia

Tabla 116.

Análisis de costos unitarios - Base de material granular estabilizado con cemento Portland tipo IP

Partida	**02.02 BASE DE MATERIAL GRANULAR ESTABILIZADO CON CEMENTO PORTLAND TIPO IP**					
Rendimiento	**m³/día**	650.0000			**Costo unitario directo por m³**	115.80
		Jornada	10.00			
Código	**Descripción Recurso**	**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Costo S/.**	**Parcial S/.**
	Mano de Obra					
0147010010	AYUDANTE CIVIL	hh	1.00	0.0154	21.12	0.33
0147010011	VIGÍA	hh	2.00	0.0308	21.12	0.65
						0.98
	Materiales					
0205030077	MATERIAL GRANULAR DE APORTE	m³		1.4000	35.49	49.69
0298010106	CEMENTO PORTLAND TIPO IP	bls		1.5000	21.90	32.85
						82.54
	Equipos					
0349120020	RECICLADORA MÓVIL WR240	hm	1.00	0.0154	312.72	4.82
0386010005	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR D<= 1KM	KM		1.0000	3.31	3.31
0386010006	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR D> 1KM	KM		21.0000	1.15	24.15
						32.28

Fuente: Elaboración propia

Tabla 117.
Análisis de costos unitarios - Base de material granular estabilizado con emulsión asfáltica

Partida	**02.03 BASE DE MATERIAL GRANULAR ESTABILIZADO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA**					
Rendimiento	**m³/día**	650.0000			**Costo unitario directo por m³**	184.81
		Jornada	10.00			
Código	**Descripción Recurso**	**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Costo S/.**	**Parcial S/.**
	Mano de Obra					
0147010010	AYUDANTE CIVIL	hh	1.00	0.0154	21.12	0.33
0147010011	VIGÍA	hh	2.00	0.0308	21.12	0.65
						0.98
	Materiales					
0205030077	MATERIAL GRANULAR DE APORTE	m³		1.4000	35.49	49.69
0298010106	EMULSIÓN ASFÁLTICA CSS-1	gln		14.5300	7.01	101.86
						151.55
	Equipos					
0349120020	RECICLADORA WR240	hm	1.00	0.0154	312.72	4.82
0386010005	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR D<= 1KM	KM		1.0000	3.31	3.31
0386010006	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR D> 1KM	KM		21.0000	1.15	24.15
						32.28

Fuente: Elaboración propia

Tabla 118.

Análisis de costos unitarios - Imprimación asfáltica

Partida	**03.01 IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA**					
Rendimiento	**m²/día**	1.0000			**Costo unitario directo por m²**	3.09
		Jornada	10.00			
Código	**Descripción Recurso**	**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Costo S/.**	**Parcial S/.**
	Subpartidas					
0254060004	IMPRIMACIÓN CON MC-30	m^2		0.9890	2.97	2.94
						2.94
	Subpartidas					
0386010005	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR D<= 1KM	KM		0.0050	3.31	0.02
0386010006	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR D> 1KM	KM		0.1050	1.15	0.12
0386010010	CARGUIO MATERIAL GRAN. DE ACOPIO A PROY.	m^3		0.0050	2.15	0.01
						0.15

Fuente: Elaboración propia

Tabla 119.

Análisis de costos unitarios - Micropavimento

Partida	**04.01 MICROPAVIMENTO**					
Rendimiento	**m²/día**	4,500.0000			**Costo unitario directo por m²**	10.94
		Jornada	10.0			
Código	**Descripción Recurso**	**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Costo S/.**	**Parcial S/.**
	Mano de Obra					
0147010008	JEFE DE GRUPO CIVIL	hh	2.0000	0.0044	30.83	0.14
0147010009	OFICIAL CIVIL	hh	3.0000	0.0067	22.78	0.15
0147010010	AYUDANTE CIVIL	hh	4.0000	0.0089	21.12	0.19
0147010011	VIGÍA	hh	4.0000	0.0089	21.12	0.19
0147010012	OPERARIO CIVIL	hh	7.0000	0.0156	27.13	0.42
						1.09
	Materiales					
0204010017	AGREGADO CHANCADO PARA MICROPAVIMENTO	m^3		0.0120	124.00	1.49
0229030010	SULFATO DE ALUMINIO	kg		0.0050	3.28	0.02
0239020080	ESCOBILLAS PARA BARREDORAS	jgo		0.0001	1,680.00	0.17
0298010092	CEMENTO PORTLAND TIPO IP	bls		0.0093	21.97	0.20
0298010093	EMULSIÓN ASFÁLTICA CQS-1HP	gln		0.6800	6.35	4.32
						6.20
	Equipos					
0337010003	CONSUMIBLES DE OBRA	und		0.9900	1.00	0.99
0349020008	COMPRESORA NEUMÁTICA 250 PCM	hm	1.0000	0.0014	92.06	0.13
0349040092	MINICARGADOR + BARREDORA ANGULAR	hm	1.0000	0.0014	97.16	0.14
0349120019	CAMIÓN CISTERNA DE AGUA 4000-5000 GLN	hm	2.0000	0.0029	149.40	0.43
0349120021	RODILLO NEUMÁTICO 16 Ton 102 HP	hm	1.0000	0.0014	153.31	0.21
0349120022	CAMIÓN DE SERVICIOS	hm	1.0000	0.0014	79.04	0.11
0349120023	CARGADOR SOBRE LLANTAS 200 - 240 HP	hm	1.0000	0.0014	242.03	0.34
0349120024	CAMIÓN CISTERNA DE EMULSIÓN 4,000 gln	hm	1.0000	0.0014	123.95	0.17
0349120025	CAMIÓN VOLQUETE 6x5 15 M3 400-440 HP	hm	2.0000	0.0029	131.57	0.38
0349120026	CAMIÓN MICROPAVIMENTADOR	hm	1.0000	0.0014	388.63	0.54
0386010005	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR D<= 1KM	KM		0.0120	3.31	0.04
0386010006	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR D> 1KM	KM		0.1500	1.15	0.17
						3.65

Fuente: Elaboración propia

El análisis precedente de costos unitarios fue realizado de acuerdo a los costos base expuestos en los Términos de Referencia de la muestra.
En este sentido fue pertinente realizar el metrado de las partidas propuestas, para poder presentar las propuestas económicas por cada solución.

La figura 128 muestra las variaciones de los costos unitarios de las soluciones propuestas en soles, sin considerar los recursos para las partidas de subbase granular, imprimación y micropavimento, puesto que son partidas que mantienen el costo final independientemente del tipo de solución que se aplique.
Como se puede apreciar, el costo de la mano de obra de las soluciones de base estabilizada con cemento y emulsión asfáltica respecto a la solución de base integral es de 0.483 veces, puesto que en estas dos últimas los jefes de grupo y los oficiales no son considerados.
De igual manera, comparando los costos de los materiales de las soluciones de estabilización con cemento Portland y emulsión asfáltica respecto a la solución de base integral; se concluye que son 2.33 y 4.27 veces más caras respectivamente.
Respecto a los equipos, se evidencia que la diferencia no es tan abrupta como en los materiales, sin embargo, el análisis de costos unitarios se realizó considerando el uso de la recicladora WR 240 mas no la de la planta KMA 220 (la cual se estima triplicaría el costo de estabilización.
El costo de equipos de las soluciones de estabilización respecto a la solución de base integral es menor, 0.84 veces exactamente.

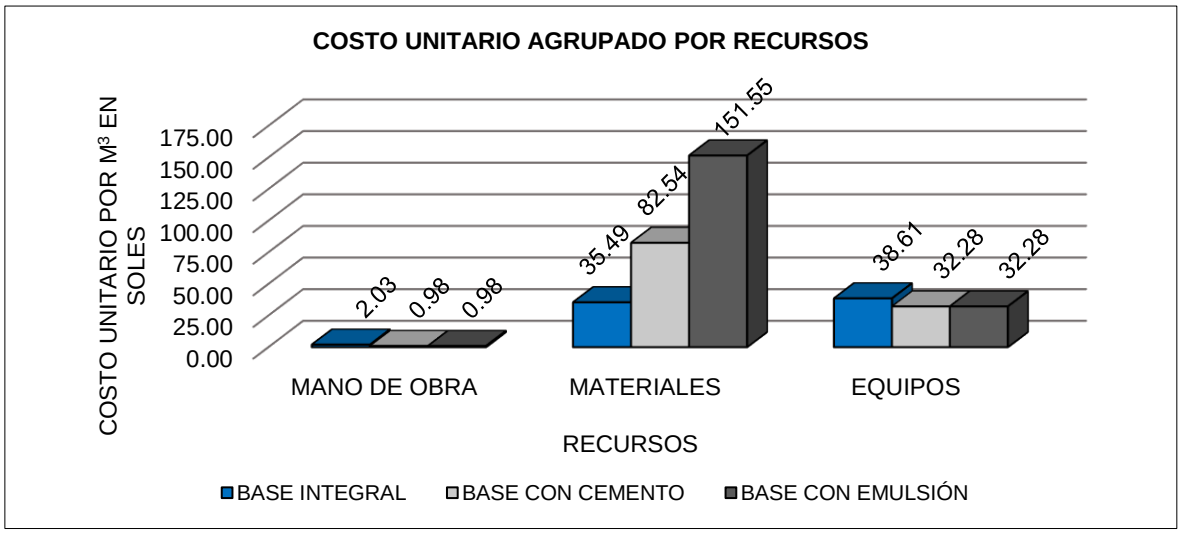


Figura 128. Costo unitario agrupado por recursos
Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, se presentan las características de la muestra en estudio mediante el modelo generado en el software HDM-4 para los sectores homogéneos definidos anteriormente.

Se ingresaron datos geométricos y geográficos de la muestra en el modelo fabricado, tales como progresivas de inicio y fin, número de carriles, sobreelevación, altitud, ancho de calzada, entre otros; con el objeto de realizar los metrados más precisos para cada sector y evaluar la viabilidad del proyecto.

A continuación, se muestra la tabla 120 que resume las características de la vía, volúmenes y áreas obtenidos a partir de los estudios de topografía con las progresivas finales replanteadas.
De igual manera las tablas 121, 122 y 123 muestran las propuestas para cada solución.

Tabla 120.

Características geométricas y geográficas de la vía

HDM-4
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Tramos de carretera - geometría

Nombre del estudio: **Servicio de Gestión, Mejoramiento y Conservación Vial del Corredor: Dv. Humajalso - Mazocruz**

Fecha de ejecución: **-**

ID tramo	Nombre	Tipo de velocidad / capacidad	Asc. y desc. (m/km)	No. de asc. y desc. (/km)	Curvatura horizontal (grad./km)	Sobreelevación (%)	Altitud (m)	Sigma adral (m/s,)	Límite de vel. (km/h)	Factor de cump. del lím. vel.	Tipo drenaje	Fricción TNM (XNMT)	Fricción lateral (XFRI)	Fricción TM (XMT)	Long. (Km)	Ancho (m)
7-1	Tramo 7-1 Km 91+182 - H	Two Lane Roac	42.4	13	740	5.80	3,498	0.10	30	0.63	N/D	1.00	1.00	1.00	20.82	4.90
7-2	Tramo 7-2 Km 112+000 -	Two Lane Roac	34.7	13	609	5.60	4,316	0.10	30	0.63	N/D	1.00	1.00	1.00	20.00	4.63
7-3	Tramo 7-3 Km 132+000	Two Lane Roac	34.4	10	408	4.80	3,498	0.10	30	0.63	N/D	1.00	1.00	1.00	16.00	4.59
7-4	Tramo 7-4 Km 148+000 -	Two Lane Roac	43.0	5	119	3.30	3,498	0.10	30	0.63	N/D	1.00	1.00	1.00	14.00	5.42
7-5	Tramo 7-5 Km 162+00 - H	Two Lane Roac	17.8	9	131	3.40	4,311	0.10	30	0.67	N/D	1.00	1.00	1.00	10.66	4.67
8-1	Tramo 8-1, Km 172+665	Two Lane Roac	19.1	9	101	4.10	4,396	0.10	30	0.67	N/D	1.00	1.00	1.00	11.34	4.65
8-2	Tramo 8-2, Km 184+000	Two Lane Roac	15.3	8	119	4.00	4,222	0.10	30	0.67	N/D	1.00	1.00	1.00	8.00	4.78
8-3	Tramo 8-3, Km 192+000	Two Lane Roac	11.8	10	135	3.90	4,062	0.10	30	0.67	N/D	1.00	1.00	1.00	10.00	5.03
8-4	Tramo 8-4, Km 202+000	Two Lane Roac	6.4	10	64	3.40	3,996	0.10	30	0.67	N/D	1.00	1.00	1.00	16.00	5.19
8-5	Tramo 8-5, Km 218+000	Two Lane Roac	7.5	11	49	3.60	3,977	0.10	30	0.67	N/D	1.00	1.00	1.00	9.05	5.95

Fuente: Software HDM-4

Tabla 121.

Metrados de solución básica (base integral)

METRADOS - PROPUESTA BASE INTEGRAL													
TRAMO	**SECTOR**	**PROGRESIVA**		**LONGITUD (KM)**	**ANCHO DE VÍA (M)**	**ÁREA (M^2)**	**ESPESOR (CM)**			**METRADO DE MATERIAL**			
		INICIAL	**FINAL**				**SUBBASE**	**BASE INTEGRAL**	**MICROP.**	**SUBBASE (M^3)**	**BASE INTEGRAL (M^3)**	**IMPRIM. (M^2)**	**MICROP. (M^2)**
TRAMO 7 TARATA - CAPAZO	S1-T7	91+182	112+000	20.818	4.90	102008.2	10.0	25.0	1.0	10200.8	25502.1	102008.2	102008.2
	S2-T7	112+000	132+000	20.000	4.63	92600.0	10.0	20.0	1.0	9260.0	18520.0	92600.0	92600.0
	S3-T7	132+000	148+000	16.000	4.59	73440.0	10.0	19.0	1.0	7344.0	13953.6	73440.0	73440.0
	S4-T7	148+000	162+000	14.000	5.42	75880.0	10.0	21.0	1.0	7588.0	15934.8	75880.0	75880.0
	S5-T7	162+000	172+665	10.665	4.67	49805.6	10.0	18.0	1.0	4980.6	8965.0	49805.6	49805.6
TRAMO 8 CAPAZO - MAZOCRUZ	S1-T8	172+665	184+000	11.335	4.65	52707.8	10.0	25.0	1.0	5270.8	13176.9	52707.8	52707.8
	S2-T8	184+000	192+000	8.000	4.78	38240.0	10.0	30.0	1.0	3824.0	11472.0	38240.0	38240.0
	S3-T8	192+000	202+000	10.000	5.03	50300.0	10.0	25.0	1.0	5030.0	12575.0	50300.0	50300.0
	S4-T8	202+000	218+000	16.000	5.19	83040.0	10.0	28.0	1.0	8304.0	23251.2	83040.0	83040.0
	S5-T8	218+000	227+049	9.049	5.95	53841.6	10.0	21.0	1.0	5384.2	11306.7	53841.6	53841.6
TOTAL										67186.3	154657.3	671863.1	671863.1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 122.

Metrados de solución básica (base estabilizada con cemento Portland)

METRADOS - PROPUESTA BASE SUELO CEMENTO													
TRAMO	SECTOR	PROGRESIVA		LONGITUD (KM)	ANCHO DE VÍA (M)	ÁREA (M^2)	ESPESOR (CM)			METRADO DE MATERIAL			
		INICIAL	FINAL				SUBBASE	BASE CON CEMENTO	MICROP.	SUBBASE (M^3)	BASE CON CEMENTO (M^3)	IMPRIM. (M^2)	MICROPAV. (M^2)
TRAMO 7 TARATA - CAPAZO	S1-T7	91+182	112+000	20.818	4.90	102008.2	10.0	19.0	1.0	10200.8	19381.6	102008.2	102008.2
	S2-T7	112+000	132+000	20.000	4.63	92600.0	10.0	15.0	1.0	9260.0	13890.0	92600.0	92600.0
	S3-T7	132+000	148+000	16.000	4.59	73440.0	10.0	16.0	1.0	7344.0	11750.4	73440.0	73440.0
	S4-T7	148+000	162+000	14.000	5.42	75880.0	10.0	17.0	1.0	7588.0	12899.6	75880.0	75880.0
	S5-T7	162+000	172+665	10.665	4.67	49805.6	10.0	15.0	1.0	4980.6	7470.8	49805.6	49805.6
TRAMO 8 CAPAZO - MAZOCRUZ	S1-T8	172+665	184+000	11.335	4.65	52707.8	10.0	19.0	1.0	5270.8	10014.5	52707.8	52707.8
	S2-T8	184+000	192+000	8.000	4.78	38240.0	10.0	23.0	1.0	3824.0	8795.2	38240.0	38240.0
	S3-T8	192+000	202+000	10.000	5.03	50300.0	10.0	19.0	1.0	5030.0	9557.0	50300.0	50300.0
	S4-T8	202+000	218+000	16.000	5.19	83040.0	10.0	23.0	1.0	8304.0	19099.2	83040.0	83040.0
	S5-T8	218+000	227+049	9.049	5.95	53841.6	10.0	17.0	1.0	5384.2	9153.1	53841.6	53841.6
TOTAL										67186.3	122011.3	671863.1	671863.1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 123.

Metrados de solución básica (base estabilizada con emulsión asfáltica)

METRADOS - PROPUESTA BASE SUELO EMULSIÓN													
TRAMO	SECTOR	PROGRESIVA		LONGITUD (KM)	ANCHO DE VÍA (M)	ÁREA (M^2)	ESPESOR (CM)			METRADO DE MATERIAL			
		INICIAL	FINAL				SUBBASE	BASE CON EMULSIÓN	MICROP.	SUBBASE (M^3)	BASE CON EMULSIÓN (M^3)	IMPRIM. (M^2)	MICROPAV. (M^2)
TRAMO 7 TARATA - CAPAZO	S1-T7	91+182	112+000	20.818	4.90	102008.2	10.0	13.0	1.0	10200.8	13261.1	102008.2	102008.2
	S2-T7	112+000	132+000	20.000	4.63	92600.0	10.0	11.0	1.0	9260.0	10186.0	92600.0	92600.0
	S3-T7	132+000	148+000	16.000	4.59	73440.0	10.0	11.0	1.0	7344.0	8078.4	73440.0	73440.0
	S4-T7	148+000	162+000	14.000	5.42	75880.0	10.0	11.0	1.0	7588.0	8346.8	75880.0	75880.0
	S5-T7	162+000	172+665	10.665	4.67	49805.6	10.0	10.0	1.0	4980.6	4980.6	49805.6	49805.6
TRAMO 8 CAPAZO - MAZOCRUZ	S1-T8	172+665	184+000	11.335	4.65	52707.8	10.0	13.0	1.0	5270.8	6852.0	52707.8	52707.8
	S2-T8	184+000	192+000	8.000	4.78	38240.0	10.0	16.0	1.0	3824.0	6118.4	38240.0	38240.0
	S3-T8	192+000	202+000	10.000	5.03	50300.0	10.0	13.0	1.0	5030.0	6539.0	50300.0	50300.0
	S4-T8	202+000	218+000	16.000	5.19	83040.0	10.0	15.0	1.0	8304.0	12456.0	83040.0	83040.0
	S5-T8	218+000	227+049	9.049	5.95	53841.6	10.0	12.0	1.0	5384.2	6461.0	53841.6	53841.6
TOTAL										67186.3	83279.2	671863.1	671863.1

Fuente: Elaboración propia

Como se ha podido observar, las metrados variables pertenecen a las capas de base granular resaltadas en plomo, por lo tanto, para fines prácticos se presenta la tabla 124 y la figura 129 que resumen los volúmenes para cada solución sin considerar los metrados fijos.

Tabla 124.
Resumen de volúmenes de base granular

RESUMEN DE VOLÚMENES DE BASE GRANULAR						
TRAMO	SECTOR	PROGRESIVA		VOLUMEN (M^3)		
		INICIAL	FINAL	BASE INTEGRAL	BASE CON CEMENTO	BASE CON EMULSIÓN
TRAMO 7 TARATA - CAPAZO	S1-T7	91+182	112+000	25502	19382	13261
	S2-T7	112+000	132+000	18520	13890	10186
	S3-T7	132+000	148+000	13954	11750	8078
	S4-T7	148+000	162+000	15935	12900	8347
	S5-T7	162+000	172+665	8965	7471	4981
TRAMO 8 CAPAZO - MAZOCRUZ	S1-T8	172+665	184+000	13177	10014	6852
	S2-T8	184+000	192+000	11472	8795	6118
	S3-T8	192+000	202+000	12575	9557	6539
	S4-T8	202+000	218+000	23251	19099	12456
	S5-T8	218+000	227+049	11307	9153	6461

Fuente: Elaboración propia

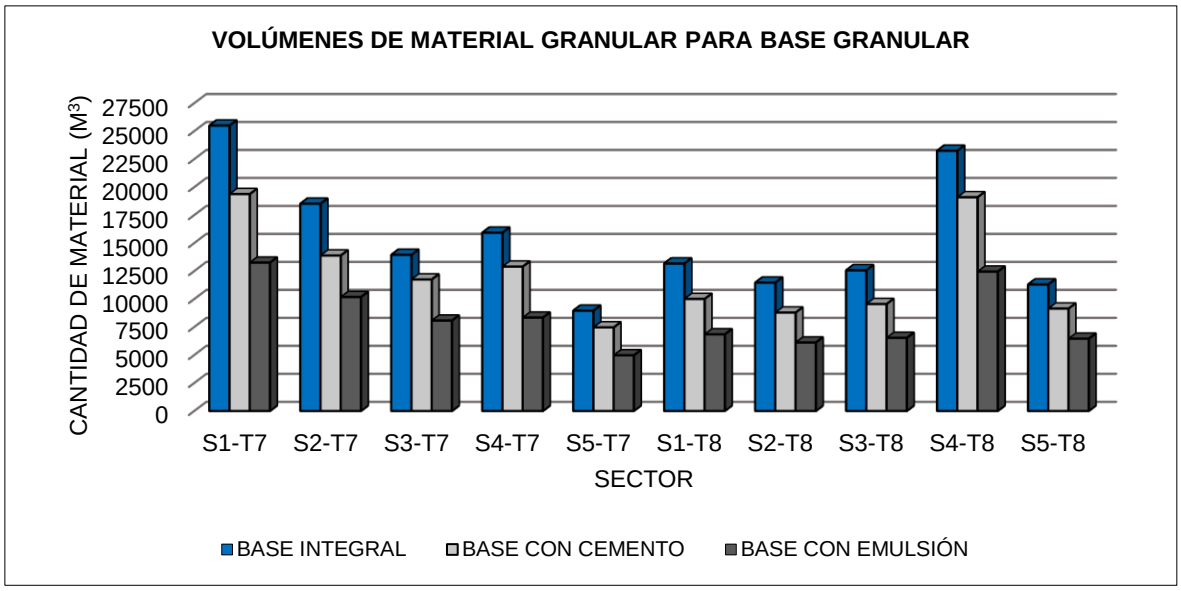


Figura 129. Volúmenes de material para base granular
Fuente: Elaboración propia

En las tablas 125, 126 y 127 se pueden observar las tres propuestas realizadas para los distintos escenarios planteados, considerando las partidas principales de la estructura del pavimento, metrados, y costos.

Tabla 125.
Propuesta de solución básica (base integral)

PROPUESTA N°1 - SOLUCIÓN BÁSICA BASE INTEGRAL				
DESCRIPCIÓN	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**P. UNITARIO (S/.)**	**COSTO PARCIAL (S/.)**
Subbase de material granular	m^3	67186.3	76.13	5,114,893.02
Base granular de material no triturado	m^3	154657.3	76.13	11,774,060.25
Imprimación asfáltica	m^2	671863.1	3.09	2,076,056.98
Micropavimento	m^2	671863.1	10.94	7,350,182.31
TOTAL S/.				26,315,192.56

Fuente: Elaboración propia

Tabla 126.
Propuesta de solución básica (base estabilizada con cemento Portland)

PROPUESTA N°2 - SOLUCIÓN BÁSICA BASE SUELO CEMENTO				
DESCRIPCIÓN	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**P. UNITARIO (S/.)**	**COSTO PARCIAL (S/.)**
Subbase de material granular	m^3	67186.3	76.13	5,114,893.02
Base de material granular est. con cemento tipo IP	m^3	122011.3	115.80	14,128,908.54
Imprimación asfáltica	m^2	671863.1	3.09	2,076,056.98
Micropavimento	m^2	671863.1	10.94	7,350,182.31
TOTAL S/.				28,670,040.85

Fuente: Elaboración propia

Tabla 127.
Propuesta de solución básica (base estabilizada con emulsión asfáltica)

PROPUESTA N°3 - SOLUCIÓN BÁSICA BASE SUELO EMULSIÓN				
DESCRIPCIÓN	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**P. UNITARIO (S/.)**	**COSTO PARCIAL (S/.)**
Subbase de material granular	m^3	67186.3	76.13	5,114,893.02
Base de material granular est. con emulsión asfáltica	m^3	83279.2	184.81	15,390,828.95
Imprimación asfáltica	m^2	671863.1	3.09	2,076,056.98
Micropavimento	m^2	671863.1	10.94	7,350,182.31
TOTAL S/.				29,931,961.26

Fuente: Elaboración propia

Por lo anteriormente expuesto, la solución más económica fue la propuesta N°2 (suelo estabilizado con cemento Portland) con respecto a la propuesta N°3 (suelo estabilizado con emulsión asfáltica).
Dado que el objetivo principal de la investigación fue comparar las soluciones con estabilización, la propuesta N°1 se realizó únicamente para tener en cuenta las características de un diseño convencional y presupuesto base.

La propuesta N°3 (solución básica de base estabilizada con emulsión asfáltica) económicamente es menos atractiva, existiendo una diferencia de S/. 1,261,920.41 con la propuesta N°2 (solución básica de base estabilizada con cemento Portland); no obstante, la evaluación estructural demostró que las propiedades geomecánicas, físicas y químicas de los suelos estabilizados con emulsión asfáltica son las que mejor desempeño poseen.

En términos porcentuales, las propuestas N°2 y N°3 son 8.95% y 13.74%. más costosas que la propuesta N°1 (solución básica de base integral) respectivamente.
Comparando las soluciones de estabilización, la propuesta N°3 es 4.40% más costosa que la propuesta N°2.
Con base en la situación descrita, los espesores de los suelos estabilizados con cemento Portland y emulsión asfáltica comparados con los espesores de suelos integrales se redujeron en 21.12% y 46.12% respectivamente.
Igualmente, la reducción de espesores de los suelos estabilizados con emulsión asfáltica respecto a los suelos estabilizados con cemento Portland fue de 31.69%.

Los porcentajes presentados en el párrafo anterior se obtuvieron a partir de los espesores promedio de cada solución, los cuales se calcularon con los datos de la tabla 112. Los valores de espesor promedio para la base integral, estabilizada con cemento Portland y emulsión asfáltica fueron de 23.2, 18.3 y 12.5 centímetros respectivamente.
Asimismo, los coeficientes de aporte estructural fueron en promedio 0.13, 0.16 y 0.24 1/pulgada^2 para la base integral, estabilizada con cemento Portland y emulsión asfáltica respectivamente, evidenciando mejoras significativas producto de la incorporación de agentes estabilizadores en baja proporción.
Está demostrado que menores espesores representan menor tiempo de ejecución de la partida, por ende, la diferencia entre una solución y la otra puede ser compensada a costa de la productividad y la reducción de actividades de Mantenimiento Rutinario, puesto que al poseer mejores propiedades que benefician a la capa estabilizada con emulsión asfáltica, esta requiere de menor incidencia de intervenciones o reparaciones.

Contrastación de hipótesis.

Se estima que los suelos estabilizados con emulsión asfáltica y/o suelos estabilizados con cemento Portland cumplan un diseño más satisfactorio que los suelos típicos bajo las mismas condiciones para soportar las cargas que se presentan con el paso de los vehículos.

La hipótesis general es verdadera. Las cargas generadas por el paso de los vehículos fueron un factor determinante a la hora de determinar qué tipos de soluciones se aplicarán, dado que el comportamiento óptimo de los suelos tratados con cemento está sesgado a soportar mayores esfuerzos de compresión; a diferencia de los suelos tratados con asfalto, en donde la fortaleza de la resistencia se orienta a los esfuerzos cortantes.

La adición de un agente estabilizador evidenció mejoras significativas tales como:

- Mejora de la cohesión
- Mejora de la densificación
- Reducción de vacíos
- Aumento de la impermeabilidad
- Reducción de la susceptibilidad al agua

Se evidenció que los suelos estabilizados con cemento Portland y emulsión asfáltica en algunos casos llegan a duplicar el valor del coeficiente de aporte estructural del mismo material no tratado, a pesar de que se emplearon dosis relativamente bajas de ambos agentes. Por ende, los espesores se reducen considerablemente y permiten realizar los trabajos que involucra la colocación de una capa estructural teniendo en cuenta que se usan metodologías y procesos innovadores.

Los agregados de cantera poseen mejores propiedades físicas y mecánicas que los de la plataforma existente.

La hipótesis es falsa. Es sabido que, al seleccionar materiales de cantera se busca hallar materiales cuyas propiedades mecánicas y reológicas sean formidablemente buenas. Sin embargo, existen zonas en donde la disponibilidad de estos no es abundante o simplemente no existen.

Por tal motivo, se eligieron canteras que cumplieron lo establecido en las normas vigentes pero que en algunos casos no fueron de mejor calidad que los agregados pétreos provenientes de la plataforma existente. El parámetro más resaltante fue el del CBR, en

donde se obtuvieron valores promedio de 40% para materiales selectos de cantera y 80% para materiales de plataforma que se evidencian con desgaste y pérdida de finos.

Dosificaciones de emulsión asfáltica y cemento Portland menores a 1% no mejoran las propiedades mecánicas de la mezcla.

La hipótesis es verdadera. Los diseños tentativos iniciaron aplicando cantidades ínfimas de agentes estabilizadores que oscilaron entre 0.5% y 1%. Durante el moldeo de estos, la integración de las briquetas estabilizadas con cemento y emulsión asfáltica no fue posible, puesto que estas se disgregaban con facilidad al no poseer la cohesión suficiente entre partículas.

Posteriormente se llevaron a rotura de acuerdo a los procedimientos establecidos, no obstante, los esfuerzos de corte, tracción y compresión no se alteraron en comparación a los esfuerzos obtenidos del suelo integral.

Estabilizar mediante procesos convencionales genera mayor productividad.

La hipótesis es falsa. Realizar actividades de estabilización mediante métodos convencionales no es sinónimo de productividad, a pesar de la experticia en el uso de ciertas actividades o manipulación de equipos y máquinas de poder,

Los costos de la maquinaria usada en procesos innovadores contra los costos de maquinaria usada en procesos convencionales no difieren demasiado. Considerando que en algunos casos emplear pavimentadoras, recicladoras o plantas móviles permiten compensar el costo adicional con la disminución de horas hombre y horas máquina.

Las propiedades mecánicas de suelos estabilizados con emulsión asfáltica superan considerablemente a las propiedades mecánicas de suelos estabilizados con cemento Portland.

La hipótesis es verdadera. Por medio de la investigación, se logró obtener valores de coeficientes estructurales para cada solución, sin embargo, la dosificación elegida de cemento Portland fue de 3% y la de emulsión asfáltica de 2%. Los coeficientes de aporte estructural para ambos escenarios fueron de 0.16 y 0.24.

En caso se hubiese usado 2% de cemento Portland, el coeficiente de aporte estructural sería de 0.13; valor que supera ligeramente la mitad del coeficiente de aporte estructural obtenido mediante la estabilización con 2% de emulsión asfáltica.

Los coeficientes de aporte estructural incrementarán considerablemente la capacidad de carga de la capa de suelo estabilizado.

Infaliblemente la hipótesis es verdadera, al realizar cualquier tipo de adición de material cementante (hidráulico o asfáltico) se espera que los resultados obtenidos evidencien la mejora de sus propiedades geomecánicas, físicas o químicas; sin embargo, es necesario determinar hasta qué punto el costo de adición sustenta aquellas mejoras.

Por ende, se realizó la evaluación económica, evidenciando que los costos incurridos se justifican razonablemente y en ciertas condiciones son obligatorios (exigencia de alguna solución en particular establecida en los Términos de Referencia de la muestra).

El aumento porcentual de la capacidad portante expresada en valores de coeficientes estructurales es de 25% y 50%, para suelos estabilizados con cemento Portland y emulsión asfáltica respectivamente, comparados con los valores de resistencia del material integral (no tratado).

Se estima que las capas estabilizadas con cemento Portland son las más económicas ante los requerimientos del proyecto debido al costo y proceso de manufacturación de las emulsiones asfálticas.

Mediante la evaluación técnica desarrollada, se comprobó que esta hipótesis es falsa, puesto que el proceso de manufacturación de los suelos estabilizados con cemento Portland y emulsión asfáltica obedecieron el mismo proceso de fabricación en las mismas máquinas (KMA 220 y WR240). No obstante, el costo de cemento Portland para estabilizar un metro cúbico de material se estima que es duplicado por el costo de la emulsión asfáltica para lograr el mismo fin.

Específicamente, la hipótesis es parcialmente falsa, el aumento del costo no se produce debido al proceso de manufacturación; el aumento se produce debido al costo del agente estabilizador usado.

El diseño óptimo de mezclas cementadas depende fundamentalmente de las características mecánicas, físicas y químicas de los agregados.

La hipótesis es verdadera. Si bien es cierto que usar mayor cantidad de agente estabilizador mejora las cualidades de la mezcla, esto no garantiza que siempre se logre obtener un diseño adecuado, puesto que los factores más decisivos fueron las propiedades mecánicas, físicas y químicas.

La resistencia mecánica y la compatibilidad entre el agregado y el agente estabilizador fueron dos de los criterios más importantes al momento de realizar los diseños de mezcla, aunque no sean los únicos.

Existen diversas combinaciones de las variables de diseño para calcular los espesores de las capas granulares.

La hipótesis es verdadera. La metodología AASHTO 1993 permite realizar una múltiple combinación de variables y obtener distintas soluciones. Lógicamente unas más precisas y económicas que otras.
Las variables que forman parte del diseño final son: coeficientes de drenaje, espesores y coeficientes de aporte estructural. Por tal razón, se pueden configurar distintas soluciones en donde los coeficientes de drenaje y de aporte estructural sean muy buenos, logrando reducir los espesores. De igual manera se pueden asumir espesores mayores y reducir los valores de los coeficientes de drenaje y aporte estructural.

Discusión

El desarrollo de la presente investigación tuvo como objetivo general realizar el análisis comparativo entre los suelos estabilizados con cemento Portland y los suelos estabilizados con emulsión asfáltica, considerando factores técnicos y económicos regidos bajo la modalidad del Proyecto Peru Fase II.
Para lograr cumplir el objetivo general, se realizaron actividades de sondeo en campo, evaluación en laboratorios y posteriormente el procesamiento de la información en gabinete. Asimismo, se recolectó información obtenida durante la etapa de desarrollo de la muestra.

Las patologías detectadas antes de realizar las propuestas de soluciones básicas fueron indicadores y factores que influyeron en la decisión tomado.
Los resultados obtenidos en la investigación forman parte de las soluciones de un proyecto de gran envergadura ejecutado en la zona sur del país, conectando las ciudades fronterizas de Bolivia y Perú, como también los departamentos de Tacna, Puno y Moquegua en Perú. Cabe resaltar que las vías del proyecto pertenecen a la Red Vial Nacional. He ahí la importancia de los diseños y la comparación entre estos.

Por medio de la investigación se logró brindar información relevante que permita conocer aspectos fundamentales relacionados a los diseños de mezclas innovadoras que son usadas con poca frecuencia debido a la falta de conocimientos técnicos.
Por otra parte, se presentaron procesos constructivos realizados con máquinas de alto desempeño, como también equipos novedosos que tienen como fin facilitar la experiencia de uso y trabajo: equipos que mejora la eficiencia en el ámbito laboral.
Las evidencias anteriores dan lugar a concebir una serie de proyectos y propuestas que se adapten a las condiciones del entorno: sin embargo, el campo de la geotecnia y los

pavimentos es significativamente complejo, puesto que existe una infinidad de materiales y suelos con distintas características cada uno, distintas capas estructurales y no estructurales, distintos tipos de solución y distintos entornos climatológicos con los que se interactúa.

Los hallazgos obtenidos en la investigación no pudieron ser contrastados con hallazgos realizados por otros investigadores debido a que los resultados se adaptan a características especiales definidas por las evaluaciones desarrolladas y las características de la muestra. No obstante, los procedimientos de diseño propuestos pueden ser usados como material alternativo de consulta con el fin de evaluar si las técnicas de desarrollo concuerdan o divergen

Las limitaciones de la presente investigación se redujeron a limitaciones geográficas y geométricas de la muestra, la incertidumbre de realizar diseños teóricos que posteriormente no puedan ser replicados en obra debido a las condiciones exógenas.
Para tal efecto, se realizó el tramo de prueba correspondiente con la ejecución de los ajustes y correcciones necesarios para la obtención de resultados óptimos. De otra manera, los resultados obtenidos hubieran causado variabilidad de la solución aplicada.

De acuerdo a los resultados obtenidos, los diseños de mezcla y espesores dependen de las propiedades mecánicas y físicas de los agregados; la disponibilidad de estos tendrá un impacto relevante al momento de definir entre una opción u otra.
En caso no existan fuentes de material pétreo de buena calidad, la segunda opción es la de recurrir al reciclado de materiales.

Respecto a la obtención de una dosificación óptima, es un punto relativo que depende de la calidad del material tratado. Sin embargo, establecer límites mínimos y máximos es la mejor estrategia de diseño, puesto que dosis bajas no mejoran notablemente las propiedades y, por el contrario, dosis altas rigidizan la mezcla en caso se use cemento Portland o la flexibilizan con el uso de emulsiones asfálticas. Esta diferencia marcada de módulos elásticos en las capas granulares generan fallas en el paquete estructural.
Realizando una comparación simple, suelos excelentes a buenos (A-1, A-2 o A-3 de acuerdo al criterio de clasificación AASHTO) cumplen los mismos requerimientos estructurales y funcionales que suelos regulares (A-4 o A-5) que han sido estabilizados. En otras palabras, suelos de regular calidad que se encuentren en la plataforma existente pueden mejorar sus propiedades con la incorporación de agentes estabilizadores in-situ o

en planta y evitar incurrir en costos adicionales de explotación y transporte de material selecto.

El uso de agentes estabilizadores afecta en gran medida a la resistencia mecánica de los suelos. Los resultados obtenidos muestran que los ensayos de CBR, compresión no confinada e Índice de Tracción Indirecta realizados a las muestras estabilizadas han mejorado significativamente.
Además, la adherencia de las partículas es notoria sin necesidad de realizar ensayos especiales.
Independientemente de la mejora de las propiedades, la estabilización de suelos permite optimizar procesos constructivos por el simple hecho de reducir espesores de capas.
Asimismo, los costos en la solución de la capa de rodadura disminuyen debido a la calidad de soporte en el suelo y permite aumentar la vida útil de la capa debido a que la mezcla cementada posee mayor estabilidad y menor vulnerabilidad al agua y la erosión.

Definir entre una solución u otra es la decisión que garantiza la prosperidad y éxito de cualquier proyecto. Económicamente, es importante considerar factores exógenos que afectan en la toma de decisiones.
La presente investigación consideró la disponibilidad de recursos, puesto que a pesar de que el cemento es menos costoso, el tipo I es escaso en muchas provincias de Puno y sólo se manufactura si se solicita en grandes cantidades. En caso de la emulsión asfáltica, esta se produce en el departamento de Lima y es transportada hasta los tramos que inician en Tarata (Tacna) y terminan en Mazocruz (Puno).
Otro punto relevante es el almacenado de estos, puesto que al estar en zonas donde las temperaturas alcanzan los 15 grados bajo cero, la emulsión asfáltica pierde calor drásticamente en el transcurso de los días y el cemento Portland sufre efectos de cristalización. Por lo expuesto en el presente párrafo, es fundamental considerar estos factores al momento de tomar decisiones.

En Perú las investigaciones respecto a soluciones de estabilización consideradas como innovación tecnológica son escasas, puesto que los diseños realizados son 90% experimentales y 10% teóricos. Es relativamente complicado extrapolar resultados obtenidos de actividades típicas a soluciones poco frecuentes, sin embargo, es posible crear criterios de diseño que se apliquen de acuerdo al tipo de suelo y solución que se esté tratando.

Conclusiones

Según el análisis comparativo técnico económico entre las soluciones propuestas se tiene que el diseño que contempla el suelo estabilizado con emulsión asfáltica es la propuesta más viable.

Estabilizar un suelo disminuye la susceptibilidad al agua y mejora la adherencia de sus partículas.

Los coeficientes de aporte estructural de suelos estabilizados aumentan considerablemente y hasta duplican el valor de los coeficientes estructurales de suelos integrales no tratados.

Las propiedades geomecánicas, físicas y químicas mejoran notable y proporcionalmente al porcentaje de agente estabilizador usado.

El uso de emulsiones asfálticas dota de mejores propiedades al suelo tratado, sin embargo, este eleva su costo considerablemente.

La aplicación de cemento Portland o emulsión asfáltica en dosificaciones menores a 1% no altera las propiedades mecánicas y físicas del suelo.

La evaluación geotécnica de la estructura de pavimento existente es uno de los procesos más importantes a la hora de realizar las propuestas de solución e intervención.
La caracterización geotécnica de los materiales empleados para la construcción es el factor determinante para la viabilidad del diseño, puesto que los valores finales de diseño dependen de la resistencia estructural del material.

El proyecto Perú Fase II no contempla variaciones significativas en el estudio de perfil.
De igual manera, no permite realizar modificaciones sustanciales u optimización a las soluciones propuestas en caso se detecten zonas que requieran de intervención sin presentarlas como emergencias viales o zonas críticas.

Los resultados de los diseños de mezcla y espesores realizados no pueden ser extrapolados a otro tipo de muestras o proyectos similares.

La relación que guardan los espesores de los suelos estabilizados con las cantidades de agente estabilizador es inversamente proporcional.

El proceso de curado de suelos estabilizados con cemento Portland en zonas agrestes debe monitorearse detalladamente, puesto que las condiciones climáticas producen que estos cambien sus dimensiones (contracción y dilatación) generando fisuras y grietas en la estructura.

Se debe evaluar previamente la disponibilidad de los materiales en la zona para realizar un análisis económico adecuado.

Sin una cifra detallada de los volúmenes de colocación de capas de la estructura del pavimento, la evaluación económica es relativa.

Recomendaciones

Se recomienda realizar un replanteo de las exigencias de diseño a la Sección 301.E en el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013”, puesto que son valores de estabilidad relativamente irrisorios y se pueden satisfacer incluso usando suelos tipo A-4 (clasificación AASHTO) o de menor calidad.

Existe un vacío técnico en el rubro de la construcción correspondiente a propuestas de soluciones básicas empleando suelos estabilizados con cemento Portland, emulsiones asfálticas, asfaltos espumados, productos químicos, cloruros, entre otros; por tal motivo es oportuno realizar investigaciones que impliquen la realización de pruebas en campo, apoyadas en normativas extranjeras.

El proyecto Perú a pesar de encontrarse en su segunda fase y de haber sido reajustado, aún posee falencias que impiden realizar intervenciones más adecuadas que eviten el sobredimensionamiento de la estructura. De igual forma, no prevé la mejora de zonas de riesgo potencial en donde se considere necesario realizar actividades previas de mejoramiento.
Por lo expuesto, se recomienda realizar sistemas de gestión más detallados y orientados al desarrollo de vías que requieran mejorar las condiciones geométricas y estructurales.

La evaluación estructural y funcional se realizó en condiciones óptimas (pavimento básico nuevo). Es por tal motivo que se recomienda realizar la evaluación progresiva o al final del periodo de conservación para monitorear el desempeño de este tipo de soluciones a largo plazo y comprobar si los Niveles de Servicio se cumplen a cabalidad.

Finalmente, con el fin de seguir la misma línea de investigación, se sugiere evaluar el efecto de los factores exógenos con respecto a los agentes estabilizadores mediante el uso de nuevas tecnologías relacionadas al proceso o a los materiales.

Bibliografía

Almeida, F. & Sánchez, E. (2011). (Tesis de pregrado). Estabilización de suelos con el uso de emulsiones asfálticas catiónicas de rotura lenta. Caso de estudio vía Las Mercedes – Puerto Nuevo, Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. Recuperado de http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/2653/T-PUCE-3209.pdf?sequence=1

Asociación para el Fomento de la Infraestructura Nacional (AFIN). (2015). Plan Nacional de Infraestructura Vial 2016-2025. Octubre, 2015. Recuperado de https://www.proyectosapp.pe/RepositorioAPS/0/2/JER/SF_HUANCAYO_HUANCAVELICA/plan_nacional_infraestructura_2016_2025_2.pdf

American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). "Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos"

ACI Committee 230. (1997). State-of-the-Art Report on Soil Cement. Recuperado de file:///C:/Users/PROPIETARIO/Downloads/230.1R-90.pdf

ASTM Standard D6913 (2009). Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis.

ASTM Standard D2216 (2010). Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.

ASTM Standard D4318 (2010). Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.

ASTM Standard C131 (2001). Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.

ASTM Standard D2974 (2014). Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils.

ASTM Standard D1557 (2009). Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort.

ASTM Standard ASTM D1883 (2014). Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils.

Corredor, M. (2010). Experimento Vial de la AASHO y las Guías de Diseño AASHTO. Recuperado de https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/aashto-931.pdf

Fundación Laboratorio Nacional de Vialidad Fundanavial Sede Central. (1998). “Manual visualizado de emulsiones asfálticas”.

IECA (2013). Guía Técnica de Estabilización de suelos con cemento. Recuperado de https://www.ieca.es/Uploads/docs/Estabilizaci%C3%B3n_de_suelos_con_cemento.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2006). Modelo del sistema de gestión de infraestructura vial de Provias Nacional. 27 de marzo, 2016. Recuperado de http://www.proviasnac.gob.pe/frmContenido.aspx?IdArchivo=627

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2010). Proyecto Perú. 26 de marzo, 2016. Recuperado de http://www.proviasnac.gob.pe/Archivos/file/Documentos_de_Interes/II_Seminario_de_Conservacion_Vial_por_Resultados/Ing_%20John%20Vega%20-%20Experiencia%20Peruana,%20Programa%20de%20Infraestructura%20Vial%20Proyecto%20Per%C3%BA.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2011). Experiencia de Conservación de Carreteras: Administración Directa - Contratos por Niveles de Servicio. Recuperado de http://www.proviasnac.gob.pe/Archivos/file/Documentos_de_Interes/II_Seminario_de_Conservacion_Vial_por_Resultados/Ing_%20Oscar%20Vargas%20-%20Experiencia%20de%20conservaci%C3%B3n%20de%20carreteras%20por%20administraci%C3%B3n%20directa%20y%20por%20contratos.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2012). Intervenciones en la Red Vial Nacional. 22 de noviembre, 2012. Recuperado de http://www.proviasnac.gob.pe/archivos/file/documentos_de_interes/rvn_peru_rtt_nov2012_final_2012112_v2.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2013). Manual de Carreteras-Conservación Vial. (Vol. 1, 2,3). 26 de marzo, 2013. Recuperado de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4877.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2013). Manual de Carreteras "Especificaciones Técnicas Generales para Construcción". 13 de enero, 2013. Recuperado de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2013). Manual de Carreteras "Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos". 18 de febrero, 2013. Recuperado de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4515.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2015). Términos de Referencia (del Servicio de Gestión, Mejoramiento y Conservación Vial por Niveles de Servicio del Corredor Vial "Dv. Humajalso - Desaguadero y Tacna - Tarata - Capazo - Mazocruz". Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2016). Intervenciones en la Red Vial Nacional. Marzo, 2016. Recuperado de http://www.proviasnac.gob.pe/Archivos/file/RVN%20presentacion/RVN_PERU_RTT_201601%20(20160311).pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2016). Manual de Ensayo de Materiales. Mayo, 2016. Recuperado de https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf

Ortiz, A. (2013). Condiciones actuales de las vías de la parroquia Izamba, cantón Ambato, provincia de Tungurahua y su repercusión en la vida de los habitantes. Noviembre, 2013. (Tesis de pregrado en Ingeniería Civil). Recuperado de http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/6681/1/Tesis%20767%20-%20Ortiz%20Coca%20%C3%81lvaro%20Sa%C3%BAl.pdf

Ulloa, F. (2012). Sistema de gestión de la supervisión del servicio de conservación de carreteras afirmadas por Niveles de Servicio. (Tesis de maestría en Ingeniería Civil,

Universidad Nacional de Ingeniería). Recuperado de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1308/1/ulloa_vf.pdf

Vargas, O. (2011). Experiencia de conservación de carreteras: Administración directa-Contratos por Niveles de Servicio. Material inédito. (Presentación en PowerPoint).

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia 1

Anexo 1.

Matriz de consistencia

Planteamiento del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología	Muestra, tipo y diseño
Problema general: Entre las alternativas de usar capas granulares estabilizadas con emulsión asfáltica o cemento Portland ¿cuál de las dos opciones es técnico y económicamente más viable, optimizando recursos y dentro del "Proyecto Perú Fase II"?	Realizar un análisis comparativo técnico económico entre los diseños de capas granulares estabilizadas con emulsión asfáltica y cemento Portland bajo el Método AASHTO 1993.	Se estima que los suelos estabilizados con emulsión asfáltica y/o suelos estabilizados con cemento Portland cumplan un diseño más satisfactorio que los suelos típicos bajo las mismas condiciones para soportar las cargas que se presentan con el paso de los vehículos.	**VI.** Efectos de las cargas generadas por el tráfico de vehículos. **VD.** Estabilización con emulsión asfáltica. Estabilización con cemento Portland.	Definición preliminar del proyecto. Evaluación de canteras de los tramos 7 y 8. Determinación de los agentes estabilizadores. Realización de los ensayos de caracterización y certificados de calidad. Determinación de los diseños de mezcla óptimos. Determinación de los espesores de capas del pavimento básico. Estudio del comportamiento del	**Población:** Proyecto "Servicio de Gestión, Mejoramiento y Conservación Vial por Niveles de Servicio del Corredor Vial: "Dv. Humajalso - Desaguadero y Tacna - Tarata - Capazo - Mazocruz" **Muestra:** Tramo 7 Tarata - Capazo y 8 Capazo – Mazocruz **Tipo de investigación:** El tipo de investigación de acuerdo al nivel de complejidad es descriptivo – explicativa, puesto que el problema se observó y fue descrito durante los diseños, ensayos y tramos de prueba realizados. **Diseño de investigación:** El diseño de la investigación es experimental, longitudinal y prospectivo. Experimental, puesto que los entregables de los estudios definitivos para los tramos 7 y 8 del Servicio de Gestión,
Problemas específicos: ¿Cómo se puede determinar si los agregados de cantera son de mejor calidad que los de la plataforma existente?	Caracterizar los agregados de canteras y de la plataforma existente de acuerdo a las normas vigentes.	Los agregados de cantera poseen mejores propiedades físicas y mecánicas que los de la plataforma existente.	**VI.** Agregados de cantera y plataforma existente. **VD.** Propiedades físicas y mecánicas.		
¿Cuál es la dosificación óptima de un agente estabilizador para modificar las propiedades de los suelos?	Estimar las dosificaciones de agente estabilizador en las capas granulares.	Dosificaciones de emulsión asfáltica y cemento Portland menores a 1% no mejoran las propiedades mecánicas de la mezcla.	**VI.** Dosificaciones de emulsión asfáltica y cemento Portland. **VD.** Propiedades mecánicas de la mezcla.		
¿De qué manera las alternativas de estabilización brindan beneficios?	Conocer alternativas de estabilización de suelos.	Estabilizar mediante procesos convencionales genera mayor productividad.	**VI.** Procesos convencionales. **VD.** Productividad.		
			VI.		

Planteamiento del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología	Muestra, tipo y diseño
¿En qué medida los suelos estabilizados se ven modificados por los agentes estabilizadores?	Evaluar las propiedades mecánicas de los suelos estabilizados.	Las propiedades mecánicas de suelos estabilizados con emulsión asfáltica superan considerablemente a las propiedades mecánicas de suelos estabilizados con cemento Portland.	Suelos estabilizados con emulsión asfáltica y cemento Portland. **VD.** Propiedades mecánicas,	suelo con los estabilizadores propuestos. Evaluación integral del pavimento.	Mejoramiento y Conservación Vial por Niveles de Servicio del Corredor Vial: "Dv. Humajalso - Desaguadero y Tacna - Tarata - Capazo - Mazocruz" se evaluarán y de esta manera observar los efectos en las variables independientes. Longitudinal, ya que se investigó una misma muestra de manera repetitiva durante un periodo de meses. Prospectivo debido a que se describió los resultados a lo largo del tiempo. El enfoque es cuantitativo, debido a que las variables se desarrollan en una etapa empírico-analista; asimismo, fueron medidas y analizadas con el fin de obtener respuestas de la muestra a preguntas específicas. La orientación es aplicada, ya que la investigación tuvo por finalidad predecir un comportamiento específico bajo conocimientos previamente obtenidos.
¿Cuál es el beneficio principal de estabilizar un suelo?	Hallar los valores de los coeficientes de aporte estructural de los suelos estabilizados.	Los coeficientes de aporte estructural incrementarán considerablemente la capacidad de carga de la capa de suelo estabilizado.	**VI.** Coeficientes de aporte estructural. **VD.** Capacidad portante del suelo estabilizado.		
¿Qué criterios se deben considerar para decidir económicamente entre una y otra solución?	Analizar los costos unitarios de las actividades que forman parte del pavimento.	Se estima que las capas estabilizadas con cemento Portland son las más económicas ante los requerimientos del proyecto debido al costo y proceso de manufacturación de las emulsiones asfálticas.	**VI.** Requerimientos del proyecto. **VD.** Capas estabilizadas con cemento Portland.		
¿Cuáles son los parámetros que influyen en los diseños de mezclas cementadas?	Describir los procedimientos técnicos para efectuar el diseño de mezclas cementadas.	El diseño óptimo de mezclas cementadas depende fundamentalmente de las características mecánicas, físicas y químicas de los agregados.	**VI.** Características mecánicas, físicas y químicas de los agregados. **VD.** Diseño óptimo de mezclas cementadas.		
¿Las variables de diseño pueden ser modificadas y obtener distintos resultados?	Identificar y calcular las variables de diseño AASHTO 1993 para diseñar los espesores de capas granulares.	Existen diversas combinaciones de las variables de diseño para calcular los espesores de las capas granulares.	**VI.** Variables de diseño. **VD.** Espesores de las capas granulares.		

Fuente. Elaboración propia