

CONTROL DE CAMBIOS

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

Revisión	Fecha	Sección modificada	Observaciones
0	22-03-2019	-	Versión original
A	21-05-2019	Capítulos 1, 6, 9, 10, 11	Inclusión nuevos trazados

REVISIÓN Y APROBACIÓN

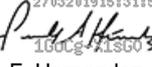
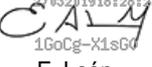
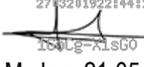
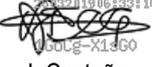
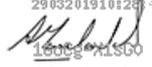
Preparó:  2703201918:07:5: 1GoCg-X1sG0 J. Ávila 21-05-2019	Preparó:  0305201914:30 1GoCg-X1sG0 M. Hernández 21-05-2019	Preparó:  0905201914:28:4: 1GoCg-X1sG0 G. Báez 21-05-2019	Revisó:  2703201918:11:2: 1GoCg-X1sG0 J. Lizarazo 21-05-2019	Revisó:  2703201918:06:4: 1GoCg-X1sG0 E. Dussán 21-05-2019
VoBo. Ingeniero Ejecutor	VoBo. Ingeniero Ejecutor	VoBo. Director Departamento de Tránsito	VoBo. Director Departamento de Trazado	VoBo. Director de División Vías
Preparó:  0104201917:04 1GoCg-X1sG0 C. Nivia 21-05-2019	Preparó:  2703201915:31:5: 1GoCg-X1sG0 F. Hernandez 21-05-2019	Revisó:  2703201918:28:2: 1GoCg-X1sG0 E. León 21-05-2019	Revisó:  2703201917:36:0: 1GoCg-X1sG0 C. Marulanda 21-05-2019	
VoBo. Ingeniero Ejecutor	VoBo. Ingeniero Ejecutor	VoBo. Director Departamento de cimentaciones	VoBo. Director de División Geotecnia	
Preparó:  2703201906:06:1: 1GoCg-X1sG0 F. Ortiz 21-05-2019	Revisó:  2703201922:44:2: 1GoCg-X1sG0 M. Jara 21-05-2019	Revisó:  2703201906:33:1: 1GoCg-X1sG0 J. Castaño 21-05-2019	Aprobó:  2703201910:28:4: 1GoCg-X1sG0 A. Marulanda 21-05-2019	
VoBo. Ingeniero Ejecutor	VoBo. Director Departamento Hidrología	VoBo. Director de División Recursos Hidr.	VoBo. Director de Proyecto	

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN EJECUTIVO	16
1.1. TRAZADOS GEOMÉTRICOS	16
1.2. REVISIÓN DE INFORMACIÓN DISPONIBLE	16
1.3. CRITERIOS DE DISEÑO	16
1.4. TERRACERÍAS	16
1.5. DRENAJES	16
1.6. DISEÑOS DE SEÑALIZACIÓN	17
1.7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	17
2. OBJETIVOS	18
2.1. DISEÑO DE CARRETERAS	18
2.2. DISEÑO DE TALUDES Y TERRAPLENES	18
2.3. DRENAJES	18
2.4. DISEÑO DE SEÑALIZACIÓN	18
3. DESCRIPCIÓN METODOLOGÍA DE TRABAJO	19
3.1. DISEÑO GEOMÉTRICO	19
3.2. INFRAESTRUCTURA VIAL, PUENTES, TERRACERÍAS Y PAVIMENTOS	19
3.3. DRENAJES	19
3.4. DISEÑO DE SEÑALIZACIÓN	20
4. REVISIÓN INFORMACIÓN DISPONIBLE	21
4.1. INFORMACIÓN ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD MWH	21
4.2. VISITA DE RECONOCIMIENTO	21
4.2.1. Recorrido Colón zona de influencia del estudio	21
4.2.1.1. Colón - Escobal	22
4.2.1.2. Escobal - Cuipo	22
4.2.1.3. Cuipo - Los Cedros	23
4.2.2. Recorrido Puerto Balboa zona de influencia del estudio	26
4.2.2.1. Loma Coba - La Chorrera	26
4.2.2.2. La Chorrera - Los Faldares	27
4.2.2.3. Los Faldares - Paraíso	27
4.2.2.4. Paraíso – Cirí de Los Sotos	28
4.2.2.5. Paraíso – Tres Hermanas	29
4.2.2.6. Tres Hermanas - La Conga	29
5. CRITERIOS DE DISEÑO	30
5.1. CRITERIOS DE DISEÑO GEOMÉTRICO	30
5.1.1. Vehículo de diseño	30
5.1.2. Velocidad de diseño	30
5.1.3. Radio mínimo de giro	31
5.1.4. Transición del peralte	31
5.1.5. Pendientes longitudinales	31
5.1.6. Longitud mínima de las curvas verticales	32

5.1.7. Bombeo normal	33
5.1.8. Secciones transversales	33
5.1.9. Intersecciones	33
5.1.10. Resumen parámetros de diseño	33
5.1.11. Consideraciones Socio Ambientales	34
5.2. CRITERIOS DE DISEÑO PARA INFRAESTRUCTURA VIAL, PUENTES, TERRACERÍAS Y PAVIMENTOS	35
5.2.1. Cimentaciones de puentes y estribos	35
5.2.1.1. Diseño de Puentes	35
5.2.1.1.1. Estados límites y factores de resistencia	35
5.2.1.2. Diseño de Estribos y estructuras de contención	38
5.2.1.2.1. Estado límite de resistencia	38
5.2.1.2.2. Estado límite de servicio	39
5.2.1.2.3. Estado límite de evento extremo	39
5.2.1.3. Caracterización de materiales	39
5.2.1.3.1. Resistencia no drenada en suelos	40
5.2.1.3.2. Resistencia al corte drenado en suelos	40
5.2.1.3.3. Resistencia macizos rocosos	40
5.2.1.4. Evaluación de asentamientos	40
5.2.2. Terracerías	40
5.2.2.1. Caracterización geotécnica	40
5.2.2.1.1. Resistencia no drenada en suelos	41
5.2.2.1.2. Resistencia al corte drenado en suelos	41
5.2.2.1.3. Resistencia macizos rocosos	41
5.2.2.2. Zonificación geotécnica	42
5.2.2.3. Niveles de estabilidad	42
5.2.2.4. Criterios de asentamiento y deformabilidad	43
5.2.2.5. Drenaje, manejo de aguas y protección contra erosión	43
5.2.3. Pavimentos	44
5.2.3.1. Diseño de pavimento	44
5.2.3.1.1. Tránsito	44
5.2.3.1.2. Subrasante	44
5.2.3.1.3. Materiales granulares nuevos	45
5.2.3.1.4. Hormigón Asfáltico	45
5.2.3.2. Diseño estructuras	47
5.2.3.3. Criterios aplicados a la metodología mecanicista	48
5.2.3.4. Criterios aplicados a la metodología AASHTO	48
5.2.3.5. Criterios subdrenes (filtros longitudinales)	48
5.3. CRITERIOS DE DISEÑO DE DRENAJES	49
5.3.1. Criterios Hidrológicos	49
5.3.2. Criterios Hidráulicos	49
5.4. CRITERIOS DE DISEÑO SEÑALIZACIÓN	50
5.4.1. Señalización vertical	50
5.4.1.1. Localización de las señales	51
5.4.1.1.1. Ubicación lateral o Claro lateral de las señales	51

5.4.1.1.2. Ubicación vertical o altura libre de la señales	51
5.4.1.1.3. Ángulo de colocación de la señal	52
5.4.1.2. Dimensión de tableros	52
5.4.2. Señalización horizontal - Demarcación en el Pavimento	52
5.4.2.1. Demarcación de pavimentos	52
5.4.2.2. Marcas transversales	53
5.4.2.3. Marcas incrustadas en el pavimento	53
5.4.2.4. Dimensiones de demarcaciones de pavimentos y bordes de pavimentos	53
5.4.3. Barreras De Contención	53
6. DISEÑO DE VÍAS	55
6.1. ESQUEMA VIAL PROPUESTO	55
6.2. DESCRIPCIÓN DE LOS ALINEAMIENTOS	56
6.2.1. Tramo 1	56
6.2.2. Tramo 2	57
6.2.3. Tramo 3	58
6.2.4. Tramo 4	59
6.2.5. Tramo 5	60
6.2.6. Tramo 6	61
6.2.7. Tramo 7	62
6.2.8. Acceso a ventana 2	63
6.2.9. Acceso pozo de compuertas túnel trasvase	64
6.2.10. Ramal acceso a presa	65
6.2.11. Acceso a ataguía	66
6.2.12. Acceso a contraataguía y vertedero	66
6.2.13. Acceso Sur	67
6.2.14. Acceso Norte	68
6.2.15. Acceso portal salida túnel	68
6.2.16. Acceso a El Campano	69
6.3. RESULTADOS DEL DISEÑO GEOMÉTRICO	70
6.4. MEMORIAS DE CÁLCULO	70
6.4.1. Cálculo de cantidades de obra	70
6.4.2. Reportes de alineamiento	72
7. MODELO GEOLÓGICO	73
7.1. CONTEXTO GEOLÓGICO	73
7.1.1. Geología estructural y fallamiento activo	75
7.2. GEOLOGÍA LOCAL	80
7.3. VÍAS DE ACCESO	81
8. ANÁLISIS GEOTÉCNICOS: INFRAESTRUCTURA VIAL, PUENTES, TERRACERÍAS Y PAVIMENTOS	83
8.1. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA	83
8.1.1. Terracerías	83
8.1.1.1. Exploraciones de Campo	83
8.1.1.2. Perforaciones	83

8.1.1.3. Geofísica	83
8.1.1.4. Ensayos de Laboratorio	84
8.1.1.5. Morfología de Taludes Existentes	84
8.1.1.6. Caracterización de los Materiales	85
8.1.1.6.1. Formación Caimito	85
8.1.1.6.2. Areniscas de la Formación Caimito	86
8.1.1.7. Depósitos Cuaternarios	87
8.1.1.7.1. Suelo residual de la Formación Caimito con influencia Coluvial, Qc	87
8.1.2. Pavimentos	90
8.1.2.1. Exploraciones de Campo	90
8.1.2.2. Resultados Pruebas de Laboratorio	92
8.1.2.3. Características Geotécnicas y CBR	92
8.1.2.3.1. Límites y humedad	92
8.1.2.3.2. Gradación	93
8.1.2.3.3. Geología	93
8.1.2.3.4. Análisis expansividad	94
8.1.2.3.5. CBR	95
8.1.2.3.6. Análisis de resistencia de la subrasante	98
8.2. ANÁLISIS DE TRÁFICO	99
9. DISEÑO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DE OBRAS DE DRENAJES	99
9.1. HIDROLOGÍA	100
9.1.1. Recopilación de información	101
9.1.1.1. Información hidrológica	101
9.1.1.2. Información cartográfica	101
9.1.2. Metodología	101
9.1.3. Análisis de caudales	101
9.1.3.1. Caracterización morfométrica de las cuencas	101
9.1.3.2. Método racional	104
9.1.3.3. Método del Hidrograma Unitario del SCS (Área >2.5 Km ²)	108
9.1.4. Justificación de fórmulas empleadas	112
9.1.5. Aplicación de las teorías y métodos de predicción	112
9.2. ESTUDIOS HIDRÁULICOS	116
9.2.1. Análisis hidráulico de alcantarillas	116
9.2.1.1. Obras De Drenaje Transversal, Alcantarillas Y Box Culvert	116
9.2.1.1.1. Funcionamiento Hidráulico	117
9.2.1.2. Análisis De Obras De Drenaje Transversal, Alcantarillas Y Box Culvert	119
9.2.2. Drenaje longitudinal	129
9.2.2.1. Cunetas	130
9.2.2.1.1. Cuneta lateral	131
9.2.2.1.2. Cuneta berma en corte	131
9.2.2.2. Zanjias De Coronación	132
9.2.2.3. Estructuras Escalonadas	132
10. DISEÑO GEOTÉCNICO	134

10.1. Terracerías	134
10.1.1. Taludes de Corte	134
10.1.1.1. Análisis de Estabilidad	153
10.1.1.1.1. Tramo 1 (vía de uso Permanente)	153
10.1.1.1.2. Tramo 2 (vía de uso Temporal)	156
10.1.1.1.3. Tramo 3 (vía de uso Permanente)	158
10.1.1.1.4. Tramo 4 (vía de uso Permanente)	163
10.1.1.1.5. Tramo 5 (vía de uso Temporal)	166
10.1.1.1.6. Tramo 6 (vía de uso Temporal)	168
10.1.1.1.7. Tramo 7 (vía de uso Temporal - Permanente tramo final)	171
10.1.1.1.8. Acceso a Ventana 2 (vía de uso Permanente)	173
10.1.1.1.9. Acceso Ataguía (vía de uso Temporal)	175
10.1.1.1.10. Acceso contraataguía y vertedero (vía de uso Temporal)	177
10.1.1.1.11. Acceso a Portal Entrada galería de Acceso (vía de uso Permanente)	179
10.1.1.1.12. Acceso a Pozo de Compuertas Túnel Trasvase (vía de uso Permanente)	181
10.1.1.1.13. Ramal Acceso a Presa (vía de uso Permanente)	183
10.1.1.1.14. Tramo Norte (vía de uso Permanente)	183
10.1.1.1.15. Tramo Sur (vía de uso Permanente)	185
10.1.1.1.16. Tramo Acceso a Portal Salida Túnel de Transferencia (vía de uso Permanente)	187
10.1.1.2. Geometría y medidas de Protección y/o Refuerzo	189
10.1.2. Terraplenes	198
10.1.2.1. Resultados de los Análisis de Estabilidad	206
10.1.2.2. Análisis de Asentamientos de los Terraplenes	210
10.1.2.3. Geometría y Protección Recomendada	211
10.2. PAVIMENTOS	212
11. DISEÑO DE SEÑALIZACIÓN	218
11.1. CARACTERÍSTICAS DE LA VÍAS	218
11.2. SEÑALIZACIÓN VERTICAL	219
11.3. SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL	220
11.4. BARRERAS DE CONTENCIÓN	221
11.4.1. Nivel de Contención de la Barrera	221
11.4.2. Terminales de Defensa	221
11.5. RESULTADOS DEL DISEÑO DE SEÑALIZACIÓN	221
12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	228
13. REFERENCIAS	231
14. ANEXOS	232

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Radios mínimos de giro de los vehículos de diseño
- Tabla 2. Pendiente máxima para carreteras colectoras rurales
- Tabla 3. Valores de la constante K para curvas verticales en cresta
- Tabla 4. Valores de la constante K para curvas verticales cóncavas o en columpio
- Tabla 5. Bombeo normal para carreteras pavimentadas y sin pavimentar
- Tabla 6. Parámetros mínimos de diseño geométrico
- Tabla 7. Factores de resistencia para la resistencia geotécnica de cimentaciones superficiales en el estado límite de resistencia (AASHTO, 2014)
- Tabla 8. Factores de resistencia para la resistencia de pilotes perforados (AASHTO, 2014)
- Tabla 9. Factores de resistencia para muros de sostenimiento permanente (AASHTO, 2014)
- Tabla 10. Factores de Resistencia para Cargas Extremas (AASHTO, 2014)
- Tabla 11. Factores de seguridad básicos mínimos directos para taludes en suelos (Tomado de REP-14, Numeral A6.6.3.7)
- Tabla 12. Estimativo de cargas de tránsito
- Tabla 13. Cálculo temperatura media anual ponderada (w-MAAT)
- Tabla 14. Periodos de retorno de diseño obras de drenaje.
- Tabla 15. Descripción vías diseñadas
- Tabla 16. Resumen volúmenes de explanación
- Tabla 17. Resumen volúmenes de pavimento
- Tabla 18. Localización de perforaciones usadas para taludes.
- Tabla 19. Localización de las líneas sísmicas
- Tabla 20. Cantidad de ensayos ejecutados
- Tabla 21. Resumen altura de Taludes Existentes
- Tabla 22. Formación Caimito. Parámetros de resistencia del macizo rocoso utilizados en los análisis geotécnicos para areniscas
- Tabla 23. Suelos Residuales de la Formación caimito con influencia coluvial. Parámetros utilizados en los análisis geotécnicos
- Tabla 24. Tramos de diseño
- Tabla 25. Relación de apiques
- Tabla 26. Relación de ensayos realizados
- Tabla 27. CBR sumergido por tramo
- Tabla 28. Ejes equivalentes para el diseño de las estructuras de pavimento
- Tabla 29. Características de los tramos de vías

- Tabla 30. Formulaciones empíricas para el cálculo del tiempo de concentración.
- Tabla 31. Características morfométricas y tiempos de concentración de las cuencas en estudio para áreas mayor 0.09 km².
- Tabla 32. Coeficientes de Escorrentía - Manual de Requisitos y Normas Generales de Panamá.
- Tabla 33. Valores de Intensidad en mm/h para diferentes periodos de retorno.
- Tabla 34. Valores de CN II para Diferentes Usos de Tierra
- Tabla 35. CN tipo III para cuencas con área de drenaje superior a 2,5 km².
- Tabla 36. Resumen de parámetros de modelación para estimar caudales máximos en cuencas mayores a 2.5 km² - Hidrograma unitario del SCS.
- Tabla 37. Caudales máximos en m³/s asociados a diferentes periodos de retorno en las cuencas analizadas.
- Tabla 38. Caudales máximos obtenidos en todas las cuencas analizadas
- Tabla 39. Resumen dimensionamiento obras proyectadas
- Tabla 40. Dimensiones de las estructuras escalonadas
- Tabla 41. Taludes de corte Tramo 1
- Tabla 42. Taludes de corte Tramo 2
- Tabla 43. Taludes de corte Tramo 3
- Tabla 44. Taludes de corte Tramo 4
- Tabla 45. Taludes de corte Tramo 5
- Tabla 46. Taludes de corte Tramo 6
- Tabla 47. Taludes de corte Tramo 7
- Tabla 48. Taludes de corte Tramo Ventana 2
- Tabla 49. Taludes de corte Pozo de Compuertas Túnel Traslase
- Tabla 50. Taludes de corte Galería De Acceso
- Tabla 51. Taludes de corte Acceso Ataguía
- Tabla 52. Taludes de corte Acceso Contraataguía
- Tabla 53. Taludes de corte Acceso a Presa
- Tabla 54. Factores de seguridad del talud analizado. Sección PF-T1-2+270
- Tabla 55. Factores de seguridad del talud analizado. Sección PF-T1-2+890
- Tabla 56. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-T2-1+630
- Tabla 57. Factores de seguridad del talud analizado. Sección PF-T2-3+130
- Tabla 58. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-T3-7+350

- Tabla 59. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-T3-10+250
- Tabla 60. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-T3-10+750
- Tabla 61. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-T4-0+400
- Tabla 62. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-T4-0+450
- Tabla 63. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-T5-0+230
- Tabla 64. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-T6-1+450
- Tabla 65. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-T6-1+490
- Tabla 66. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-T7-2+000
- Tabla 67. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-V2-0+160
- Tabla 68. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-AT-0+080
- Tabla 69. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-CAT-0+120
- Tabla 70. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-PEGA-0+255
- Tabla 71. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-PCTT-0+280
- Tabla 72. Parámetros de diseño y características de la malla. Talud de corte en suelos residuales.
- Tabla 73. Taludes de corte Tramo 1. Geometría propuesta.
- Tabla 74. Taludes de corte Tramo 2. Geometría propuesta.
- Tabla 75. Taludes de corte Tramo 3. Geometría propuesta.
- Tabla 76. Taludes de corte Tramo 4. Geometría propuesta.
- Tabla 77. Taludes de corte Tramo 5. Geometría propuesta.
- Tabla 78. Taludes de corte Tramo 6. Geometría propuesta.
- Tabla 79. Taludes de corte Tramo 7. Geometría propuesta.
- Tabla 80. Taludes de corte Ventana 2. Geometría propuesta.
- Tabla 81. Taludes de corte Pozo de Compuertas Túnel Transversal. Geometría propuesta.
- Tabla 82. Taludes de corte Galería De Acceso. Geometría propuesta.
- Tabla 83. Taludes de corte Acceso Ataguía. Geometría propuesta.
- Tabla 84. Taludes de corte Acceso Contraataguía. Geometría propuesta.
- Tabla 85. Terraplenes proyectados para la ejecución de la vía Tramo 1
- Tabla 86. Terraplenes proyectados para la ejecución de la vía Tramo 2
- Tabla 87. Terraplenes proyectados para la ejecución de la vía Tramo 3
- Tabla 88. Terraplenes proyectados para la ejecución de la vía Tramo 4

- Tabla 89. Terraplenes proyectados para la ejecución de la vía Tramo 5
- Tabla 90. Terraplenes proyectados para la ejecución de la vía Tramo 6
- Tabla 91. Terraplenes proyectados para la ejecución de la vía Tramo 7
- Tabla 92. Terraplenes proyectados para la ejecución de la vía Tramo Ventana 2
- Tabla 93. Terraplenes proyectados para la ejecución de la vía Tramo Acceso Contraatagúa
- Tabla 94. Terraplenes proyectados para la ejecución de la vía Tramo Acceso a Portal Entrada Galería de Acceso
- Tabla 95. Terraplenes proyectados para la ejecución de la vía Tramo Acceso Pozo de Compuertas Túnel Traslase
- Tabla 96. Parámetros geomecánicos de los materiales de conformación de los terraplenes
- Tabla 97. Envoltorio de resistencia de los materiales de conformación de los pedraplenes
- Tabla 98. Factores de seguridad de los terraplenes analizados
- Tabla 99. Parámetros de compresibilidad
- Tabla 100. Análisis de asentamientos para terraplenes
- Tabla 101. Espesores requeridos de mejoramiento de la subrasante.
- Tabla 102. Espesores estructura de pavimento por tramo
- Tabla 103. Principales características de las vías diseñadas
- Tabla 104. Espaciamiento máximo entre delineadores direccionales tipo "Chevron"
- Tabla 105. Resumen cantidades diseño de señalización - Tramo 1
- Tabla 106. Resumen cantidades diseño de señalización - Tramo 2
- Tabla 107. Resumen cantidades diseño de señalización - Tramo 3
- Tabla 108. Resumen cantidades diseño de señalización - Tramo 4
- Tabla 109. Resumen cantidades diseño de señalización - Tramo 5
- Tabla 110. Resumen cantidades diseño de señalización - Tramo 6
- Tabla 111. Resumen cantidades diseño de señalización - Tramo 7
- Tabla 112. Resumen cantidades diseño de señalización - Acceso a ventana 2
- Tabla 113. Resumen cantidades diseño de señalización - Acceso Atagúa
- Tabla 114. Resumen cantidades diseño de señalización - Acceso Contra Atagúa y Portal entrada Galería de Acceso
- Tabla 115. Resumen cantidades diseño de señalización - Acceso pozo compuertas túnel traslase
- Tabla 116. Resumen cantidades diseño de señalización - Ramal acceso a presa

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Recorrido Colón zona de influencia del estudio
- Figura 2. Sector Colón – Escobal
- Figura 3. Sector Escobal – Cuipo
- Figura 4. Sector Cuipo - Los Cedros
- Figura 5. Sector Los Cedros – Ciricito
- Figura 6. Sector Los Cedros - El Congo
- Figura 7. Sector El Congo hacia Los Uveros
- Figura 8. Cuipo – sector Puerca Gorda
- Figura 9. Puerca Gorda - El Limón
- Figura 10. Recorrido Puerto Balboa zona de influencia del estudio
- Figura 11. Loma Coba - La Chorrera
- Figura 12. La Chorrera - Los Faldares
- Figura 13. Los Faldares – Paraíso
- Figura 14. Paraíso - Cirí de los Sotos
- Figura 15. Paraíso - Tres Hermanas
- Figura 16. Tres hermanas - Conga
- Figura 17. Vehículo de diseño. Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2011
- Figura 18. Ábacos propuestos por AASHTO para Bases y Subbases granulares
- Figura 19. Módulo de la mezcla asfáltica en función de la temperatura.
- Figura 20. Factor de fatiga en función de la temperatura.
- Figura 21. Dimensiones mínimas lateral y vertical entre señal y vértice con y sin espaldón pavimentado.
- Figura 22. Dimensiones mínimas lateral y vertical con ensamble dirección de información.
- Figura 23. Esquemas vías diseñadas
- Figura 24. Trazado tramo 1
- Figura 25. Trazado tramo 2
- Figura 26. Trazado Tramo 3

- Figura 27. Trazado Tramo 4
- Figura 28. Trazado Tramo 5
- Figura 29. Trazado Tramo 6
- Figura 30. Trazado Tramo 7
- Figura 31. Acceso a ventana 2
- Figura 32. Acceso pozo de compuertas túnel trasvase
- Figura 33. Trazado ramal acceso a presa
- Figura 34. Trazado acceso a ataguía
- Figura 35. Trazado acceso a contraataguía y vertedero
- Figura 36. Trazado tramo sur
- Figura 37. Trazado tramo norte
- Figura 38. Trazado Portal Salida Túnel
- Figura 39. Acceso a El Campano
- Figura 40. Localización del reservorio propuesto del Río Indio en el Centro del Istmo de Panamá, teniendo en cuenta la configuración tectónica de Centro América y la esquina Noroeste de América del Sur. Tomado de Denyer (1998)
- Figura 41. Localización del reservorio propuesto del Río Indio en la franja de rocas sedimentarias del Terciario en el Istmo de Panamá. Tomado de Badilla et al (1999)
- Figura 42. Mapa de Fallas Cuaternarias de Panamá con localización del reservorio propuesto del Río Indio al Suroeste de la traza de la Falla del Río Gatún. Tomado de Cowan et al (1998)
- Figura 43. Mapa de la región de la Zona del Canal de Panamá mostrando la localización de las fallas corticales consideradas en análisis probabilístico de la amenaza sísmica. Tomado de URS (2008)
- Figura 44. Modelos estructurales de las fallas en el centro de Panamá. Tomado del Archivo Adjunto F del informe de URS (2008)
- Figura 45. Interpretación fotogeológica de lineamientos de falla en la zona del Reservorio Multipropósito del Río Indio
- Figura 46. Mapa Geológico de la zona del reservorio multipropósito propuesto del Río Indio. (MICI, Milton J. Solano, 1990)
- Figura 47. Red Vial Básica en la zona del reservorio propuesto del Río Indio
- Figura 48. Estado de la Vía Norte
- Figura 49. Estado de la Vía Sur
- Figura 50. Afloramiento de la Formación Caimito (TO - CAI)
- Figura 51. Resultados de laboratorio. Análisis granulométrico y peso unitario total de las areniscas de la Formación Caimito

- Figura 52. Ensayos de compresión simple para las areniscas de la Formación Caimito
- Figura 53. Aspectos de los Suelos Residuales de la Formación caimito TO-CAI con influencia coluvial, Qc
- Figura 54. Resultados de laboratorio. Análisis granulométrico y peso unitario total de los Suelos Residuales de la Formación caimito TO-CAI con influencia coluvial, Qc
- Figura 55. Parámetros de SPT e Índice de Plasticidad Suelos Residuales de la Formación caimito TO-CAI con influencia coluvial, Qc
- Figura 56. Carta de plasticidad de los Suelos Residuales de la Formación caimito TO-CAI con influencia coluvial, Qc
- Figura 57. Esquema general de las vías a diseñar.
- Figura 58. Límites y humedad
- Figura 59. Composición granulométrica de los suelos
- Figura 60. Geología
- Figura 61. Carta de plasticidad y gráficos de expansión.
- Figura 62. CBR vs valores de PDC
- Figura 63. Relación CBR humedad natural y sumergido.
- Figura 64. CBR's obtenidos en la subrasante
- Figura 65. Curvas IDF a diferentes periodos de retorno.
- Figura 66. Hidrograma Unitario Triangular del SCS.
- Figura 67. Distribución de precipitación por método de bloques alternos para la cuenca T1-8.
- Figura 68. Alternativas para localización en planta de alcantarillas
- Figura 69. Condiciones de flujo en alcantarillas
- Figura 70. Elementos de drenaje longitudinal
- Figura 71. Sección cuneta lateral en calzada
- Figura 72. Sección cuneta berma
- Figura 73. Sección de zanja de coronación
- Figura 74. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-T1-2+270
- Figura 75. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-T1-2+890
- Figura 76. Análisis de estabilidad estático. Corte propuesto. Sección PF-T1-2+270
- Figura 77. Análisis de estabilidad estático. Corte propuesto. Sección PF-T1-2+890
- Figura 78. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual - Sección PF-T2-1+630
- Figura 79. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual - Sección PF-T2-3+130
- Figura 80. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto - Sección PF-T2-1+630

- Figura 81. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto - Sección PF-T2-3+130
- Figura 82. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-T3-7+350
- Figura 83. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-T3-10+250
- Figura 84. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-T3-10+750
- Figura 85. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-T3-7+350
- Figura 86. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-T3-10+250
- Figura 87. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-T3-10+750
- Figura 88. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-T4-0+400
- Figura 89. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-T4-0+450
- Figura 90. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-T4-0+400
- Figura 91. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-T4-0+450
- Figura 92. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-T5-0+230
- Figura 93. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-T5-0+230
- Figura 94. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-T6-1+450
- Figura 95. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-T6-1+490
- Figura 96. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-T6-1+450
- Figura 97. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-T6-1+490
- Figura 98. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-T7-2+000
- Figura 99. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-T7-2+000
- Figura 100. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-V2-0+160
- Figura 101. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-V2-0+160
- Figura 102. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-AT-0+080
- Figura 103. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-AT-0+080
- Figura 104. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-CATYV-2+500
- Figura 105. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-CATYV-2+500
- Figura 106. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-PEGA-0+255
- Figura 107. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-PEGA-0+255
- Figura 108. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-PCTT-

0+280

Figura 109. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-PCTT-0+280

Figura 110. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-TN-6+790

Figura 111. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-TN-6+790

Figura 112. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-TS-1+560

Figura 113. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-TS-1+560

Figura 114. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-PSTT-0+230

Figura 115. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-PSTT-0+230

Figura 116. Configuración de mallas ancladas. Talud de corte en suelos residuales.

Figura 117. Análisis de estabilidad Estático. Terraplén – Sección PF-T1- K5+160.

Figura 118. Análisis de estabilidad Estático. Terraplén – Sección PF-T2-3+660.

Figura 119. Análisis de estabilidad Estático. Terraplén – Sección PF-T3-2+160

Figura 120. Análisis de estabilidad Estático. Terraplén – Sección PF-T5-0+240.

Figura 121. Análisis de estabilidad Estático. Terraplén – Sección PF-T6-1+490.

Figura 122. Ábaco para determinar el espesor de mejoramiento de subrasante.

Figura 123. Diseño estructura pavimento vías en afirmado

Figura 124. Diseño estructura pavimento vías pavimentadas

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1. Planos de diseño geométrico
- Anexo 2. Cantidades de obra
- Anexo 3. Reportes de alineamientos
- Anexo 4. Ubicación de apiques
- Anexo 5. Caracterización geotécnica y resultados
- Anexo 6. Tiempo de concentración
- Anexo 7. Hietogramas
- Anexo 8. Estimación de cobertura
- Anexo 9. Parámetros cuencas
- Anexo 10. Modelo HMS
- Anexo 11. Caudales
- Anexo 12. Planos obras de drenaje
- Anexo 13. Diseño de obras transversales
- Anexo 14. Memorias de diseño cunetas - calzada
- Anexo 15. Memorias de diseño cuneta - berma
- Anexo 16. Memorias de diseño zanjas de coronación
- Anexo 17. Memorias de diseño estructuras escalonadas
- Anexo 18. Resumen de ensayos de laboratorio
- Anexo 19. Análisis de estabilidad
- Anexo 20. Planos terracerías
- Anexo 21. Reportes de localización de señales
- Anexo 22. Planos de diseño de señalización

1. RESUMEN EJECUTIVO



En el marco del contrato 023-2106 celebrado entre el Ministerio de Ambiente y la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), se contrató a INGETEC para realizar los estudios y el diseño conceptual de un reservorio multipropósito en la cuenca del Río Indio, a través del contrato de consultoría No. SAA 390197, "Studies and Conceptual Design for Indio River Multipurpose Reservoir" del 5 de septiembre del año 2017.

El alcance del contrato incluye los diseños conceptuales del reservorio multipropósito, obras anexas y túnel trasvase que conduce caudal desde la cuenca de Río Indio hacia la cuenca del Lago Gatún. Lo anterior, en conjunto con la evaluación de proyectos complementarios para el manejo cuenca en mención que viene adelantando la Autoridad del Canal de Panamá con diversos consultores.

El presente informe describe la información manejada, los criterios y parámetros definidos, y los procedimientos desarrollados para la ejecución de los diseños viales del proyecto Río Indio.

1.1. TRAZADOS GEOMÉTRICOS

Se ejecutó el diseño geométrico de 39.30 km de vías de acceso (11.07 km de acceso temporal y 28.23 km de acceso permanente), los cuales conducen a las obras principales del estudio y se integran con la infraestructura existente. Los diseños se definieron de acuerdo con los parámetros establecidos en el documento INDIO-RP-GG-DBAS-001 (Design Basis Memoranda Report) y la topografía LIDAR suministrada por ACP.

1.2. REVISIÓN DE INFORMACIÓN DISPONIBLE

En cuanto a la revisión de la información disponible, en el documento se exponen las observaciones y comentarios relacionados a la topografía LIDAR, el estudio de Factibilidad de MHW y los levantamientos batimétricos suministrados por ACP. Igualmente, se presenta la información recopilada en el desarrollo en la visita de reconocimiento llevada a cabo a finales del mes de noviembre de 2017.

1.3. CRITERIOS DE DISEÑO

Los criterios de diseño son descritos y definidos en el documento, de acuerdo con los requerimientos y recomendaciones del Manual de Especificaciones Técnicas para aprobación de planos en la República de Panamá MOP 2004, la norma AASHTO 2011, y el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras de 2011.

1.4. TERRACERÍAS

El estudio comprende el análisis de los aspectos geológicos y geomorfológicos de los tramos analizados, la definición de las propiedades de los materiales y la elaboración de los diseños geotécnicos necesarios para establecer la geometría de los terraplenes, los taludes de corte viales y las obras y/o medidas complementarias de protección de taludes y de mitigación de procesos de remoción en masa.

1.5. DRENAJES

El diseño del sistema de drenaje de los 39.3 km de acceso, contempló la proyección de alcantarillas, box culvert, cuneta en calzada y berma de cortes, zanja de coronación y estructuras de disipación, para el manejo de la escorrentía que se genere en la vía, adicionalmente el cruce por cauces importante se maneja con box culvert de varias celdas.

1.6. DISEÑOS DE SEÑALIZACIÓN

Se ejecutó el diseño de señalización de quince accesos viales para longitud total de 39.3 Km, distribuidos en accesos en afirmado que incluyeron el diseño de señalización vertical y accesos pavimentadas que incluyeron el diseño de señalización vertical y horizontal.

Para la ejecución de los diseños se tuvo en cuenta lo establecido en el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito (2014/200) en cual fue expedido por la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA) mediante la Resolución No. 02-2014 (COMITRAN-XXIII); y para el caso de implementación de barreras de contención, lo indicado en el Roadside Design Guide. American Association of State Highway and Transportation Officials.

Como producto de los diseños se generaron planos en planta con la presentación del diseño de señalización de cada vía y la estimación de las cantidades de obra correspondientes.

1.7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en los análisis de estabilidad se establecieron las recomendaciones de taludes de corte y terraplén teniendo en cuenta las condiciones de los materiales aflorantes, materiales de fundación, la geología estructural, los posibles mecanismos de falla, los parámetros geotécnicos, los parámetros geomecánicos de los materiales, y la geometría requerida para la construcción de los tramos viales necesarios para garantizar el acceso a las obras principales y secundarias del sistema multipropósito Río Indio.

Se realizó un diseño funcional que satisface los requerimientos de acceso a cada uno de los componentes del proyecto y se presenta como resultado, las cantidades de obra necesarias para evaluar la etapa de factibilidad. Con el esquema vial propuesto, se garantiza el ingreso por el norte y por el sur, lo que aumenta la capacidad de conexión del proyecto.

2. OBJETIVOS

2.1. DISEÑO DE CARRETERAS

- Establecer los criterios apropiados para el diseño geométrico a nivel conceptual de las vías de acceso del estudio.
- Presentar los diseños geométricos de las vías de acceso al proyecto y a las obras principales.
- Generar planos y cantidades de obra como resultado del estudio.

2.2. DISEÑO DE TALUDES Y TERRAPLENES

- Realizar un reconocimiento de campo con el fin de evidenciar el estado actual de las áreas en las cuales se construirán las vías.
- Identificar mediante exploraciones de campo los materiales que conforman el terreno de fundación para la conformación de los terraplenes de la vía y los taludes de corte.
- Caracterizar por medio de ensayos in situ, ensayos de laboratorio y correlaciones el comportamiento físico-mecánico de los materiales presentes en el corredor.
- Analizar y diseñar los taludes de corte en suelo y roca a partir de las características geomecánicas de los materiales identificados en el corredor.
- Realizar los análisis de estabilidad de rellenos y de sus asentamientos en función de las condiciones geométricas, geológicas y geotécnicas propias del tramo en estudio.

2.3. DRENAJES

- Diseñar las obras de drenaje necesarias para el manejo de la escorrentía generada en la vía y sus áreas adyacentes acorde con las recomendaciones del MOP.
- Realizar los análisis hidrológicos aplicables que permitan establecer los caudales de diseño de las obras de drenaje transversal y longitudinal para las vías de acceso del proyecto.
- Plantear y realizar el diseño hidráulico de las obras de drenaje transversal necesarias para el manejo del drenaje de las vías de acceso al proyecto.
- Plantear y realizar el diseño hidráulico de las obras de drenaje longitudinal necesarias para el manejo del drenaje de las vías de acceso al proyecto.

2.4. DISEÑO DE SEÑALIZACIÓN

- Establecer los criterios para el diseño de señalización vertical y horizontal de las vías de acceso del estudio, de acuerdo con la velocidad de diseño y tipo de superficie de rodadura.
- Ejecución del diseño de señalización de las vías de acceso
- Generación de planos y estimación de las cantidades de obra como resultado del estudio.

3. DESCRIPCIÓN METODOLOGÍA DE TRABAJO

A continuación se describe la metodología de trabajo implementada en los diseños viales.

3.1. DISEÑO GEOMÉTRICO

Para el diseño geométrico de las carreteras, se emplearon los parámetros definidos en el Submittal 007 (Criterios de Diseño). Estos parámetros fueron seleccionados de acuerdo con las condiciones de operación requeridas y en cumplimiento con lo establecido en los términos de referencia y la normatividad aplicable.

En el planteamiento de los parámetros de diseño geométrico de las vías, se consideró el aprovechamiento de las carreteras existentes y se evaluó el trazado que presente la menor afectación ambiental, con el objetivo de disminuir los costos de las alternativas evaluadas y optimizar los tiempos de diseño.

Una vez establecidos los parámetros de diseño geométrico e identificados los puntos de empalme obligados, se procedió a ejecutar el diseño de los ejes definitivos de las carreteras de acceso, verificando el perfil de acuerdo con los parámetros de la normativa relacionados a las pendientes mínimas, máximas y curvas verticales.

El trazado se definió teniendo en cuenta la cota de salida y llegada de la carretera, pasos obligados como conexión con las demás carreteras existentes y condiciones geotécnicas apropiadas entre otros.

Finalmente, a partir de los alineamientos horizontales y verticales seleccionados, se elaboraron planos horizontales, verticales, secciones transversales, localización de obras de drenaje y el análisis de movimiento de tierra por medio del DTM.

3.2. INFRAESTRUCTURA VIAL, PUENTES, TERRACERÍAS Y PAVIMENTOS

El diseño de la infraestructura vial, puentes, terracerías y pavimentos que hacen parte del esquema del Proyecto que será desarrollado utilizando como insumo fundamental el modelo geológico y geotécnico de la zona de estudio. El modelo geológico-geotécnico permitirá adelantar la caracterización geotécnica del perfil estratigráfico que se presenta a lo largo del corredor de las vías que hacen parte de la zona de influencia del Proyecto. La caracterización geotécnica permitirá definir parámetros de resistencia, deformabilidad y permeabilidad necesarios para adelantar el diseño de las obras que conforman las vías de acceso y de conectividad en la zona.

Los diseños están enfocados en la estimación de la geometría, cantidades, procesos constructivos y especificaciones necesarias para desarrollar los cortes y rellenos necesarios para conformar terracerías y el diseño de la fundación de puentes y la estructura de pavimento. Las cantidades y procesos constructivos establecidos servirán de insumo para el diseño del presupuesto y cronograma.

3.3. DRENAJES

El diseño del sistema de drenaje de las vías de acceso del proyecto está en función del diseño geométrico y las condiciones morfométricas de las áreas adyacente. La ejecución de los diseños de las obras de drenaje con llevó de manera general:

- Análisis morfométrico de las cuencas aferentes.
- Estimación de los valores de lluvia de diseño.
- Estimación de caudales de diseño
- Identificación de los sectores y sitios donde se necesita obras de drenaje (transversales y longitudinales) para el manejo de la escorrentía superficial.
- Dimensionamiento de las obras de drenaje proyectadas.
- Elaboración de planos de cuencas aferentes, de localización en planta de las obras (transversales y longitudinales) y de detalles de las obras.

3.4. DISEÑO DE SEÑALIZACIÓN

El diseño de señalización fueron realizados a partir de los diseños en planta & perfil y secciones transversales, siguiendo los criterios de diseño de señalización.

4. REVISIÓN INFORMACIÓN DISPONIBLE

4.1. INFORMACIÓN ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD MWH

En la información del estudio de Factibilidad elaborado por MWH en el año 2003, se presenta un esquema de las carreteras requeridas para la construcción y acceso a las obras principales del Río Indio.

De acuerdo con las especificaciones del estudio, se requiere realizar la construcción de carreteras permanentes para garantizar la conectividad y acceso a las obras potenciales del proyecto, durante y después de la fase de construcción. Igualmente, se requiere evaluar carreteras temporales para garantizar el acceso a las obras principales durante la fase de construcción. El presente reporte presenta dos (2) alternativas para acceder al sitio de obras potenciales, entre las cuales se incluye la construcción de carreteras nuevas y el mejoramiento de las carreteras existentes.

La primera alternativa consiste en conectar la zona, partiendo desde Puerto Cristóbal - Colón, por medio de un esquema de carreteras de aproximadamente 66 km de longitud. En el esquema se presenta una conexión a través de una carretera pavimentada localizada en el costado oeste de las esclusas del Lago Gatún, la cual se conecta con una carretera existente en afirmado de aproximadamente 12 km que permite el acceso a la zona de influencia del estudio.

La segunda alternativa consiste en conectar la zona de ubicación de los sitios potenciales de obras a través del Puerto Balboa - Ciudad de Panamá, ubicada a aproximadamente 88 km a las obras potenciales. Esta alternativa consiste en conectar La Chorrera con el Cigual a través de una carretera existente de 18 km de longitud, y posteriormente generar la conexión entre este punto y Tres Hermanas. Esta última conexión requiere el mejoramiento de la carretera en afirmado existente y la conexión entre este punto y El Limón.

A pesar de que el acceso mediante la carretera que conecta Colón con el sitio de la ubicación potencial de las obras es evidentemente más corto, se seleccionó el acceso a través de Puerto Balboa debido a que hay mayor conectividad con carreteras existentes y la afectación ambiental es inferior.

4.2. VISITA DE RECONOCIMIENTO

En el mes de noviembre de 2017, se realizó una visita de reconocimiento a las carreteras existentes de acceso al potencial Reservorio Río Indio. Se accedió a la zona por el norte desde la ciudad de Colón, y por el sur partiendo desde Puerto Balboa.

4.2.1. Recorrido Colón zona de influencia del estudio

En la visita de reconocimiento realizada por el norte, se partió desde la ciudad de Colón en un recorrido de aproximadamente 80 kilómetros, pasando por las poblaciones de Escobal, Cuipo, Los Cedros, Ciricito, El Congo y El Limón. En la Figura 1 se presenta la ruta del recorrido realizado y se indica la localización de las poblaciones identificadas.

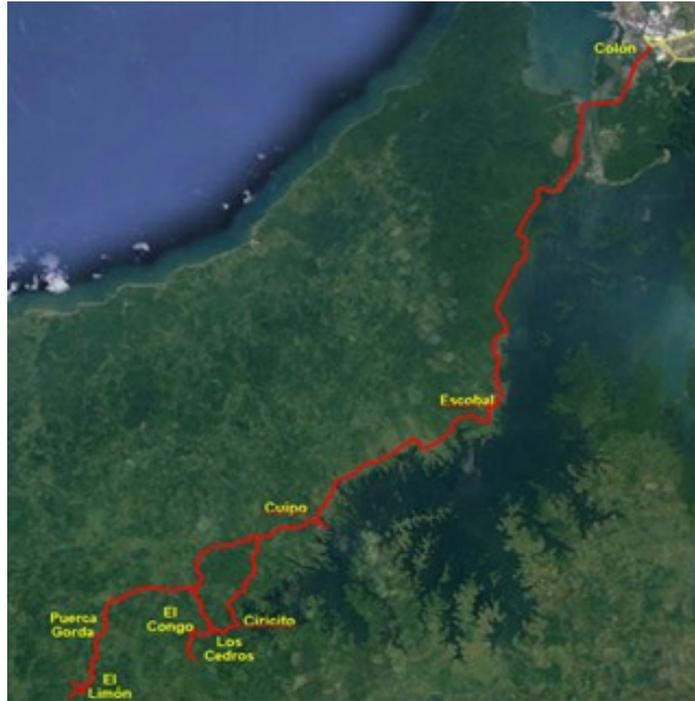


Figura 1. Recorrido Colón zona de influencia del estudio

A continuación se presenta una descripción de los tramos recorridos por el sector norte.

4.2.1.1. Colón - Escobal

Es un tramo bidireccional pavimentado sin bermas, con aproximadamente 26.5 km de longitud; el cruce del canal de Panamá se puede hacer en ferry o por las esclusas del lago Gatún (ver Figura 2).



Figura 2. Sector Colón – Escobal

4.2.1.2. Escobal - Cuipo

Es un tramo bidireccional pavimentado en buen estado con bermas, con aproximadamente 11.5 km de longitud; en la población de Cuipo existe un muelle, por lo tanto, es posible transportar maquinaria y equipos por el lago Gatún hasta este punto (ver Figura 3).



Figura 3. Sector Escobal – Cuipo

4.2.1.3. Cuipo - Los Cedros

Es un tramo bidireccional pavimentado en buen estado con bermas, con aproximadamente 10.2 km de longitud (ver Figura 4). A partir de la zona de los Cedros, se diseñará el acceso a uno de los portales del túnel.



Figura 4. Sector Cuipo - Los Cedros

Los Cedros - Ciricito

Tramo de un kilómetro pavimentado en asfalto, para acceder a la población de Ciricito que también cuenta con un muelle a orillas del Lago Gatún, siendo posible el ingreso de maquinaria y equipos por este punto (ver Figura 5).



Figura 5. Sector Los Cedros – Ciricito

Los Cedros - El Congo

Tramo pavimentado en buen estado, de aproximadamente 3.2 km de longitud, es una de las carreteras de acceso a una cantera (ver Figura 6).



Figura 6. Sector Los Cedros - El Congo

El Congo hacia los Uveros

Es un carreteable de difícil transitabilidad y pendientes fuertes con aproximadamente dos kilómetros de longitud, el cual se puede adecuar para acceder a la zona del túnel (ver Figura 7).



Figura 7. Sector El Congo hacia Los Uveros

Cuipo - sector Puerca Gorda

El tramo está conformado por 8.2 km de carretera pavimentada sin bermas, y 8.8 km de camino carreteable de difícil transitabilidad; por esta carretera se accede a la población del Limón donde está la zona potencial de presa (ver Figura 8).



Figura 8. Cuipo – sector Puerca Gorda

Puerca Gorda - El Limón

Carreteable de aproximadamente 4.1 km de longitud, de difícil transitabilidad, por la cual se accede a la zona de presa; a un kilómetro al nor - occidente de El Limón, y a un kilómetro al sur – occidente de El Limón, existen muelles a través de los cuales se puede transportar maquinaria y equipos por el río Indio (ver Figura 9).



Figura 9. Puerca Gorda - El Limón

4.2.2. Recorrido Puerto Balboa zona de influencia del estudio

En la visita de reconocimiento realizada por el sur, se partió desde Puerto Balboa en un recorrido de aproximadamente 94 kilómetros, pasando por las poblaciones de Loma Coba, La Chorrera, Los Faldares, Paraíso, Ciri de los Sotos, Tres hermanas y La Conga. En la Figura 10 se presenta la ruta del recorrido realizado y la localización de las poblaciones identificadas.



Figura 10. Recorrido Puerto Balboa zona de influencia del estudio

A continuación se presenta una descripción de los tramos recorridos por el sector sur.

4.2.2.1. Loma Coba - La Chorrera

Es un tramo en doble calzada pavimentado que hace parte de la autopista Panamá – La Chorrera, con aproximadamente 32 km de longitud (ver Figura 11).



Figura 11. Loma Coba - La Chorrera

4.2.2.2. La Chorrera - Los Faldares

Al salir de la carretera Panamericana, se pasa a una vía bidireccional pavimentada en buen estado, sin bermas; este tramo tiene una longitud aproximada de 33 kilómetros (ver Figura 12).



Figura 12. La Chorrera - Los Faldares

4.2.2.3. Los Faldares - Paraíso

Tramo bidireccional angosto, pavimentado sin bermas; este tramo tiene una longitud aproximada de 5 kilómetros (ver Figura 13).



Figura 13. Los Faldares – Paraíso

4.2.2.4. Paraíso – Cirí de Los Sotos

Tramo bidireccional, pavimentado sin bermas; este tramo tiene una longitud aproximada de 10 kilómetros, desde Cirí de los Sotos se desprende un camino carreteable que puede ser adecuado para acceder a la zona en estudio (ver Figura 14).



Figura 14. Paraíso - Cirí de los Sotos

4.2.2.5. Paraíso – Tres Hermanas

Tramo bidireccional, pavimentado sin bermas; este tramo tiene una longitud aproximada de 6.5 kilómetros (ver Figura 15).



Figura 15. Paraíso - Tres Hermanas

4.2.2.6. Tres Hermanas - La Conga

Camino carreteable de difícil transitabilidad con aproximadamente 2.2 km de longitud, que puede ser acondicionado para acceder al sitio de influencia del estudio; desde la conga se desprenden dos carreteables adicionales, hacia El Zaino y hacia el puente de Los Uveros (ver Figura 16).



Figura 16. Tres hermanas - Conga

5. CRITERIOS DE DISEÑO

5.1. CRITERIOS DE DISEÑO GEOMÉTRICO



Teniendo en cuenta las estructuras requeridas para el desarrollo del estudio, a continuación se presentan los parámetros y criterios de diseño geométrico que se implementaron para el diseño de las carreteras, utilizando como base los requerimientos y recomendaciones del Manual de Especificaciones Técnicas para aprobación de planos en la República de Panamá MOP 2004, la norma AASHTO 2011, y el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras de 2011.

Los criterios y parámetros de diseño geométrico seleccionados, serán la base para definir los elementos que componen los alineamientos verticales y horizontales, de manera que las carreteras diseñadas sean funcionales, cómodas y seguras para el usuario.

Para la definición y selección de los criterios de diseño que se presentan en este numeral, se tuvieron en cuenta las siguientes condiciones:

- Facilitar el tránsito vehicular para la ejecución del potencial reservorio.
- Definir las características geométricas y de operación con base en el tipo de terreno identificado.
- Definir los trazados viales y las pendientes que generen la menor cantidad de movimiento de tierras.
- Definir el trazado vial que facilite la inspección y el mantenimiento de las carreteras para garantizar la funcionalidad y seguridad de las mismas.

5.1.1. Vehículo de diseño

Con base en las características funcionales de las carreteras, se utilizará como vehículo de diseño un camión de tipo WB-19, cuyas dimensiones se pueden observar en la Figura 17. Para la selección del vehículo se tuvo en cuenta el tipo de vehículo que presentará las mayores exigencias sobre las carreteras.

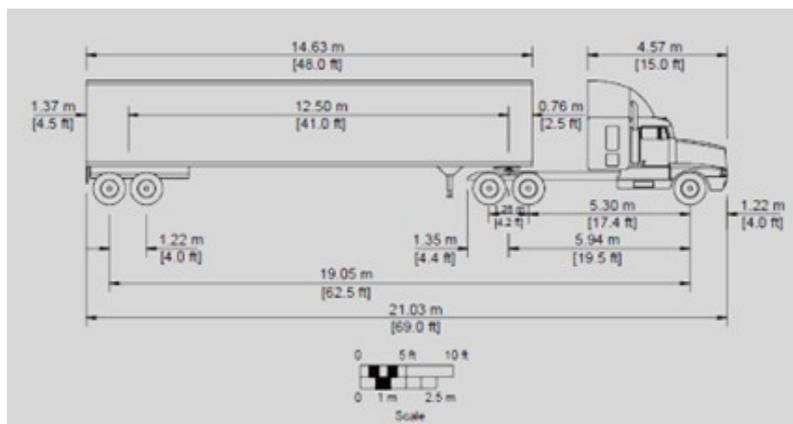


Figura 17. Vehículo de diseño. Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2011

5.1.2. Velocidad de diseño

Teniendo en cuenta el tipo de terreno escarpado y las características operacionales y funcionales de las carreteras requeridas, se adoptará una velocidad de diseño de 30 km/h, con el fin de asegurar que los vehículos puedan transitar sobre las carreteras en condiciones

seguras. A partir de la velocidad de diseño seleccionada, se dimensionarán los elementos geométricos de planta y perfil, verificando que estos cumplan con las dimensiones mínimas especificadas en la normativa aplicable.

5.1.3. Radio mínimo de giro

El radio mínimo de giro corresponde al valor límite de curvatura que requiere el vehículo de diseño para girar a la velocidad de diseño seleccionada. Con base en las recomendaciones del Manual de la AASHTO de 2011 se adoptará un radio de 21 m, para una carretera con peralte máximo del 6% y un coeficiente de fricción transversal de 0.28. Cabe resaltar que el radio mínimo de curvatura únicamente se debe utilizar en situaciones extremas donde sea inevitable la aplicación de radios mayores.

Por otro lado, se tendrán en cuenta los radios mínimos requeridos por el vehículo de diseño, en zonas donde se requiera empalmar los trazados con carreteras existentes de menores velocidades. Teniendo en cuenta lo anterior la Tabla 1, presenta los radios de giro de acuerdo con las dimensiones del vehículo de diseño.

Tabla 1. Radios mínimos de giro de los vehículos de diseño

Vehículo de Diseño	Símbolo	Radio de Giro Mínimo de Diseño (m)	Radio en la Línea Central RMG (m)	Radio Interior Mínimo (m)
Vehículo Liviano	P	7.30	6.40	4.40
Camión	SU	12.80	11.60	8.60
Bus	BUS-14	13.70	12.40	7.80
Bus Articulado	A-BUS	12.10	10.80	6.50
Cabezal con Semirremolque	WB-15	13.70	12.50	5.20
Cabezal con Semirremolque	WB-19	13.70	12.50	2.40
Cabezal con Semirremolque	WB-20	13.70	12.50	1.30

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011

5.1.4. Transición del peralte

Para las carreteras del estudio ubicadas en áreas suburbanas se utilizará un peralte máximo del 6%, el cual permite mantener velocidades específicas en curva sin incomodar a vehículos en caso de utilizar curvas con radios mínimos.

En cuanto a la pendiente relativa de la rampa de peraltes, se adoptó un valor máximo de 1.28, que se ajusta a las necesidades de las vías del proyecto, ya que el espacio que se tiene para realizar la transición del peraltado es muy limitado.

5.1.5. Pendientes longitudinales

De acuerdo al Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras de 2011, la pendiente longitudinal de las carreteras debe ser tan reducida como sea posible. No obstante, para garantizar el control del drenaje superficial de las carreteras, la pendiente

longitudinal no deberá ser inferior al 0.3% en casos donde la superficie sea pavimentada y 0.5% en superficies sin pavimentar.

Por otro lado, la normativa aplicable recomienda que para velocidades de 30 km/h y terreno lomerío se utilice una pendiente longitudinal máxima del 12%, con el fin de que el diseño sea flexible y se acomode a la topografía y condiciones del terreno existentes. En la Tabla 2 se presentan las pendientes máximas permitidas de acuerdo con la velocidad de diseño y el tipo de terreno.

Tabla 2. Pendiente máxima para carreteras colectoras rurales

TIPO DE TERRENO	Máxima Pendiente (%) para la Velocidad de Diseño Especificada, KPH							
	30	40	50	60	70	80	90	100
Plano	9	9	9	9	8	7	7	6
Lomerío	12	12	11	10	9	8	8	7
Montañoso	14	13	12	12	11	10	10	9

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011

5.1.6. Longitud mínima de las curvas verticales

La longitud mínima de las curvas verticales se determinará en función del criterio de operación descrito en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras de 2011. Con el fin de evitar al usuario la sensación de cambios súbitos debido a un cambio de pendiente longitudinal, se definirá un parámetro K mediante el cual se podrá hacer un control sobre la distancia de visibilidad de parada y obtener la longitud mínima de la curva vertical de acuerdo con la Tabla 3 y la Tabla 4.

Tabla 3. Valores de la constante K para curvas verticales en cresta

Velocidad de Diseño KPH	Distancia de Visibilidad de Parada (m)	Tasa de Curvatura Vertical K	
		Calculada	Para Diseño
20	20	0.6	1
30	35	1.9	2
40	50	3.8	4
50	65	6.4	7
60	85	11.0	11
70	105	16.8	17
80	130	25.7	26
90	160	38.9	39
100	185	52.0	52
110	220	73.6	74
120	250	95.0	95

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011

Tabla 4. Valores de la constante K para curvas verticales cóncavas o en cumpio

Velocidad de Diseño KPH	Distancia de Visibilidad de Parada (m)	Tasa de Curvatura Vertical K	
		Calculada	Para Diseño
20	20	2.1	3
30	35	5.1	6
40	50	8.5	9
50	65	12.2	13
60	85	17.3	18
70	105	22.6	23
80	130	29.4	30
90	160	37.6	38
100	185	44.6	45
110	220	54.4	55
120	250	62.8	63

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 2011

5.1.7. Bombeo normal

La selección del esquema del bombeo se definió con el fin de facilitar el escurrimiento del agua sobre la carretera y de esta manera garantizar el drenaje superficial. Por ende, teniendo en cuenta que se requieren carreteras permanentes y temporales, se seleccionó un bombeo normal del 2% para las carreteras pavimentadas y 3% para las carreteras en afirmado (ver Tabla 5).

Tabla 5. Bombeo normal para carreteras pavimentadas y sin pavimentar

Surface Type	Range in Cross Slope Rate for a Single Lane (%)
Paved	1.5-2
Unpaved	2-6

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2011

5.1.8. Secciones transversales

De acuerdo a lo recomendado por el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras de 2011, el ancho de carril debe tener un valor entre 3 m y 3.6 m, siendo 3.6 m el valor deseado para proveer una buena separación entre vehículos. No obstante, por solicitud de la ACP se manejará un ancho de carril de 3.65 metros.

5.1.9. Intersecciones

Para el manejo de las intersecciones el diseñador deberá adecuar los diseños de las carreteras permanentes y empalmar las cotas de diseño con las cotas de eje y borde de las carreteras existentes en la zona de influencia del estudio. Asimismo, se deberán verificar los radios de las esquinas en las bocacalles para garantizar que los vehículos puedan circular sin dificultad.

5.1.10. Resumen parámetros de diseño

Con base en la normatividad vigente adoptada, se definieron los parámetros de diseño tanto en planta como en perfil y sección transversal de los corredores teniendo en cuenta las características físicas y topográficas de la zona de influencia. La Tabla 6 resume los parámetros adoptados para el diseño.

Tabla 6. Parámetros mínimos de diseño geométrico

Criterio de diseño	Parámetro	Fuente
Vehículo de diseño	WB 19 Dimensiones del vehículo de diseño	Manual de la AASHTO de 2011, pg. 2-23
Velocidad de diseño	30 km/h	
Radio mínimo de giro	21 m	Manual de la AASHTO de 2011, pg. 3-32
Peralte máximo	6%	Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras de 2011, pg. 83
Pendientes longitudinales	Pendiente longitudinal mínima: 0.3 % Pendiente longitudinal máxima: 12 %	Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras de 2011, pg. 119
Longitud mínima de las curvas verticales Parámetro K	Tasa de curvatura vertical curva en cresta K: 2 Tasa de curvatura vertical curva cóncava K: 6	Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras de 2011, Cuadros 3.23 y 3.25, pg. 125 y 127
Bombeo normal	Carreteras pavimentadas: 2 % Carreteras en afirmado: 3 %	Manual de la AASHTO de 2011, pg. 5-13
Secciones transversales	Ancho de carril: 3.65 m	Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras de 2011, pg. 141



5.1.11. Consideraciones Socio Ambientales

Como criterio para el trazado de las carreteras de acceso al proyecto y a las obras propiamente se considerarán algunos aspectos que permitan mitigar y disminuir posibles impactos socio ambientales en la zona de influencia del proyecto.

Como criterio principal se considerará maximizar el uso de carretables existentes y evitar grandes intervenciones a la infraestructura, lo que permitirá de esta manera disminuir los impactos como lo son la afectación a la vegetación, adquisición de nuevos predios para trazado de vías, entre otros.

5.2. CRITERIOS DE DISEÑO PARA INFRAESTRUCTURA VIAL, PUENTES, TERRACERÍAS Y PAVIMENTOS

5.2.1. Cimentaciones de puentes y estribos

Los criterios de diseño obedecen a la normatividad vigente: Reglamento estructural de Panamá REP-2014 (JTIA, 2015), Manual de Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción y Rehabilitación de Carreteras del MOP (2002), AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (2014) y la experiencia de INGETEC.

De acuerdo con el REP-2014 (JTIA, 2015), las obras de infraestructura como puentes, alcantarillas y estructuras similares se registrarán bajo las especificaciones vigentes de la Asociación Americana de Oficiales de Transporte y Carreteras (AASHTO), a saber, LRFD Bridge Design Specification (2014)

5.2.1.1. Diseño de Puentes

Los criterios de diseño presentados a continuación se basan en el AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (AASHTO, 2014).

5.2.1.1.1. Estados límites y factores de resistencia

De acuerdo con la Sección 10.5 de las especificaciones de diseño de puentes (AASHTO, 2014), las cimentaciones deben ser dimensionadas de modo que la resistencia mayorada no sea menor que los efectos de las cargas mayoradas especificadas en la Sección 3 del mismo.

A continuación se resumen cada uno de los estados límites a evaluar.

Estados límites de servicio:

Asentamientos

- Movimientos horizontales
- Estabilidad global
- Socavación para la inundación de diseño

Estados límites de resistencia

- Resistencia estructural y,
- Pérdida de apoyo lateral y vertical debido a la socavación en el evento de la inundación de diseño.

Zapatas

- Capacidad de carga nominal
- Volcamiento o pérdida excesiva de contacto
- Deslizamiento en la base de la zapata y,
- Factibilidad de construcción

Pilotes perforados

- Resistencia a la compresión axial de los pilotes individuales
- Resistencia a la compresión del grupo de pilotes
- Resistencia al levantamiento de los pilotes individuales
- Resistencia al levantamiento del grupo de pilotes
- Resistencia lateral del pilote individual y del grupo de pilotes

- Falla por punzonamiento del pilote hacia el interior de un estrato más débil por debajo del estrato de apoyo
- Factibilidad de construcción, métodos de construcción de la perforación (para pilotes perforados)

Estados límites de evento Extremo

- Diseño para licuación

Zapatatas

Los factores de resistencia proporcionados en la Tabla 7 (Tomada de la Tabla 10.5.5.2.2-1 de las especificaciones para puentes (AASHTO, 2014) deben utilizarse para el diseño de zapatas por estado límite de resistencia.

Tabla 7. Factores de resistencia para la resistencia geotécnica de cimentaciones superficiales en el estado límite de resistencia (AASHTO, 2014)

Método/Suelo/Condición		Factor de resistencia	
Capacidad de carga	ϕ_b	Método teórico (Munfakh et al. 2001), en arcilla	0.50
		Método teórico (Munfakh et al. 2001), en arena, usando CPT	0.50
		Método teórico (Munfakh et al. 2001), en arena, usando SPT	0.45
		Métodos Semi-empíricos (Meyerhof, 1957), todos los suelos	0.45
		Zapata sobre roca	0.45
		Pruebas de carga con placa	0.55
Deslizamiento	ϕ_τ	Concreto prefabricado colado sobre arena	0.90
		Concreto fundido in situ o prefabricado sobre arena	0.80
		Concreto fundido in situ o prefabricado sobre arcilla	0.85
		Suelo sobre suelo	0.90
	ϕ_ω	Presión pasiva del suelo, componente de la resistencia al deslizamiento	0.50

Pilotes perforados

Los factores de resistencia deben seleccionarse con base en el método utilizado para determinar la resistencia nominal del pilote. Cuando se selecciona un factor de resistencia para pilotes perforados en arcilla u otras formaciones fácilmente alterables, debe considerarse la experiencia local con las formaciones geológicas y con las prácticas típicas de construcción de pilotes perforados. Los factores de resistencia para pilotes perforados se indican en la Tabla 8 (Tomada de la Tabla 10.5.5.2.4-1 de las especificaciones para puentes (AASHTO, 2014).

Tabla 8. Factores de resistencia para la resistencia de pilotes perforados (AASHTO, 2014)

Método/Suelo/Condición			Factor de resistencia
La resistencia nominal a la compresión axial de pilotes perforados individuales, ϕ_{sta}	Resistencia por fuste en arcilla	Método α (O'Neill and Reese, 1999)	0.45
	Resistencia por	Esfuerzo total	0.40

	punta en arcilla	(O'Neill and Reese, 1999)	
	Resistencia por fuste en arena	Método β (O'Neill and Reese, 1999)	0.55
	Resistencia por punta en arena	(O'Neill and Reese, 1999)	0.50
	Resistencia por fuste en IGMs	(O'Neill and Reese, 1999)	0.60
	Resistencia por punta en IGMs	(O'Neill and Reese, 1999)	0.55
	Resistencia por fuste en roca	Horvath and Kennedy (1979) O'Neill and Reese, (1999)	0.55
	Resistencia por fuste en roca	Carter and Kulhawy (1988)	0.50
	Resistencia por punta en roca	Sociedad Geotécnica Canadiense (1985) Método de medición de la presión (Sociedad Geotécnica Canadiense, 1985) O'Neill and Reese, (1999)	0.50
Falla en bloque, ϕ_b	Arcilla		0.55
Resistencia al levantamiento de pilotes perforados individuales, ϕ_{up}	Arcilla	Método α (O'Neill and Reese, 1999)	0.35
	Arena	Método β (O'Neill and Reese, 1999)	0.45
	Roca	Horvath and Kennedy (1979) Carter and Kulhawy (1988)	0.40
Resistencia al levantamiento del grupo de pilotes ϕ_{ug}	Arena y arcilla		0.45
Resistencia geotécnica horizontal del pilote individual o grupo de pilotes	Todos los materiales		1.00
Prueba con carga estática (compresión), ϕ_{load}	Todos los materiales		0.70
Prueba con carga estática (levantamiento), ϕ_{upload}	Todos los materiales		0.60

Cuando los factores de resistencia proporcionados en la Tabla anterior se aplican a un solo pilote el cual soporta una pila del puente, estos deben reducirse en un 20%. Cuando el factor n_R (factor relacionado con la redundancia) proporcionado en el artículo 1.3.4 de la especificación de diseño de puentes (AASHTO, 2014) no debe incrementarse para así tener en cuenta la falla de redundancia de la cimentación.

Los IGMs son materiales de transición entre suelo y roca en términos de resistencia y compresibilidad, tales como suelos residuales, masas glaciales, rocas muy débiles. Se considera IGM a un material rocoso que tiene una resistencia a la compresión simple entre 0.2 y 2.0 MPa.

5.2.1.2. Diseño de Estribos y estructuras de contención

Las condiciones que se mostrarán a continuación son aplicables a estructuras de contención permanentes. Dichas estructuras pueden ser muros de gravedad, semigravedad y en tierra estabilizados mecánicamente con láminas metálicas o geotextil.

5.2.1.2.1. Estado límite de resistencia

Las estructuras de contención se investigarán en los estados límite de resistencia utilizando la siguiente ecuación:

$$\sum \eta_i \gamma_i Q_i \leq \phi R_n \quad \text{Ecuación 17.}$$

Donde:

- η_i = Factor de modificación de cargas
- γ_i = Factor de carga
- Q_i = Solicitación
- ϕ = Factor de resistencia
- R_n = Resistencia nominal

En esta expresión se cubren los siguientes aspectos:

- Falla por capacidad resistente
- Deslizamiento
- Pérdida de contacto en la base debido a la excentricidad de la carga
- Falla por arrancamiento de los anclajes o refuerzos del suelo

En la Tabla 9 se presentan los factores de resistencia para muros (tomados de la Tabla 11.5.7-1 de las especificaciones para puentes (AASHTO, 2014)).

Tabla 9. Factores de resistencia para muros de sostenimiento permanente (AASHTO, 2014)

Condición de análisis		Factor de Resistencia
Capacidad resistente	Muros de gravedad y semigravedad	0.55
	Muros de tierra estabilizada mecánicamente	0.65
Deslizamiento		1.00
Resistencia a la tracción de los refuerzos metálicos y sus conectores	Refuerzos en forma de faja Carga estática	0.75
	Refuerzos en forma de grilla Carga estática	0.65
Resistencia a la tracción de los refuerzos geosintéticos y sus conectores	Carga estática	0.90
Resistencia al arrancamiento de los refuerzos por tracción	Carga estática	0.90

5.2.1.2.2. Estado límite de servicio

Los factores de resistencia para los estados límite de servicio se tomarán como 1.0 de acuerdo al inciso 11.5.7 de la especificación de diseño de puentes (AASHTO, 2014), para la combinación de cargas correspondiente al Estado Límite de Servicio. Las deformaciones verticales y laterales admisibles se analizarán dependiendo del tipo de muro y las consecuencias de los movimientos inaceptables para el muro y cualquier estructura cercana que pudiera resultar afectada.

5.2.1.2.3. Estado límite de evento extremo

De acuerdo con el inciso 11.5.8 de la especificación de diseño de puentes (AASHTO, 2014) para condiciones no consideradas en la Tabla 10 todos los factores de resistencia deberán tomarse igual a 1.0.

Tabla 10. Factores de Resistencia para Cargas Extremas (AASHTO, 2014)

Condición	Factores de Resistencia
Estabilidad global del muro	0.90
Capacidad resistente para muros de gravedad y semigravedad	0.80
Capacidad resistente para muros de tierra estabilizada mecánicamente	0.90
Resistencia a tracción del refuerzo y los conectores metálicos	
• Refuerzo en franja	1.00
• Refuerzo en malla	0.85
Resistencia a tracción del refuerzo y conectores geosintéticos	1.20
Resistencia al arrancamiento del refuerzo metálico o geosintético	1.20

5.2.1.3. Caracterización de materiales

Con la caracterización de materiales se definirán los parámetros de resistencia al corte y deformación con los cuales se realizarán los diseños geotécnicos. Estos parámetros se definirán a partir de las investigaciones geotécnicas que se realicen, información geotécnica secundaria que exista en la zona, retrocálculos y parámetros geotécnicos típicos para los tipos de material que se encuentre en la zona de influencia del estudio.

Para los depósitos de suelo residual y depósitos cuaternarios que se identifiquen dentro del corredor vial se establecerán los siguientes parámetros: ángulo de fricción (ϕ), cohesión (c'), resistencia al corte no drenada (S_u), módulo de deformación elástica (E_s), parámetros de compresibilidad (C_c , C_r , e_o), nivel freático aproximado. La determinación de estos parámetros depende de la calidad y cantidad de muestras que se puedan recuperar dentro de la campaña de exploración geotécnica.

Para macizos rocosos se analizará la geología estructural a partir de la cual se realizarán los análisis cinemáticos. Los parámetros de resistencia requeridos en el análisis corresponden a la resistencia que pueda desarrollar la discontinuidad, que es el plano a través del cual se desarrolla la falla planar, en cuña o por volteo.

Para la caracterización de la resistencia de las discontinuidades del macizo rocoso se empleará el método desarrollado por Barton (1973) y la literatura de referencia.

5.2.1.3.1. Resistencia no drenada en suelos

La resistencia al corte no drenada (S_u) de los suelos cohesivos puede estimarse con base en el resultado del ensayo de compresión confinada. Por otra parte, se puede establecer una correlación empírica propuesta por Schmertmann (1975) que se encuentra en función de la plasticidad del suelo y el número de golpes por pie (N) obtenido en el ensayo de penetración estándar (SPT).

5.2.1.3.2. Resistencia al corte drenado en suelos

Los parámetros de resistencia al corte consolidado drenado de los suelos cohesivos pueden estimarse con base en los resultados de ensayos de corte directo. Por otra parte, se puede establecer una aproximación con base en el documento SNiP II-15-74 (Gosstroy, 1975).

5.2.1.3.3. Resistencia macizos rocosos

Los parámetros de resistencia de la roca a emplear en diseño se obtienen de la siguiente manera:

- Resistencia a la compresión simple (q_u): directamente de ensayos de laboratorio.
- Ángulo de fricción interna promedio (ϕ') y cohesión (c'): criterio de falla generalizado de Hoek-Brown (2002), a través del software RocLab 1.0 (Rocscience Inc.). En el caso del Factor que depende del grado de alteración del macizo rocoso por voladura o relajación de la roca. Se utilizará un factor de 0.2.

5.2.1.4. Evaluación de asentamientos

La evaluación del asentamiento experimentado en superficie por la sobrecarga generada por la cimentación se determina como la sumatoria de los asentamientos inmediatos (elásticos) y los asentamientos por consolidación. Los asentamientos inmediatos se calculan por medio de la teoría elástica empleando las ecuaciones y ábacos propuestos por Poulos & Davis (1974) para carga vertical sobre estrato finito de base rígida. Los asentamientos por consolidación se calculan mediante la teoría de consolidación unidimensional propuesta por Terzaghi, de acuerdo con la condición de preconsolidación del suelo y la magnitud de la sobrecarga.

5.2.2. Terracerías

Como criterio general para la definición de los taludes de corte y relleno se adoptará una configuración geométrica que minimice la cantidad de excavaciones y rellenos así como la longitud y altura de las estructuras de contención y obras de protección, verificando los criterios de estabilidad y la viabilidad técnica de las obras a construir. Los criterios de diseño obedecen a la normatividad vigente, a saber, REP-2014 (JTIA, 2015), Manual de Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción y Rehabilitación de Carreteras (MOP, 2002) y la experiencia del Consultor.

5.2.2.1. Caracterización geotécnica

Como se mencionó anteriormente, la caracterización geotécnica comprende la definición de los parámetros de resistencia al corte y deformación con los cuales se realizan los diseños geotécnicos de los taludes de corte y terraplenes. Estos parámetros se definen a partir de los

resultados de las investigaciones geotécnicas, información geotécnica secundaria que exista en la zona, retrocálculos, parámetros geotécnicos típicos recomendados por el REP-2014 (JTIA, 2015) o por bibliografía técnica de referencia para los tipos de material que se encuentren en la zona de influencia del estudio.

Para los depósitos de suelo residual, roca muy meteorizada y depósitos cuaternarios que se identifiquen dentro del corredor vial se definen los siguientes parámetros:

- Ángulo de fricción (ϕ),
- Cohesión (c'),
- Resistencia al corte no drenada (S_u),
- Módulo de deformación Elástica (E_s),
- Parámetros de compresibilidad (C_c , C_r , e_o),
- Nivel freático aproximado.

Para los taludes de corte en roca se analiza la geología estructural y la caracterización de las discontinuidades a partir de la cual se realizan análisis de estabilidad cinemáticos. Los parámetros de resistencia requeridos para éste tipo de análisis corresponden a la resistencia que pueda desarrollar la discontinuidad más desfavorable, que corresponden con el plano o intersección de planos a través del cual se desarrolla la falla planar, en cuña o por volteo.

Para la caracterización de la resistencia de las discontinuidades del macizo rocoso se empleará el método desarrollado por Barton (1973) y la literatura de referencia. En general se basa en los siguientes parámetros:

- Resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta (σ'_c).
- Ángulo de resistencia básico de la roca (ϕ_b)
- Porcentaje de alteración de las paredes de la discontinuidad respecto a la roca fresca.
- Coeficiente de rugosidad de la discontinuidad (JRC)
- Resistencia a la compresión de las paredes de la discontinuidad (JCS)
- Esfuerzo normal sobre el plano de discontinuidad (σ'_n).
- Ángulo residual de la discontinuidad

5.2.2.1.1. Resistencia no drenada en suelos

La resistencia al corte no drenada (S_u) de los suelos cohesivos puede estimarse con base en el resultado del ensayo de compresión confinada. Por otra parte, se puede establecer una correlación empírica propuesta por Schmertmann (1975) que se encuentra en función de la plasticidad del suelo y el número de golpes por pie (N) obtenido en el ensayo de penetración estándar (SPT).

5.2.2.1.2. Resistencia al corte drenado en suelos

Los parámetros de resistencia al corte consolidado drenado de los suelos cohesivos pueden estimarse con base en los resultados de ensayos de corte directo. Por otra parte, se puede establecer una aproximación con base en el documento SNiP II-15-74 (Gostroy, 1975).

5.2.2.1.3. Resistencia macizos rocosos

Los parámetros de resistencia de la roca a emplear en diseño se obtienen de la siguiente manera:

- Resistencia a la compresión simple (q_u): directamente de ensayos de laboratorio.
- Ángulo de fricción interna promedio (ϕ') y cohesión (c'): criterio de falla generalizado de Hoek (2002), a través del software RocLab 1.0 (Rocscience Inc.). Para el factor que depende del grado de alteración del macizo rocoso por voladura o relajación de la roca se utilizará un factor de 0.7.

5.2.2.2. Zonificación geotécnica

Los criterios a tener en cuenta para la zonificación geotécnica son:

- Clasificación geológica y geotécnica de las rocas y suelos presentes en el corredor vial.
- Características geométricas y tipo de estructuras geotécnicas (taludes de corte o terraplenes).
- Pendiente natural promedio del sector y rango de pendientes.
- Variación de las condiciones topográficas, morfológicas y de orientación del eje vial respecto a los planos de discontinuidad de las rocas.
- Condición del flujo de aguas superficiales y subsuperficiales.
- Descripción y clasificación de suelos y rocas a lo largo del tramo así como variación en profundidad.
- Variación de las propiedades índice y de resistencia de suelos y rocas a lo largo del tramo.

5.2.2.3. Niveles de estabilidad

La evaluación de la estabilidad general de los taludes en suelo se realizará mediante el análisis por el método de equilibrio límite y para la verificación de ésta condición se tomará como criterio, el factor de seguridad básico recomendado por el REP-2014 (JTIA, 2015) Numeral A6.6.3.7, el cual se define como la relación entre los esfuerzos resistentes y los esfuerzos cortantes actuantes. De acuerdo con el REP-2014 (JTIA, 2015), los factores de seguridad son los indicados en la Tabla 11., los cuales son aplicables a taludes de corte o terraplén.

Tabla 11. Factores de seguridad básicos mínimos directos para taludes en suelos (Tomado de REP-2014, Numeral A6.6.3.7)

CONDICIÓN	Factor de Seguridad
Taludes – condición estática	1.5
Taludes – condición de sismo	1.2

Adicionalmente, se considerará un escenario de nivel freático extremo para el cual se tomará un factor de seguridad de 1.3.

Las secciones transversales a emplear en los análisis de estabilidad para los distintos sectores definidos a lo largo de los corredores viales se definen con base en los criterios de topografía, complejidad geológica, hidrogeología, altura de la estructura, inclinación del terreno, tipo de material y condición de análisis. La metodología empleada para el análisis de estabilidad se divide de acuerdo con el tipo de materiales presentes en el talud.

Para taludes constituidos por material rocoso se representa la geología estructural a través de redes estereográficas que permiten realizar análisis cinemáticos de equilibrio límite.

Para la definición de refuerzo para taludes en roca se establece con base en el factor de seguridad que presenta la cuña crítica y el empleo de los programas Swedge y RockPlane 2.0 de Rocscience.

Para los taludes constituidos por suelos y rocas muy meteorizadas o fracturadas la evaluación de la estabilidad general de taludes se realizará mediante el método de equilibrio límite con las ecuaciones propuestas por Spencer en el programa Slide® de Rocscience.

Los análisis de estabilidad para la condición de sismo se realizarán mediante el método pseudo estático, involucrando una fuerza inercial horizontal que depende de la aceleración sísmica. Se utilizará el coeficiente sísmico horizontal indicado en la REP-2014 (JTIA, 2015).

Para los análisis de equilibrio límite realizados para la estabilidad de taludes se utilizará un valor igual al 50% de la aceleración máxima de diseño, con base en el criterio establecido por Hynes- Griffin & Franklin (1984), ampliamente utilizado para la evaluación dinámica de taludes.

5.2.2.4. Criterios de asentamiento y deformabilidad

De acuerdo con EM-1110-1-1904 (USACE, 1990) muchas estructuras toleran asentamientos importantes de hasta 304.8 mm sin sufrir agrietamientos. En terraplenes se establece como criterio de asentamientos totales el valor de 300 mm. Lo anterior teniendo en cuenta que se trata de una estructura flexible.

En los casos en que los rellenos sirvan de apoyo o estén cercanos a estructuras susceptibles a estas deformaciones, tales como rellenos de aproximación a puentes, o terraplenes de altura considerable (>5,0 m) se analizarán las condiciones particulares para establecer los asentamientos tolerables y las medidas requeridas para su tratamiento en función del efecto que este asentamiento produzca en el comportamiento de la estructura.

La evaluación del asentamiento experimentado en superficie por la sobrecarga generada por el relleno del terraplén de la carretera se determina como la sumatoria de los asentamientos inmediatos (elásticos) y los asentamientos por consolidación.

Los asentamientos inmediatos se calculan por medio de la teoría elástica empleando las ecuaciones y ábacos propuestos por Poulos & Davis (1974) para carga vertical sobre estrato finito de base rígida.

Los asentamientos por consolidación se calculan mediante la teoría de consolidación unidimensional propuesta por Terzaghi, de acuerdo con la condición de preconsolidación del suelo y la magnitud de la sobrecarga.

5.2.2.5. Drenaje, manejo de aguas y protección contra erosión

Como criterios de drenaje y protección contra erosión para los taludes y rellenos se tienen en cuenta los siguientes:

- Manejo adecuado de las aguas de escorrentía superficial y subsuperficial y de los drenajes naturales.
- Mantener una alta permeabilidad en los materiales que conforman los taludes del cuerpo de los rellenos.
- Instalar drenes horizontales para drenar los taludes de corte en roca.
- Proteger materiales que sean susceptibles a la erosión (suelo y/o roca).

5.2.3. Pavimentos

5.2.3.1. Diseño de pavimento

Para el diseño de las estructuras de pavimento, se definen diferentes tipos de vías según el tipo de acabado superficial y se establecen sectores considerando la combinación de aspectos relevantes como tránsito, características geotécnicas de la subrasante, CBR representativo, y geología.

Las tipologías de las vías a diseñar comprenden vías pavimentadas y vías en afirmado. Las vías pavimentadas se diseñaron con capa de rodadura en hormigón asfáltico y las vías en afirmado con capa de rodadura en material selecto o subbase.

5.2.3.1.1. Tránsito

Para estimar las cargas de tránsito se consideraron los volúmenes de corte y relleno, y las cargas que se transportaran en las vías. Estos estimativos se presenta en la Tabla 12. Los camiones D3 corresponden a camiones volquete para transporte de materiales, y los camiones T3-S2 para transporte de insumos y equipos.

Tabla 12. Estimativo de cargas de tránsito

Actividad	Cantidad		Número de vehículos	
			Tipo	Cantidad
Relleno (m ³)	5,295,601	7,493,808	D3	1,022,348
Corte (m ³)	2,198,207			
Carga (Ton)		539	T3-S2	25

5.2.3.1.2. Subrasante

Para el cálculo de las deformaciones verticales admisibles en la superficie de la subrasante, considerando las características de la subrasante, se aplicó la expresión propuesta por la Shell, teniendo en cuenta una confiabilidad del 85% para vías permanentes y del 50% para vías temporales.

Vías Permanentes:

$$\varepsilon_{Tv} = 2.1 * 10^{-2} * N^{0.25} \quad \text{Ecuación 19.}$$

Vías Temporales:

$$\varepsilon_{Tv} = 2.8 * 10^{-2} * N^{0.25} \quad \text{Ecuación 20.}$$

Donde:

ε_{Tv} : Deformación vertical en la superficie superior de la subrasante

N: Número de ejes equivalentes de 8.2 ton

El CBR representativo de diseño, se establece con base en el CBR determinado a nivel del mejoramiento de las subrasantes. Con el fin de contar con una plataforma adecuada para apoyar las estructuras de pavimentos, la subrasante se mejoró hasta obtener un valor de CBR del 7%.

5.2.3.1.3. *Materiales granulares nuevos*

Se presentan a continuación las características de los materiales granulares que van a ser utilizados en el modelo de la estructura de pavimento.

Para determinar el módulo de la subrasante en función del CBR=7% (sobre el mejoramiento), se utilizó la siguiente expresión (Guide for mechanistic empirical design of new and rehabilitated pavement structures. National Cooperative Highway Research Program, 2001).

$$Esr (kg/cm^2) = 178.85 * CBR^{0.64} = 621 kg/cm^2 \text{ Ecuación 21.}$$

Los módulos de los materiales granulares se estimaron con base en la metodología AASHTO, la cual determina este valor en función de las características mecánicas de los materiales (CBR) aplicado los ábacos presentados en la en la Figura 6. Con base en los ábacos descritos, propuestos por la metodología AASHTO, se establece que para para CBR de 80% para la Base Granular (BG) y 25% para la Sub Base Granular (SBG), los módulos resilientes son de 27 500 psi y 14 000 PSI respectivamente.

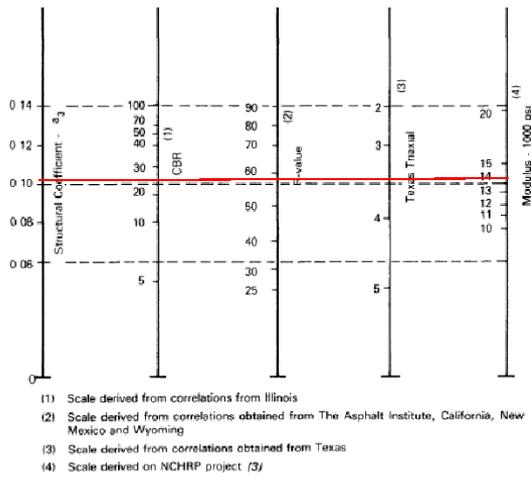


Figure 2.7. Variation in Granular Subbase Layer Coefficient (a₂) with Various Subbase Strength

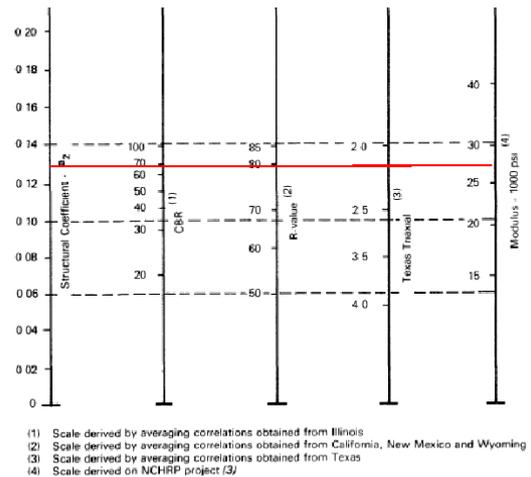


Figure 2.6. Variation in Granular Base Layer Coefficient (a₂) with Various Base Strength

Figura 18. Ábacos propuestos por AASHTO para Bases y Subbases granulares

Los valores de coeficiente de drenaje (mi), según se establece en la metodología AASHTO, se establecen según la calidad del drenaje y el tiempo estimado que pueda estar bajo condiciones de saturación la capa estudiada. Para la base se estima un coeficiente de drenaje de 0.9, y para la sub-base de 0.8.

5.2.3.1.4. *Hormigón Asfáltico*

El cálculo de la temperatura de la mezcla para el proyecto se determinó por medio de la metodología Shell, calculando la temperatura media anual ponderada (w-MAAT) a partir de las temperaturas medias mensuales del aire de la Ciudad de Panamá y Colón.

Con la información de las temperaturas obtenidas y el Diagrama W de la Shell, se determinó el factor de ponderación mensual y promedio (Ver Tabla 13.), obteniendo una temperatura media anual ponderada de 27,5 °C para el sector.

Tabla 13. Cálculo temperatura media anual ponderada (w-MAAT)

Mes	Ciudad de Panamá	Colón	Promedio	Factor de Ponderación
Enero	26.6	26.2	26.4	2,5
Febrero	27.1	26.6	26.9	2,7
Marzo	27.7	27.2	27.5	2,9
Abril	28.1	27.9	280	2,9
Mayo	27.4	27.5	27,5	2,9
Junio	27.0	26.8	26,9	2,7
Julio	27.1	26.9	27,0	2,7
Agosto	27.0	26.6	26,8	2,7
Septiembre	26.7	26.5	26,6	2,6
Octubre	26.5	26.4	26,5	2,5
Noviembre	26.5	26.0	26,3	2,4
Diciembre	26.5	26.0	26,3	2,4
Promedio				2,7
w-MAAT				27,5

Con el w-MAAT obtenido, estimando un espesor de carpeta de 10 cm, y aplicando el Gráfico RT de la Shell se determinó una temperatura de mezcla de 40°C.

El módulo del hormigón asfáltico para mezclas tipo S1-F2-50 elaboradas con cemento asfáltico AC 30, se determinó con base en información de mezclas S1-F2-50 tipo Shell (Ver Figura 19) para diferentes temperaturas

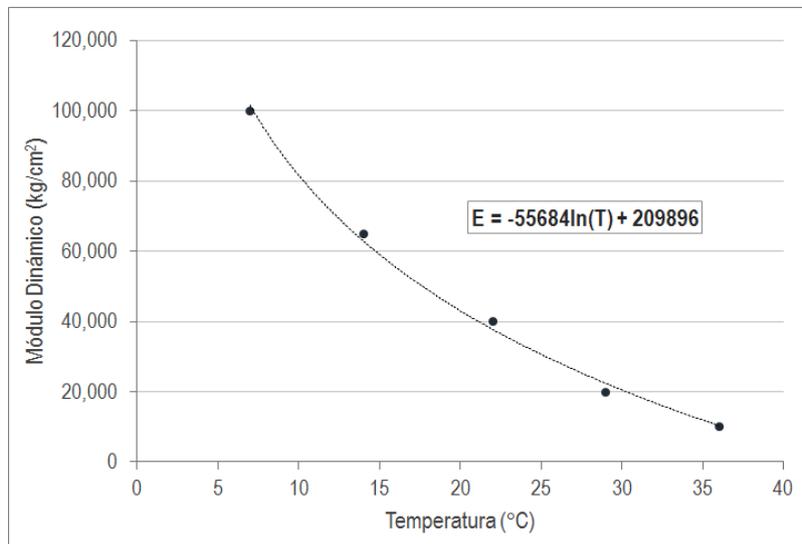


Figura 19. Módulo de la mezcla asfáltica en función de la temperatura.

Considerando la temperatura de mezcla del sector (40°), el módulo de la carpeta asfálticos empleado en los diseños es de:

$E = 4500 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$

El coeficiente estructural estimado para la mezcla asfáltica de 0.15 se obtuvo con base en la Guía AASHTO.

El tipo de mezcla recomendado se establece especialmente para evitar problemas de ahuellamiento, teniendo en cuenta la alta temperatura de la zona del proyecto.

La ley de fatiga empleada para los cálculos de admisibilidad corresponde a la expresión propuesta la Shell para este tipo de mezcla considerando las condiciones de servicio. La ecuación de fatiga empleada en los diseños de las diferentes estructuras de pavimento se determinó para mezclas tipo S1-F2-50 con una temperatura de operación de 40 °C. (Ver Figura 20)

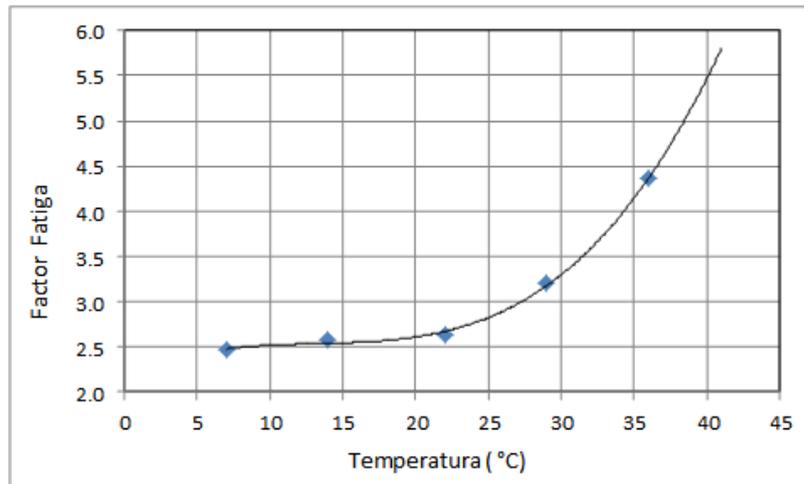


Figura 20. Factor de fatiga en función de la temperatura.

$$N = (5.4 * 10^{-3} / \varepsilon_T) \square^{4.95} \quad \text{Ecuación 22.}$$

Donde:

ε_T : Deformación unitaria horizontal en la superficie inferior de la mezcla asfáltica.

N: Número de ejes equivalentes de 8,2 T

Los módulos y leyes de fatiga teóricos aplicados al diseño son de amplia utilización en el ámbito de diseños de pavimentos y se basan en un número importante de ensayos y múltiples experiencias, elaborados por entidades especializadas en el tema.

La vida estimada por fatiga en el laboratorio debe multiplicarse por un "Shift Factor", también llamado Factor de Calaje, para obtener la vida por fatiga de la estructura de pavimento construida. Este concepto se establece teniendo en cuenta la variabilidad en la ubicación de las cargas y los tiempos de reposo que no es posible modelar en los ensayos de laboratorio. El factor de calaje recomendado por Shell es de 8.25 para las condiciones del proyecto.

5.2.3.2. Diseño estructuras

Para el diseño de las estructuras de pavimento, y con el fin de garantizar su correcto desempeño durante el periodo de operación, se analizaron las deformaciones unitarias horizontales en la superficie inferior de la capa asfáltica y el esfuerzo vertical sobre la subrasante para las cargas de tránsito mencionadas. Estas estructuras fueron evaluadas por medio de la metodología mecanicista y verificadas mediante metodología AASHTO. Es importante recalcar que la metodología AASHTO-93 es de carácter empírico por lo que los resultados obtenidos sirven a manera de comparación con los obtenidos por la metodología

mecanicista, pero las estructuras definidas corresponden a las determinadas por metodología mecanicista.

5.2.3.3. Criterios aplicados a la metodología mecanicista

Como método de diseño se aplicará la metodología mecanicista, en la cual es posible determinar, con base en los esfuerzos y deformaciones estimados en los puntos críticos de la estructura y con expresiones de comportamiento de los materiales, los espesores requeridos de las diferentes capas para garantizar un comportamiento adecuado a lo largo del periodo de diseño. Esos diseños se verificarán mediante metodología AASHTO.

Para los modelos de las estructuras de pavimentos se consideró liga entre las diferentes capas que componen la estructura.

5.2.3.4. Criterios aplicados a la metodología AASHTO

Como método de comprobación se aplicará el método de carácter empírico AASHTO, que es aplicable para vías con tránsito superior a 0.05×10^6 ejes equivalentes de 8.2 toneladas. La ecuación utilizada para el diseño de estructuras de pavimento flexible es:

$$\log(N) = ZR * S_0 + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \Delta \quad \text{Ecuación 17.}$$

Dónde:

N: Número de ejes equivalentes de 8,2 t.

ZR: Desviación estándar normal. = -1.037 que corresponde a una confiabilidad del 85% (vías pavimentadas). ZR: Desviación estándar normal. = 0.00 que corresponde a una confiabilidad del 50% (vías en afirmado).

S0: Error estándar combinado de la predicción del tránsito y de la predicción del comportamiento = 0.45.

Δ PSI: Diferencia entre el índice de servicio inicial (P0) y el final (Pt). = 4.2 – 2.0

Mr: Módulo Resiliente variable según el tramo.

SN: Número estructural

$$SN = a_1 d_1 + a_2 d_2 m_2 + a_3 d_3 m_3 \quad \text{Ecuación 18.}$$

Siendo:

a_i : Coeficiente estructural de la capa i.

d_i : Espesor de la capa i en pulgadas.

m_i : Coeficiente de drenaje de la capa i.

En todos los casos, el número de ejes equivalentes calculado debe ser superior a la cantidad requerida.

5.2.3.5. Criterios subdrenes (filtros longitudinales)

Para el diseño de los subdrenajes, se tienen en cuenta las características de los suelos de subrasante, geometría de la vía, e intensidad de las lluvias. A continuación se describen los criterios aplicados para cada uno de los aspectos indicados.

- Suelos de subrasante: Para los suelos de la subrasante en general limosos y limo-arenosos, se les estimó una permeabilidad de 1.0×10^{-5} m/s
- Geometría de la vía: La pendiente para el diseño de los subdrenes se consideró un valor típico del 3.0% con lo que se obtiene una velocidad de flujo sobre un estrato de grava de $\frac{3}{4}$ " de 1.0 cm/s. El ancho de la calzada es de 7.0 m y la longitud entre estructuras hidráulicas de 150 m.
- Intensidad de las lluvias: La intensidad se determinó con base en la Figura 65, para una duración de 60 minutos y un periodo de retorno de 2.0 años.

5.3. CRITERIOS DE DISEÑO DE DRENAJES

Para los análisis hidrológicos e hidráulicos asociados al sistema de drenaje de los accesos viales del proyecto se siguieron las recomendaciones del "Manual de Requisitos y Normas Generales actualizadas para la Revisión de Planos, parámetros recomendados en el diseño del sistema de calles, y drenajes pluviales del Ministerio de Obras Públicas de Panamá" y del "Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica".

5.3.1. Criterios Hidrológicos

Para los análisis hidrológicos se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de diseño:

- En la estimación de los caudales de diseño de las obras de drenaje de acuerdo con el MOP, "El método racional se aceptará sólo para cálculos de soluciones pequeñas con áreas de drenaje menores de 250 hectáreas y otros métodos para áreas de drenajes mayores de 250 hectáreas, inclusive". (Ministerio de obras públicas de Panamá). Por lo tanto, para cuencas con áreas de drenaje menores a 2.5 km² se utilizó el Método Racional, mientras que para cuencas mayores a 2.5 km² se calcularon los caudales máximos a partir del método del hidrograma unitario del Soil Conservation Service.
- El periodo de retorno de diseño de las obras de drenaje se adoptó de acuerdo con las recomendaciones del MOP, tal como se presenta en la Tabla 14.

Tabla 14. Periodos de retorno de diseño obras de drenaje.

Estructura	Periodo de retorno (Años)
*Alcantarillas pluviales, los aliviaderos de sistemas pluviales y zanjas de drenajes pluviales	10
Canalización de ríos o quebradas	50
Entubamiento, cajones pluviales, muros de retén en cauces y otras estructuras permanentes	50
Puentes sobre cauces	100

Fuente: (Ministerio de obras públicas de Panamá - MOP, pág. 82)

*En el Manual de consideraciones técnicas hidrológicas e hidráulicas para la infraestructura vial en centroamérica (DACGER, 2016) se recomienda que para alcantarillas y zanjas de drenaje se utilice un periodo de retorno de 20 años, dado que con este periodo de retorno se logra un diseño más conservador tomando en cuenta los fenómenos de huracanes de la zona, se decide adoptar la recomendación de este manual.

5.3.2. Criterios Hidráulicos

Para los análisis hidráulicos se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de diseño:

- La velocidad mínima de diseño se adoptó en 1.0 m/s, con el fin de evitar sedimentación.
- Tomando en cuenta que tanto las obras transversales y longitudinales se proyectaron en concreto, se adoptó como velocidad máxima de diseño 5 m/s.
- El diámetro mínimo de las alcantarillas es de 0.9 m, con el fin de facilitar las labores de limpieza.
- El recubrimiento mínimo de las alcantarillas desde la rasante de la vía hasta la clave de la tubería es de 1.0 m.
- La relación tirante h/D para las alcantarillas no debe exceder el valor de 0.8.

5.4. CRITERIOS DE DISEÑO SEÑALIZACIÓN

En el presente capítulo se describe los criterios de diseño de señalización para considerar en las vías a desarrollar en el proyecto, los cuales obedecen a la normativa vigente que para este caso el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito (2014) en cual fue expedido por la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA) mediante la Resolución No. 02-2014 (COMITRAN-XXIII).

Los criterios de diseño se adoptan teniendo en cuenta el tipo de vías, anchos de calzada, velocidad de diseño, tipo de rodadura, entre otras.

Los caminos establecidos en el proyecto Río Indio presenta una velocidad entre 20 km/h y 30 km/h, con ancho de carril de 3.65 m.

Se tienen dos tipos de caminos, unos destinados a conectar con obras principales del proyecto y otros corresponden a caminos de conexión a las carreteras existentes. Estos pueden ser de carácter permanente o temporal.

Los caminos de carácter temporal se tienen previstos en afirmado para lo cual solo se considera señalización vertical.

Los caminos de carácter permanente se tienen previstos en pavimentos y algunos en afirmado. Para el caso de caminos pavimentados se considera señalización vertical y horizontal y para los de afirmado sólo se considera señalización vertical.

A continuación se describen los criterios según tipo de señalización:

5.4.1. Señalización vertical

Las señales verticales son dispositivos de control de tránsito instalados a nivel del camino o sobre él, destinados a transmitir un mensaje a los conductores y peatones, mediante palabras o símbolos, sobre la reglamentación de tránsito vigente, o para advertir sobre la existencia de algún peligro en la vía y su entorno, o para guiar e informar sobre rutas, nombres y ubicación de poblaciones, lugares de interés y servicios.

- **Señales de Reglamentación:** Tiene como función indicar al conductor sobre la prioridad de paso, la existencia de ciertas limitaciones, prohibiciones y restricciones en el uso de la vía, según las leyes y reglamentos en materia de tránsito de cada país.
- **Señales de Prevención:** Cumplen la misión indicar al conductor las condiciones prevalecientes en una calle o carretera y su entorno, para advertir al conductor la existencia de un potencial peligro y su naturaleza.
- **Señales de Información:** Tienen como objeto guiar al usuario hacia determinado lugar de destino, proporcionándole toda aquella información que pueda serle útil.

Para el caso del proyecto las vías son catalogadas como “Vías Convencionales” ya que se clasifican como calles o carreteras y no como autopistas ni vías rápidas.

5.4.1.1. Localización de las señales

La ubicación de los dispositivos debe ser tal que garantice que el dispositivo esté dentro del cono visual del usuario, de manera que atraiga su atención y facilite su lectura e interpretación tomando en consideración la velocidad a la que vaya el vehículo.

5.4.1.1.1. Ubicación lateral o Claro lateral de las señales

Se seguirá lo indicado en el Manual de Dispositivo Uniformes para el Control de Tránsito, el cual establece su colocación en el lado derecho de la vía, teniendo en cuenta el sentido de circulación del tránsito y donde los conductores ya se han acostumbrado a buscarlas.

La distancia mínima que se debe tener entre el borde de carril más externo hasta la proyección vertical del borde más cercano de la señal es de 1.80 metros aunque es deseable una distancia de 3.65 metros en el caso donde no exista espaldón. Cuando la carretera esté provista de espaldón, entonces el espacio lateral mínimo debe oscilar entre 0.60 metros y 1.20 metros desde el borde del espaldón, ver Figura 21. y Figura 22..

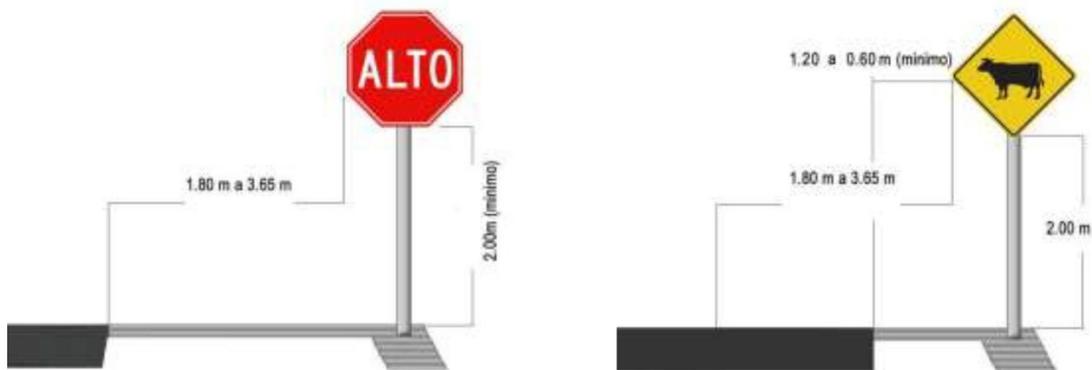


Figura 21. Dimensiones mínimas lateral y vertical entre señal y vértice con y sin espaldón pavimentado.

Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito, 2014, Cp. 2-12

5.4.1.1.2. Ubicación vertical o altura libre de la señales

Las señales instaladas al lado de la carretera, deben tener altura libre o claro vertical de cada señal, debe tener una altura libre mínima de 2.00 metros, desde el borde de la superficie del pavimento hasta la parte inferior de la señal, en el caso que la vía no cuente con hombro

(espaldón). Si la señal cuenta con una placa complementaria, la altura libre se puede reducir a un mínimo de 1.80 metros, observar Figura 22.

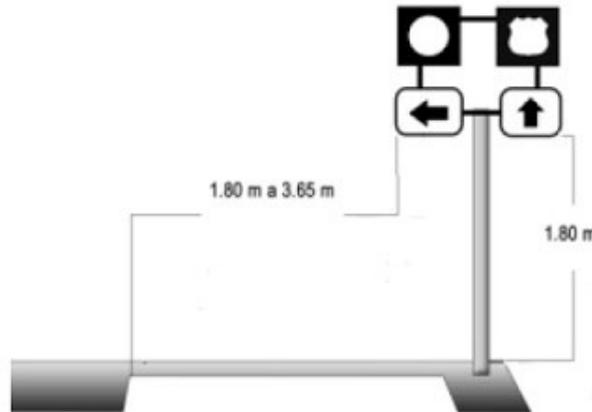


Figura 22. Dimensiones mínimas lateral y vertical con ensamble dirección de información.
Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito, 2014, Cp. 2-12

5.4.1.1.3. Ángulo de colocación de la señal

Las señales deben ser colocadas formando un ángulo recto con respecto a la dirección del flujo vehicular al que transmiten su mensaje (el eje del camino) se debe garantizar que el ángulo será menor que uno recto en aproximadamente de 8° a 15° . En curva horizontal, el ángulo de colocación debe ser determinado por la trayectoria del tránsito que se aproxima a la curva.

5.4.1.2. Dimensión de tableros

El tamaño de las señales verticales que se establecen para las vías del Proyecto Río Indio están consideradas dentro de las dimensiones estándar ya que se maneja velocidad de diseño de 30 km/h y se está respetando la recomendación dada en el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2014/2000), estas dimensiones se indican en el Numeral 13.2. SEÑALIZACIÓN VERTICAL.

5.4.2. Señalización horizontal - Demarcación en el Pavimento

La señalización horizontal está constituida por las líneas, flechas, símbolos y letras que se pintan sobre el pavimento, bordes y estructuras de las vías de circulación o adyacentes a ellas, así como los objetos que se colocan sobre la superficie de rodadura con el fin de regular o canalizar el tránsito o indicar la presencia de obstáculos. Las marcas viales o demarcaciones deben ser retroreflectivas.

La señalización horizontal y/o demarcación se clasifica en:

5.4.2.1. Demarcación de pavimentos

Corresponde a los siguientes tipos de marca:

- Líneas de centro
- Líneas de carril
- Líneas de barrera
- Líneas de borde de pavimento

- Transiciones en el ancho del pavimento
- Líneas de canalización
- Aproximaciones a obstáculos
- Marcas de giros
- Líneas de parada
- Pasos para peatones
- Aproximaciones a pasos a nivel con vías férreas
- Zonas de estacionamiento
- Palabras y símbolos sobre el pavimento. Se incluyen en este tipo de demarcación las flechas, símbolos , triángulos CEDA EL PASO y leyendas tales como ALTO, VELOCIDAD, ESCUELA, entre otras.
- Marcas para regular el uso de la vía
- Otros dispositivos y marcas auxiliares

5.4.2.2. Marcas transversales

Corresponde a los siguientes tipos de marca:

- Marcas en islas que separan flujos en sentido opuesto
- Marcas en intersecciones
- Marcas que indiquen al tránsito que viaja contra vía

5.4.2.3. Marcas incrustadas en el pavimento

Esta marca es usada para guiar al tránsito hacia el carril adecuado, estas son las marcas reflectivas tipo captaluz (vialeta), las cuales son instaladas principalmente en lugares donde las condiciones adversas del clima dificultan la visibilidad.

5.4.2.4. Dimensiones de demarcaciones de pavimentos y bordes de pavimentos

Los parámetros para las dimensiones de las señales horizontales que se establecen para las vías del Proyecto Río Indio están consideradas dentro el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2014) en los capítulos 3-14/15/17, estas dimensiones se indican en el Numeral 13.3. SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL.

5.4.3. Barreras De Contención

El propósito de las barreras es el de reducir la gravedad de los accidentes producidos por los usuarios que pierden el control de sus vehículos y abandonan la calzada. La gravedad de los accidentes se debe, entre otros, a la presencia de obstáculos en la zona adyacentes a la vía de circulación.

Teniendo en cuenta que el, Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito, 2014 no definen un criterio en cuanto a la localización de barreras de contención,

se toma como referencia el Roadside Design Guide. American Association of State Highway and Transportation Officials. .

Se define la localización de barreras de contención, tipo defensa metálicas para la condición de tramos del trazado con talud Vertical fuerte, según la condición de cada una de las vías.

6. DISEÑO DE VÍAS



6.1. ESQUEMA VIAL PROPUESTO

Teniendo en cuenta que las vías de acceso desde puerto Colón a la zona del proyecto y desde Puerto Balboa a la zona del proyecto son carreteras pavimentadas y en buen estado a las que no se les hará ninguna adecuación, los diseños viales del estudio se realizaron desde los puntos donde terminan las vías pavimentada, garantizando el ingreso por el norte y por el sur, lo que aumenta la capacidad de conexión del proyecto.

Dentro de los diseños realizados, se incluyen 16.76 km de vías carreteables para adecuación y ampliación, que actualmente se encuentran en mal estado y que cuentan con un ancho promedio entre 3.0 y 4.0 metros. Adicionalmente, se incluye el diseño de 22.54 km de vías totalmente nuevas.

De los 39.3 km de vías diseñadas, 11.07 km corresponde a vías de acceso temporal para construcción y 28.23 km son vías permanentes de operación, ver Figura 23.

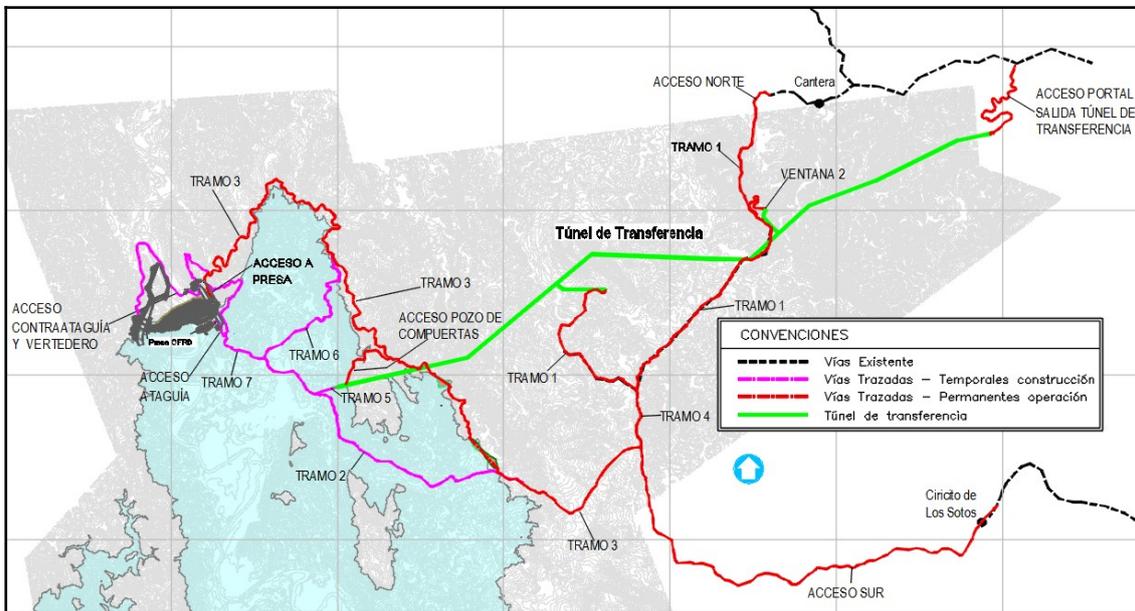


Figura 23. Esquemas vías diseñadas

En la Tabla 15 se presenta la descripción, longitud y función de cada una de las vías diseñadas.

Tabla 15. Descripción vías diseñadas

EJE DE DISEÑO	LONG (km)	USO
Tramo 1	6.74	Acceso a ventana 1 del Túnel de Transferencia Acceso a las canteras Cerro la Jota y El Duende
Tramo 2	3.72	Vía de acceso al sitio de presa durante construcción
Tramo 3	11.14	Acceso permanente al sitio de presa
Tramo 4	0.78	Conexión permanente entre vías del TRAMO 1 y TRAMO 3.

Tramo 5	0.27	Acceso a la entrada del Túnel de transferencia
Tramo 6	1.95	Vía de conexión durante la fase de construcción con TRAMO 5 de acceso a la entrada del Túnel
Tramo 7	2.12	Vía de acceso al sitio de presa durante construcción, del tramo final se desprende el ramal de acceso a presa.
Acceso a ventana 2	0.63	Acceso a ventana 2 del Túnel de Transferencia
Acceso pozo de compuertas túnel trasvase	0.87	Vía de acceso a la zona del proyecto
Ramal acceso a presa	0.20	Ramal para acceder a la presa
Acceso a contraataguía y vertedero	2.61	Vía para acceder a la contraataguía y vertedero durante construcción, y al portal de entrada de la galería de acceso en operación.
Acceso a ataguía	0.26	Ramal de acceso a la ataguía durante construcción.
Acceso Norte	0.37	Vía conexión entre vía existente y Tramo 1
Acceso Sur	5.69	Vía de conexión con Ciricito, entre vía existente y tramo 3
Portal salida túnel	1.93	Acceso al Portal Salida Túnel de transferencia

6.2. DESCRIPCIÓN DE LOS ALINEAMIENTOS

6.2.1. Tramo 1

El tramo 1 es una vía de operación a través de la cual se accede al proyecto por el norte, y sirve también para acceder a las canteras Cerro la Jota y El Duende. Gran parte de su trazado se basó en el aprovechamiento de los carretables existentes, realizando ampliación de la calzada y mejorando la geometría y pendientes.

Parte de la abscisa K0+000 en la cota 59.39 y finaliza en el K6+741 cota 95.56, desarrollándose por un terreno lomerío - montañoso con pendientes de entre 0.3% y 12%. Se tienen taludes de corte 0.5H: 1.0V con bermas de 3.0 m de ancho cada 10 metros de altura. Su superficie de rodadura es en concreto asfáltico, el ancho de calzada es de 7.30 m con cunetas en concreto de 1.0 m de ancho, bombeo normal 2.0% y su longitud es 6.74 km.

En la Figura 24 se presenta el trazado del Tramo 1.

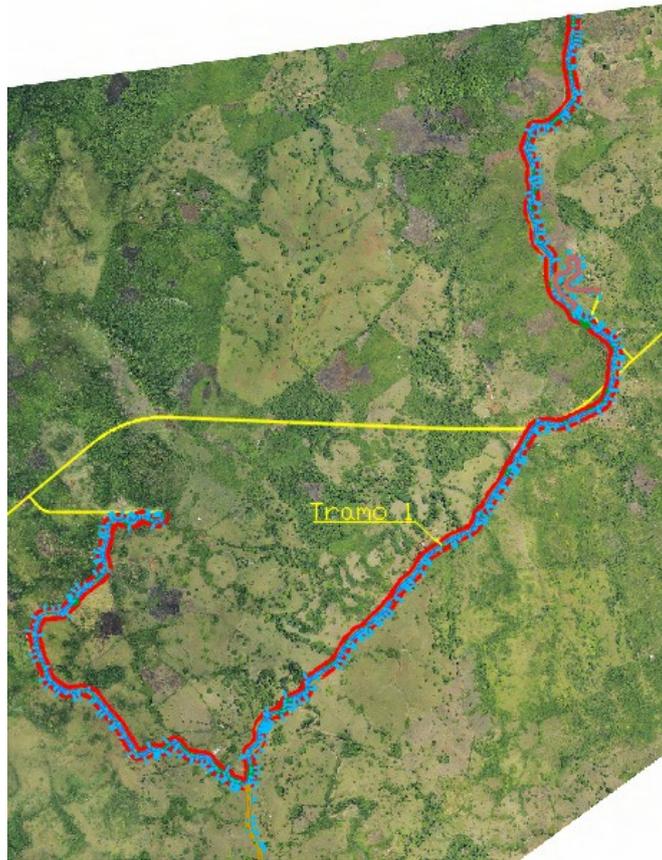


Figura 24. Trazado tramo 1

6.2.2. Tramo 2

El tramo 2 es una vía temporal a través de la cual se accede al sitio de presa durante construcción. Su trazado se basó en el aprovechamiento del carreteable existente que conduce a la población de El Limón, realizando ampliación de la calzada y mejorando la geometría y pendientes.

Parte de la abscisa K0+000 en la cota 19.23 y finaliza en el K3+720 cota 90.99, desarrollándose por un terreno lomerío - montañoso con pendientes de entre 0.3% y 12%. Se tienen taludes de corte 0.5H: 1.0V. Su superficie de rodadura es en afirmado, el ancho de calzada es de 7.30 m con cunetas de 1.0 m de ancho, bombeo normal 3.0% y su longitud es 3,72 km; al finalizar la construcción del proyecto esta vía quedará inundada.

En la Figura 25 se presenta el trazado del Tramo 2.



Figura 25. Trazado tramo 2

6.2.3. Tramo 3

El tramo 3 es una vía de operación a través de la cual se accede al proyecto por el sur, esta vía bordea el embalse, y será parte del acceso principal en la etapa de operación. Su trazado se basó en el aprovechamiento de los carretables existentes, realizando ampliación de la calzada y mejorando la geometría y pendientes hasta la abscisa K2+700; de ahí en adelante es una vía totalmente nueva. Esta vía pasa por la corona de las presas auxiliares 2 y 3.

Parte de la abscisa K0+000 en la cota 74,25 y finaliza en el K11+140 cota 56.46, desarrollándose por un terreno lomerío - montañoso con pendientes de entre 0.3% y 12%. Se tienen taludes de corte 0.5H: 1.0V con bermas de 3.0 m de ancho cada 10 metros de altura. Su superficie de rodadura es en concreto asfáltico, el ancho de calzada es de 7.30 m con cunetas en concreto de 1.0 m de ancho, bombeo normal 2.0% y su longitud es 11.14 km.

En la Figura 26 se presenta el trazado del Tramo 3.



Figura 26. Trazado Tramo 3

6.2.4. Tramo 4

El tramo 4 es una vía de operación que sirve para conectar el tramo 1 y el tramo 3 e ingresar a la zona de proyecto desde el norte. Su trazado se basó en el aprovechamiento de los carreteables existentes, realizando ampliación de la calzada y mejorando la geometría y pendientes.

Parte de la abscisa K0+000 en la cota 70.34 y finaliza en el K0+780.18 cota 56.49, desarrollándose por un terreno lomerío - montañoso con pendientes de entre 0.3% y 12%. Se tienen taludes de corte 0.5H: 1.0V. Su superficie de rodadura es en concreto asfáltico, el ancho de calzada es de 7.30 m con cunetas en concreto de 1.0 m de ancho, bombeo normal 2.0% y su longitud es 0.78 km.

En la Figura 27 se presenta el trazado del Tramo 4.



Figura 27. Trazado Tramo 4

6.2.5. Tramo 5

El tramo 5 es una vía temporal que se desprende del tramo 2 para acceder al portal de entrada del túnel de transferencia durante construcción. Es una vía totalmente nueva.

Parte de la abscisa K0+000 en la cota 14.65 y finaliza en el K0+270,39 cota 31.37, desarrollándose por un terreno lomerío - montañoso con pendientes de entre 0.5% y 11.80%. Se tienen taludes de corte 0.5H: 1.0V. Su superficie de rodadura es en afirmado, el ancho de calzada es de 7.30 m con cunetas de 1.0 m de ancho, bombeo normal 3,0% y su longitud es 0.27 km; al finalizar la construcción del proyecto quedará inundada.

En la Figura 28 se presenta el trazado del Tramo 5.



Figura 28. Trazado Tramo 5

6.2.6. Tramo 6

El tramo 6 es una vía temporal que sirve de conexión entre el tramo 2 y el tramo 3. Su trazado se basó en el aprovechamiento del carreteable existente entre el K0+000 y el K0+700 realizando ampliación de la calzada y mejorando la geometría y pendiente, del K0+700 al final la vía es totalmente nueva.

Parte de la abscisa K0+000 en la cota 19,23 y finaliza en el K1+951,74 cota 117,01, desarrollándose por un terreno lomerío - montañoso con pendientes de entre 0,7% y 12%. Se tienen taludes de corte 0,5H: 1,0V con bermas de 3,0 m de ancho cada 10 metros de altura. Su superficie de rodadura es en afirmado, el ancho de calzada es de 7,30 m con cunetas de 1,0 m de ancho, bombeo normal 3,0% y su longitud es 1,95 km; al finalizar la construcción del proyecto quedará inundada.

En la Figura 29 se presenta el trazado del Tramo 6.



Figura 29. Trazado Tramo 6

6.2.7. Tramo 7

El tramo 7 es una vía de construcción y de operación en su parte final, a través de la cual se accede sitio de presa. Es una vía totalmente nueva que parte de la población de El Limón, y empalma con el tramo 3 en la abscisa K10+730.

Parte de la abscisa K0+000 en la cota 19,21 y finaliza en el K2+116,20 cota 48,31, desarrollándose por un terreno lomerío - montañoso con pendientes de entre 0,8% y 12%. Se tienen taludes de corte 0,5H: 1,0V con bermas de 3,0 m de ancho cada 10 metros de altura. Su superficie de rodadura es en afirmado hasta la abscisa K1+920 y en concreto asfáltico desde esta abscisa hasta el final; el ancho de calzada es de 7,30 m con cunetas de 1,0 m de ancho de concreto en la zona pavimentada, y su longitud es 2,12 km.

En la Figura 30 se presenta el trazado del Tramo 7.



Figura 30. Trazado Tramo 7

6.2.8. Acceso a ventana 2

El acceso a ventana 2 es una vía de operación a través de la cual se accede a la ventana 2 del túnel de transferencia, es una vía totalmente nueva que se desprende del tramo 1 en la abscisa K5+250.

Parte de la abscisa K0+000 en la cota 101.92 y finaliza en el K0+637.52 cota 60.0, desarrollándose por un terreno lomerío - montañoso con pendientes de entre 0.6% y 11%. Se tienen taludes de corte 0.5H: 1.0V. Su superficie de rodadura es en afirmado, el ancho de calzada es de 7.30 m con cunetas de 1.0 m de ancho, bombeo normal 3.0% y su longitud es 0.64.

En la Figura 31 se presenta el trazado del acceso a ventana 2.



Figura 31. Acceso a ventana 2

6.2.9. Acceso pozo de compuertas túnel trasvase

A través de esta vía se accede al pozo de compuertas del túnel de transferencia, es una vía de operación totalmente nueva, que se desprende de la abscisa K5+030 del tramo 3.

Parte de la abscisa K0+000 en la cota 85 y finaliza en el K0+877.96 cota 110.8, desarrollándose por un terreno lomerío - montañoso con pendientes de entre 0.66% y 8.30%. Se tienen taludes de corte 0.5H: 1.0V. Su superficie de rodadura es en afirmado, el ancho de calzada es de 7.30 m con cunetas de 1.0 m de ancho, bombeo normal 3.0% y su longitud es 0.88 km.

En la Figura 32 se presenta el trazado del acceso a pozo de compuertas del túnel de trasvase.

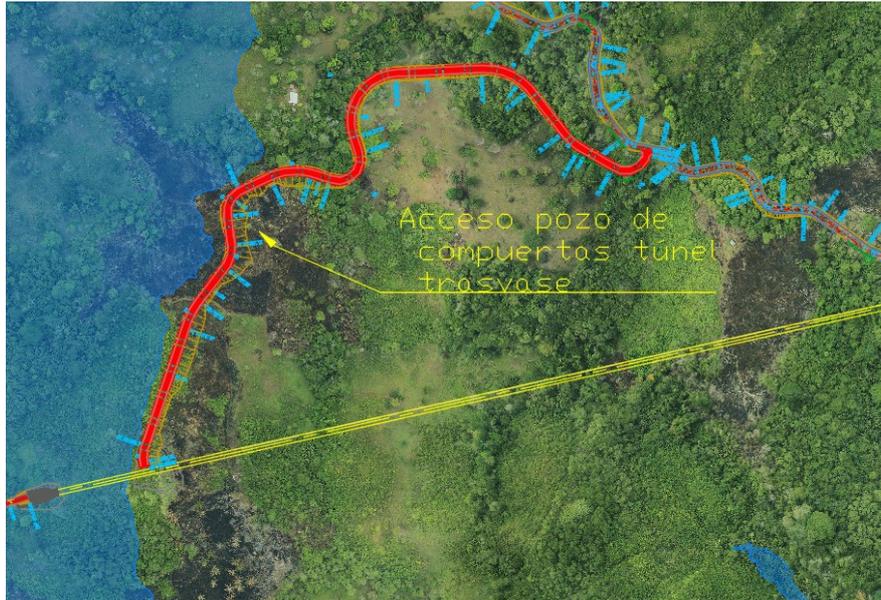


Figura 32. Acceso pozo de compuertas túnel trasvase

6.2.10. Ramal acceso a presa

El ramal de acceso a presa es una vía de operación a través de la cual se accede a la presa, es una vía totalmente nueva que se desprende de la abscisa K1+920 del tramo 7.

Parte de la abscisa K0+000 en la cota 68.94 y finaliza en el K0+200.39 cota 85.0 desarrollándose por un terreno lomerío - montañoso con pendientes de entre 0.35% y 12%. Se tienen taludes de corte 0.5H: 1.0V con bermas de 3.0 m de ancho cada 10 metros de altura. Su superficie de rodadura es en concreto asfáltico, el ancho de calzada es de 7.30 m con cunetas en concreto de 1.0 m de ancho, bombeo normal 2.0% y su longitud es 0.2 km.

En la Figura 33 se presenta el trazado del ramal de acceso a presa.

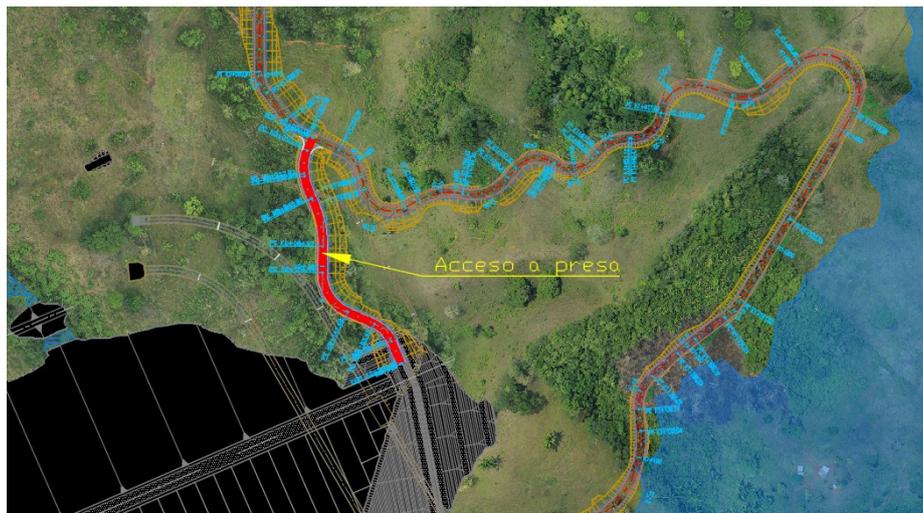


Figura 33. Trazado ramal acceso a presa

6.2.11. Acceso a ataguía

El ramal de acceso a ataguía es una vía a través de la cual se accede a la zona de la ataguía durante construcción, es una vía totalmente nueva que se desprende de la abscisa K0+640 del tramo 7.

Parte de la abscisa K0+000 en la cota 25.08 y finaliza en el K0+260.50 cota 31.22 desarrollándose por un terreno lomerío - montañoso con pendientes de entre 0.30% y 12%. Se tienen taludes de corte 0.5H: 1.0V con bermas de 3.0 m de ancho cada 10 metros de altura. Su superficie de rodadura es en afirmado, el ancho de calzada es de 7.30 m con cunetas en concreto de 1.0 m de ancho, bombeo normal 3.0% y su longitud es 0.26 km, esta vía quedará inundada.

En la Figura 34 se presenta el trazado del ramal de acceso a ataguía.

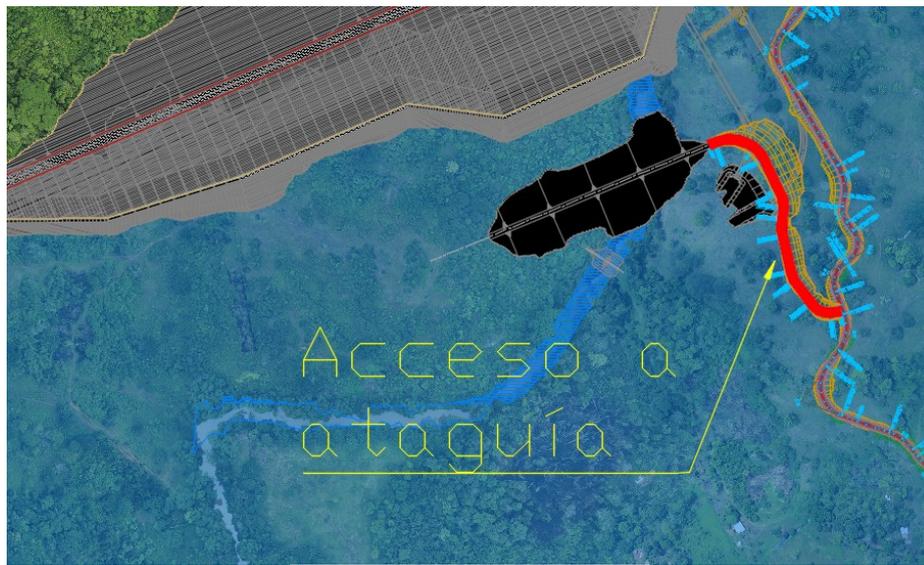


Figura 34. Trazado acceso a ataguía

6.2.12. Acceso a contraataguía y vertedero

Es una vía de construcción a través de la cual se accede a la zona de la contraataguía, cruza el río por la contraataguía y conduce a la zona del vertedero; es una vía totalmente nueva que se desprende de la abscisa K11+120 del tramo 3.

Parte de la abscisa K0+000 en la cota 57.68 y finaliza en el K2+613.66 cota 85.01 desarrollándose por un terreno lomerío - montañoso con pendientes de entre 0.30% y 12%. Se tienen taludes de corte 0.5H: 1.0V con bermas de 3.0 m de ancho cada 10 metros de altura. Su superficie de rodadura es en afirmado, el ancho de calzada es de 7.30 m con cunetas en concreto de 1.0 m de ancho, bombeo normal 3.0% y su longitud es 2.6 km.

En la Figura 35 se presenta el trazado del ramal de acceso a contraataguía y vertedero.



Figura 35. Trazado acceso a contraataguía y vertedero



6.2.13. Acceso Sur

Es una vía que se desarrolla sobre una vía existente, que da conectividad al proyecto con la vía existente en el sector Ciricito, empalma con la vía tramo 3.

Parte de la abscisa K0+000 en la cota 48.50 y finaliza en el K5+694.35 cota 74.49 desarrollándose por un terreno lomerío - montañoso con pendientes de entre 0.30% y 12%. Se tienen taludes de corte 0.5H: 1.0V con bermas de 3.0 m de ancho cada 10 metros de altura. Su superficie de rodadura es en concreto asfáltico, el ancho de calzada es de 7.30 m con cunetas en concreto de 1.0 m de ancho, bombeo normal 2.0% y su longitud es 5.7 km.

En la Figura 36 se presenta el trazado de la vía.

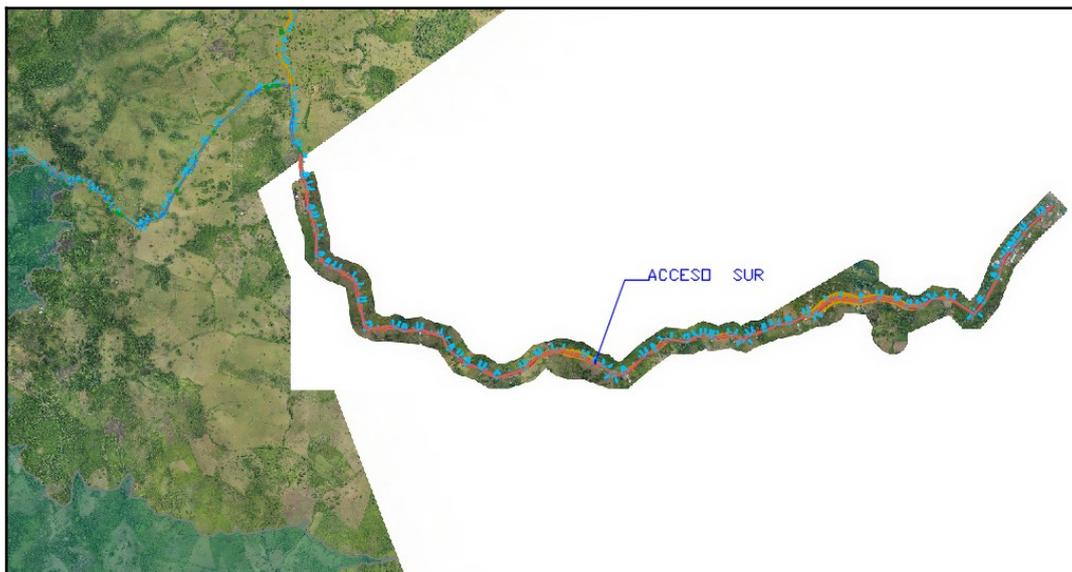


Figura 36. Trazado tramo sur

6.2.14. Acceso Norte



Es una vía que se desarrolla sobre una vía existente, que da conectividad al proyecto con la vía existente en el sector Ciricito, empalma con el final del tramo 1.

Parte de la abscisa K6+730 en la cota 95.14 y finaliza en el K7+104.06 cota 124.14 desarrollándose por un terreno lomerío - montañoso con pendientes de entre 0.30% y 12%. Se tienen taludes de corte 0.5H: 1.0V. Su superficie de rodadura es en concreto asfáltico, el ancho de calzada es de 7.30 m con cunetas en concreto de 1.0 m de ancho, bombeo normal 2.0% y su longitud es 0.37 km.

En la Figura 37 se presenta el trazado de la vía.



Figura 37. Trazado tramo norte



6.2.15. Acceso portal salida túnel

Es una vía proyectada, que se desprende de la vía existente hasta conectar con el portal de salida del túnel de transferencia.

Parte de la abscisa K0+000.00 en la cota 31.89 y finaliza en el K1+854.49 cota 47.53 desarrollándose por un terreno lomerío - montañoso con pendientes de entre 0.30% y 12%. Se tienen taludes de corte 0.5H: 1.0V con bermas de 3.0 m de ancho cada 10 metros de altura. Su superficie de rodadura es en afirmado, el ancho de calzada es de 7.30 m con cunetas en concreto de 1.0 m de ancho, bombeo normal 3.0% y su longitud es 1.85 km.

En la Figura 38 se presenta el trazado de la vía.

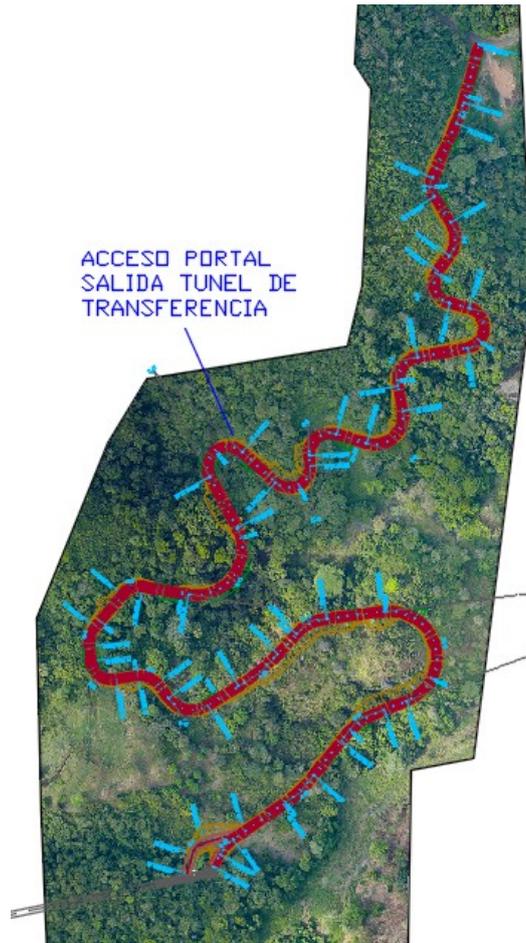


Figura 38. Trazado Portal Salida Túnel

6.2.16. Acceso a El Campano



Con el fin de mantener la conectividad entre las comunidades afectadas por las obras del proyecto, y teniendo en cuenta que parte de la vía existente El Limón - El Campano se afectará con la construcción del reservorio, se realizó el diseño de un tramo de vía de 1.3 km de longitud que se desprende de la vía de acceso al vertedero, pasa por la berma de la cota 95 del vertedero, y se desarrolla por un terreno lomerío hasta empalmar con el carretable existente que va hacia El Campano. Ver Figura 39.

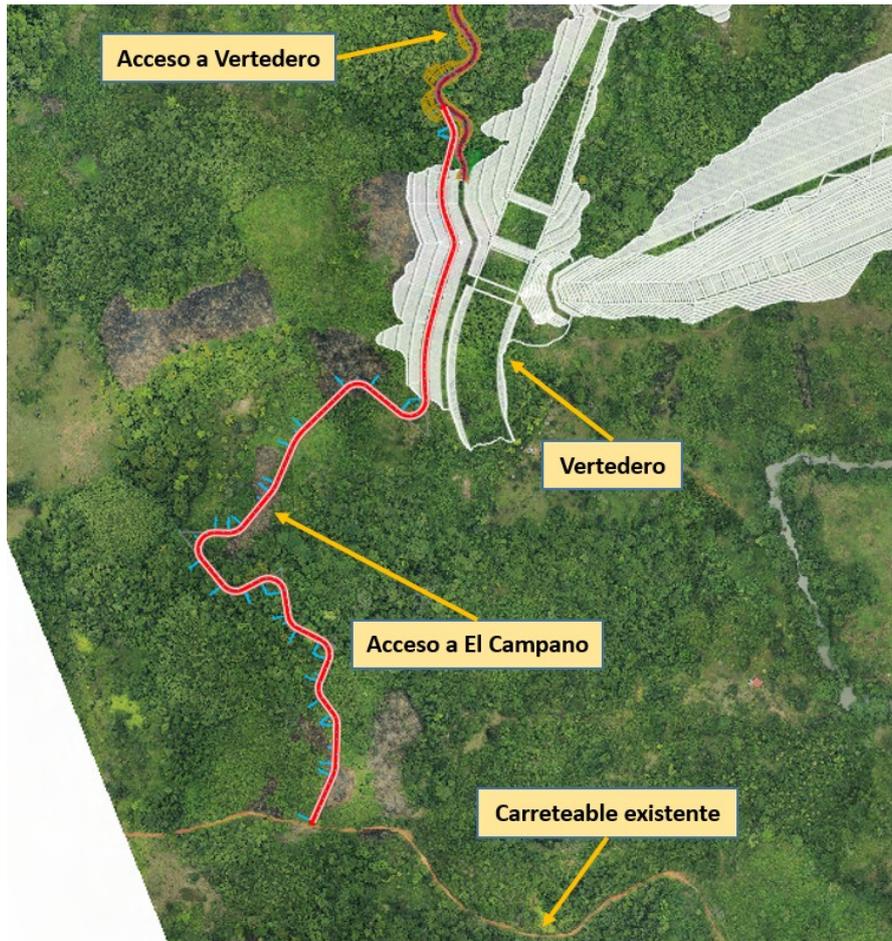


Figura 39. Acceso a El Campano

6.3. RESULTADOS DEL DISEÑO GEOMÉTRICO

Como resultado del diseño geométrico se emitieron planos generales, planos de planta-perfil y planos de secciones transversales de los corredores mencionados. En los planos generados se incluye el diseño geométrico en planta y en perfil con sus respectivos cuadros de elementos de curvatura y peraltes. En los planos de secciones transversales se presentan los cortes transversales cada 10 m indicando la abscisa, cota de terreno, cota de diseño, área de relleno, área de corte, volumen de relleno y volumen de corte.

Los planos de diseño geométrico del proyecto se presentan en el Anexo 1.

6.4. MEMORIAS DE CÁLCULO



6.4.1. Cálculo de cantidades de obra

Para cada una de las vías diseñadas, a partir del modelo digital del terreno, alineamientos en planta, alineamientos en perfil y secciones transversales generadas, se calcularon los

volúmenes cada 10 metros de movimientos de tierra, terraplenes, cunetas, carpeta asfáltica, base, subbase y afirmado a nivel de licitación, los resúmenes de cantidades de explanación y estructura de pavimento se presentan en la Tabla 16 y en la Tabla 17.

Tabla 16. Resumen volúmenes de explanación

Tramo	Longitud (km)	Volumen Corte (m3)	Volumen relleno (m3)
Tramo 1	6.70	232,602	15,438
Tramo 2	3.72	52,184	11,001
Tramo 3	11.14	599,346	13,182
Tramo 4	0.78	23,394	216
Tramo 5	0.27	865	3,492
Tramo 6	1.93	61,318	3,104
Tramo 7	1.12	127,374	3,761
Acceso a ventana 2	0.63	38,868	0
Compuertas - Túnel trasvase	0.88	52,348	1,476
Ataguía	0.26	41,512	0
Contraataguía y vertedero	2.61	87,988	10,997
Acceso a presa	0.20	23,229	0
Acceso Norte	0.37	9,291	2,424
Acceso Sur	5.69	492,713	25,439
Portal Salida Túnel	1.85	90,790	3,273
Portal Salida Túnel - Plataforma	0.08	7,847	30.64
Total		1,941,672	93,834

Tabla 17. Resumen volúmenes de pavimento

Tramo	Long. (km)	Concreto Asfáltico (m3)	Base Granular (m3)	Subbase Granular (m3)	Afirmado (m3)	Rajón (m3)	Cuneta (m3)
Tramo 1	6.70	7,874	12,303	14,764	12,303	15,748	1,238
Tramo 2	3.72	-	-	13,505	6,752	9,453	-
Tramo 3	11.14	12,609	19,701	24,9	20,331	25,157	2,144
Tramo 4	0.78	922	1,44	1,728	1,44	1,901	177
Tramo 5	0.27	-	-	987	493	711	-
Tramo 6	1.93	-	-	6,945	3,472	4,028	-
Tramo 7	1.12	223	349	7,445	3,862	3,399	48
Acceso a ventana 2	0.63	-	-	2,314	1,389	-	-
Ataguía	0.88	-	-	949	475	418	-
Contraataguía - vertedero	0.26	-	-	9,533	6,101	-	-
Compuertas -	2.61	-	-	3,19	1,595	2,297	-

Túnel trasvase							
Acceso a presa	0.20	228	356	427	356	313	44
Acceso Norte	0.37	436	682	819	682	682	57
Acceso Sur	5.69	6,651	10,392	12,470	10,392	10,392	867
Portal Salida Túnel	1.85	-	-	6,768	2,707	2,707	-
Portal Salida Túnel - Plataforma	0.08	-	-	301	120	120	-
Total		28,943	45,224	107,047	72,472	77,327	4,576

Los listados detallados de cantidades de obra se presentan en el Anexo 2.

6.4.2. Reportes de alineamiento

Para facilitar la ubicación de cada vía en el terreno, se generaron carteras de localización, en las que se presentan las coordenadas y cotas de los ejes viales cada 10.0 metros.

En el Anexo 3 se presentan las carteras de localización de cada una de las vías diseñadas.

7. MODELO GEOLÓGICO

7.1. CONTEXTO GEOLÓGICO

La zona del reservorio propuesto se localiza en la cuenca media del río Indio que drena en dirección norte al Mar Caribe, en la provincia de Colón principalmente y en el límite con la provincia Coclé hacia la parte central del Istmo de Panamá, el cual es conocido desde el punto de vista de la tectónica de placas como bloque o microplaca de Panamá tal como se muestra en la Figura 40.

Hacia el norte, el bloque de Panamá se encuentra en contacto tectónico con la placa Caribe por medio de una zona de subducción en la cual la placa Caribe de afinidad oceánica se interna hacia el manto superior bajo el bloque de Panamá. Encima de esta zona de subducción se identifica el cinturón de deformación del Norte de Panamá que se caracteriza por numerosos pliegues y fallas y por ser la fuente de varios terremotos y maremotos de magnitud considerable ocurridos en el periodo histórico.

Hacia el Sur, el bloque Panamá se encuentra en contacto con la microplaca de Coiba (que hace parte de la placa de Nazca) por medio de la zona de deformación del Sur de Panamá que consiste en una zona de subducción oblicua donde la microplaca de Coiba se hunde bajo el bloque Panamá. En esta zona los esfuerzos se acomodan en una zona de fallamiento transcurrente con movimiento sinistral principalmente, con existencia de numerosos pliegues y fallas inversas, además de sismos de magnitud moderada. Esta zona de deformación constituye la prolongación de la zona de subducción del sur de Centroamérica hacia la fosa de Colombia, donde subduce la placa Cocos bajo Centro América.

Litológicamente el reservorio propuesto en el Río Indio se localiza en una franja de rocas sedimentarias de edad Terciario que cubren el Istmo de Panamá desde su parte central hacia los límites con Colombia, ver . Se trata de una espesa secuencia sedimentaria acumulada entre el Cretácico y el Cuaternario discordante sobre rocas de los complejos ofiolíticos del Cretácico – Paleógeno y el arco volcánico Cretácico – Terciario y Actual. Los sedimentos clásticos que conforman la secuencia sedimentaria fueron derivados de la erosión de las rocas ígneas volcánicas pre-existentes y redepositados en las cuencas adyacentes con influencia marina. Dentro de esta secuencia se encuentran lutitas, areniscas, conglomerados finos, rocas carbonatadas y rocas volcánicas clásticas

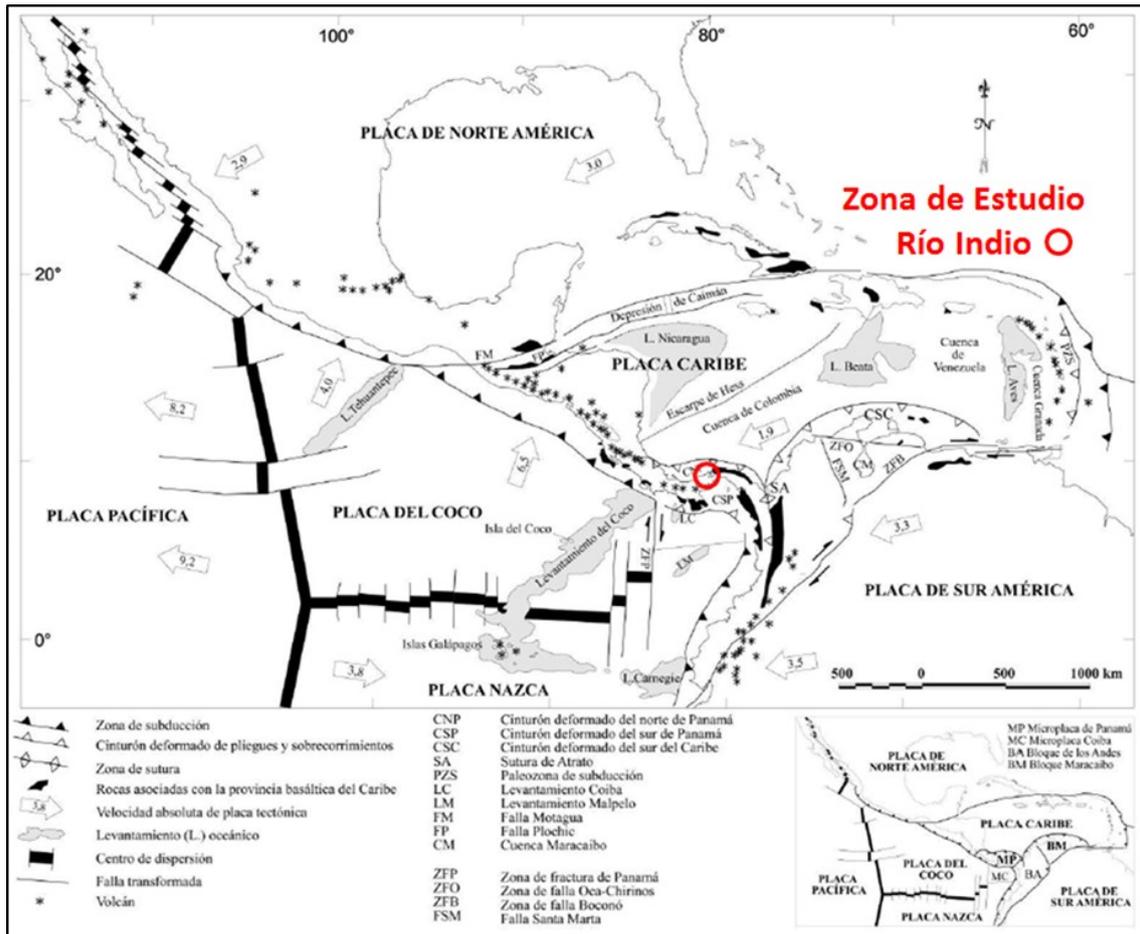


Figura 40. Localización del reservorio propuesto del Río Indio en el Centro del Istmo de Panamá, teniendo en cuenta la configuración tectónica de Centro América y la esquina Noroeste de América del Sur. Tomado de Denyer (1998)

En la zona recorrida, esta franja sedimentaria que presenta altos contenidos de material volcánico como lútics, ceniza y vidrio volcánico, en general se encuentra dispuesta estructuralmente de manera horizontal, y discordantemente sobre el basamento volcánico y ofiolítico. Este marco establece que la mayor parte del reservorio propuesto, incluyendo las vías de acceso se desarrollará en esta unidad geológica que tiene poca deformación tectónica teniendo en cuenta su horizontalidad.

El efecto del clima tropical altamente húmedo y con una densa cobertura vegetal, genera altas tasas de meteorización en las rocas que conforman la franja sedimentaria sobre la que se localiza el reservorio propuesto del Río Indio, formando suelos residuales arcillo – arenosos muy oxidados que alcanzan hasta 10 m de espesor.

Localmente dentro de la franja de rocas sedimentarias se encuentran cerros que sobresalen en la morfología de montañas bajas suaves. Estos cerros como La Pedregosa, El Duende y la Jota en la zona de interés, corresponden a cuerpos ígneos hipoabisales emplazados a baja profundidad en las rocas sedimentarias, clasificados en campo como basaltos andesíticos.

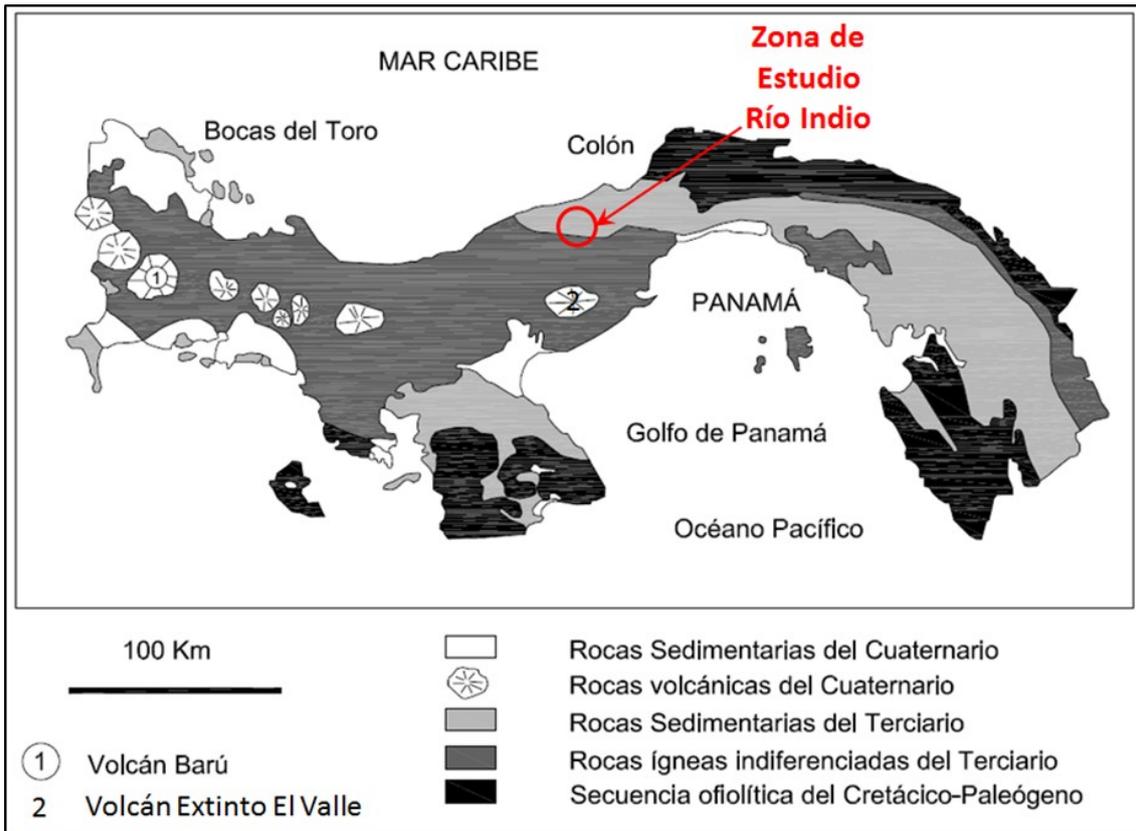


Figura 41. Localización del reservorio propuesto del Río Indio en la franja de rocas sedimentarias del Terciario en el Istmo de Panamá. Tomado de Badilla et al (1999)

Al norte y suroeste la franja de rocas sedimentarias está limitada por rocas de fondo oceánico típicas de una secuencia ofiolítica de edad Cretácico y Paleógeno. Se distinguen brechas volcánicas, hialoclastitas, diabasas, basaltos, plagiogranitos, gabros, peridotitas, piroxenitas, espilitas y picritas, que se localizan en las regiones central y oriental de Panamá, en las provincias de Azuero y Soná.

Hacia el sureste, la franja con dominio de rocas sedimentarias se encuentra en contacto con rocas ígneas indiferenciadas con edades entre el Cretácico y el Cuaternario donde dominan las rocas ígneas extrusivas tipo andesitas, ignimbritas, basaltos, tobas y raramente dacitas y riolitas, rocas pertenecientes al arco volcánico panameño que es una continuación del arco volcánico de Centro América que en la actualidad es activo. En esta zona se destaca el Volcán Barú de edad Cuaternario en la provincia de Chiriquí hacia la frontera con Costa Rica, y el volcán extinto del Valle en las provincias de Panamá al este y Coclé al oeste, también del Cuaternario. La zona de estudio de Río Indio se localiza al norte del Volcán El Valle.

7.1.1. Geología estructural y fallamiento activo

En el Istmo de Panamá varias tendencias de lineamientos de falla pueden ser interpretadas sobre el modelo de elevación digital del terreno, siendo las principales las de dirección N-S (con variaciones al NNE o al NNW), N75W y N60E. Dentro de los lineamientos de dirección N60E sobresale la Falla del Río Gatún, Figura 42, una estructura geológica "mapeada" entre el Lago Gatún y el Río Boquerón al norte de la cuenca de Madden, la cual ha sido catalogada por Cowan et al (1998) en el Mapa de Fallas y Pliegues Cuaternarios de Panamá, como una falla normal u oblicua – normal con movimiento en el Cuaternario.



Figura 42. Mapa de Fallas Cuaternarias de Panamá con localización del reservorio propuesto del Río Indio al Suroeste de la traza de la Falla del Río Gatún. Tomado de Cowan et al (1998)

En estudios posteriores al de Cowan et al (1998) como el elaborado por URS Inc. (2008), que muestra los resultados del análisis probabilístico de la amenaza sísmica en tres sitios de la región del Canal de Panamá (*New Pacific Locks, the Atlantic Locks and Gatun Dam, and the Madden Dam*), se determinó que las tres probables fuentes sismogénicas que podrían afectar la presa de Gatún son: 1) El Cinturón Deformado del Norte de Panamá, 2) la Falla del Río Gatún, y 3) las Fallas de la Costa Caribe cerca de la presa de Gatún. Este análisis de amenaza sísmica contó con información proveniente de evaluaciones geomorfológicas e investigaciones paleosismológicas (Petersen et al, 2003 ; Petersen et al, 2005 ; ECI, 2006 ; ECI 2007a,b ; WLA, 2007 y los resultados de la evaluación del PSAB "Paleoseismology Advisory Board") de las fallas Gatún, Limón, Pedro Miguel y Azota (Figura 6-4) que permitieron determinar sentido del movimiento, geometría, longitud, segmentación, tasa de movimiento, desplazamiento en el evento más reciente e intervalo de recurrencia. Entre otros aspectos, de este trabajo llama la atención el modelamiento estructural de la zona central de Panamá, donde adicional a la Falla Gatún Principal denominada Falla Gatún Este, se considera una traza al oeste del Lago Gatún identificada como Falla Gatún Oeste (Figura 43), la cual en el modelo estructural es presentada como falla activa en concordancia con la actividad de la falla principal.

Las características de la Falla Gatún evidenciadas en los estudios paleosismológicos compilados por URS (2008) son:

- Falla de rumbo con movimiento sinistral
- Alto ángulo de buzamiento hacia al SE
- Longitud 41 a 50 km. 120 km si la falla se extiende al W del Lago Gatún (Ver página 154 de URS, 2008)
- 2 segmentos limitados por la falla Azota de dirección NNW

- Tasa de desplazamiento entre 1mm/año a 8mm/año, siendo el dato con mayor aceptación de 3mm/año. 6 a 8.4 mm/año Gatún (Ver página 154 de URS, 2008)
- Desplazamiento en el evento más reciente entre 0.7 m y 1.5 m
- Intervalo de recurrencia aceptado de 100 a 170 años.
- Último Evento: Posterior a 1790 AD (Ver página 154 de URS, 2008)
- Magnitud: 6.9 – 7.5 (Ver página 154 de URS, 2008)

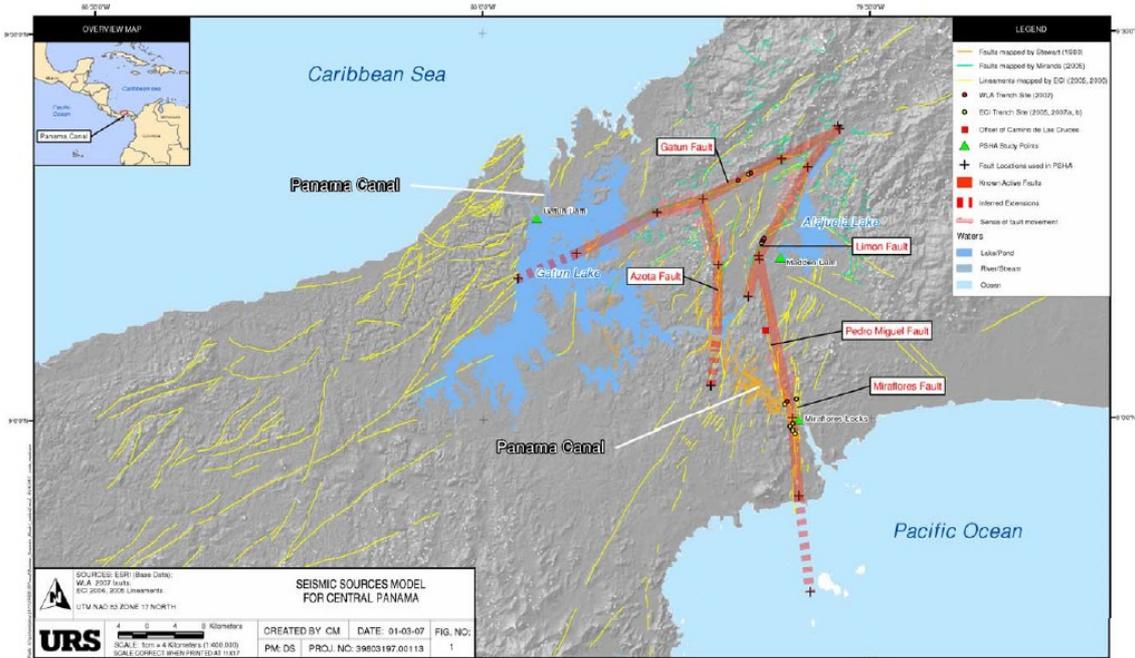


Figura 43. Mapa de la región de la Zona del Canal de Panamá mostrando la localización de las fallas corticales consideradas en análisis probabilístico de la amenaza sísmica. Tomado de URS (2008)

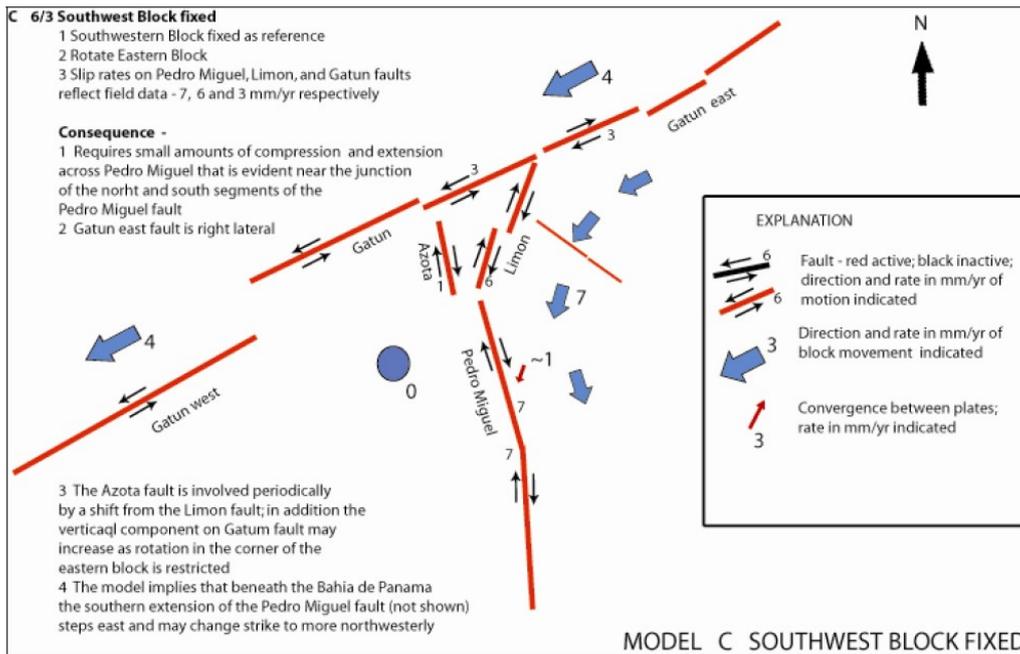


Figura 44. Modelos estructurales de las fallas en el centro de Panamá. Tomado del Archivo Adjunto F del informe de URS (2008)

Teniendo en cuenta lo anterior, en la zona del proyecto llama la atención la presencia de dos lineamientos visibles en el modelo de elevación digital del terreno. El primer lineamiento tiene la misma tendencia en rumbo de la Falla del Río Gatún, es decir N60E, el cual según el modelo estructural de la Figura 44 es correlacionable con la Falla Gatún Oeste. Este lineamiento se localiza al sur del posible eje de la presa cuyo estribo derecho se encuentra en el Cerro Tres Hermanas, así como al sur y en dirección subparalela al eje del túnel de transferencia (Figura 45). El segundo lineamiento presenta una tendencia cercana a Falla Gatún pero su rumbo es más cercano a E-W. Este lineamiento está ubicado hacia la zona de presa, sin embargo a mayor escala los rasgos geomorfológicos son tenues o sin continuidad.

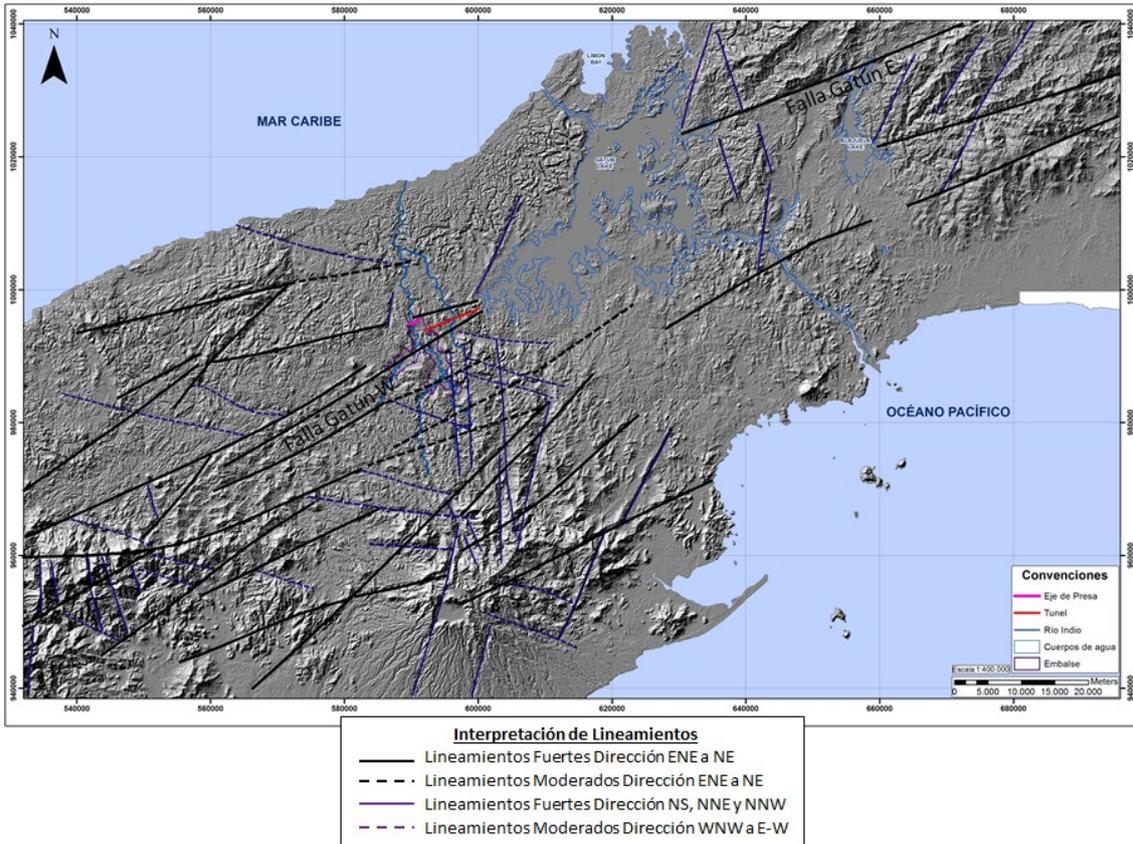


Figura 45. Interpretación fotogeológica de lineamientos de falla en la zona del Reservoirio Multipropósito del Río Indio

7.2. GEOLOGÍA LOCAL

En la zona del reservorio propuesto del Río Indio afloran rocas sedimentarias y volcano-sedimentarias de la Formación Caimito -TO-CAI- (Figura 46). Esta unidad de edad Terciario presenta un importante aporte volcánico evidente en los niveles de tobas interestratificados y en el contenido de fragmentos líticos de origen volcánico de las areniscas. Se diferencian estratos de arenisca de grano medio a muy fino, areniscas tobáceas y lodolitas tobáceas, intercaladas con niveles de conglomerados, lodolitas con foraminíferos y areniscas lodosas con contenido de carbonatos. Los estratos de la Formación Caimito generalmente se presentan en posición horizontal o levemente inclinados. Esta litología se identificó en los estudios de geología de la Factibilidad realizada por MWH (2003).

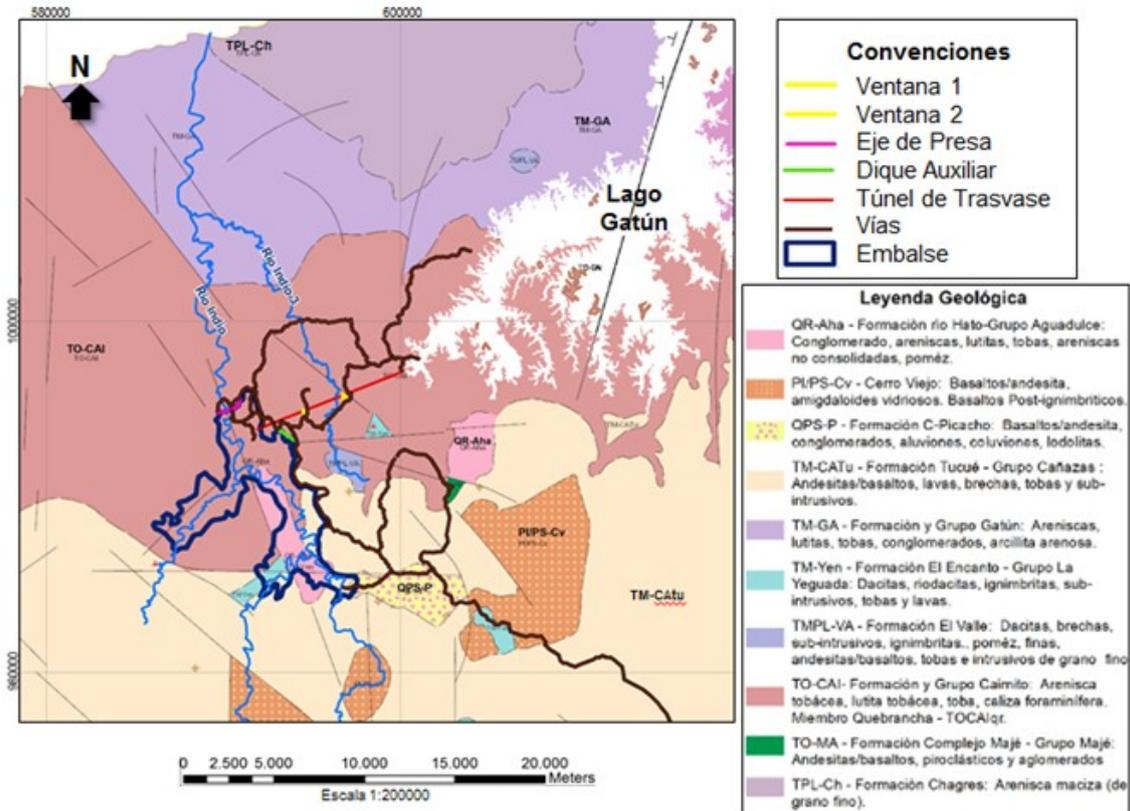


Figura 46. Mapa Geológico de la zona del reservorio multipropósito propuesto del Río Indio. (MICI, Milton J. Solano, 1990)

Este segmento de roca está altamente meteorizado, formando horizontes de suelo residual arcilloso de color rojo o rojo-amarillento que puede alcanzar hasta 10 m de espesor según la topografía y la pendiente del terreno.

La expresión geomorfológica de la Formación Caimito es de lomeríos y colinas con alturas que oscilan entre 20 msnm y 200 msnm. Este relieve bajo es característico de rocas blandas y de baja litificación que son susceptibles a los procesos erosivos debido a su débil estructura interna relacionada a la baja subsidencia de la cuenca de depositación, a la poca carga litostática y a la poca afectación tectónica.

7.3. VÍAS DE ACCESO

La zona del reservorio propuesto del Río Indio cuenta con vías de comunicación terrestres que permiten el acceso a zonas cercanas a la presa, a los portales de entrada y salida y ventanas del túnel de trasvase, a la zona del reservorio, así como a las zonas identificadas como posibles fuentes de material (Figura 47). El estado de estas vías es transitable, pero en épocas lluviosas algunos tramos pueden presentar problemas de empozamientos de agua y formación de barrizales, que dificultan el paso en vehículo (Figura 48 y Figura 49).

A pesar de esta red vial básica, sería necesaria su adecuación para las necesidades específicas del reservorio propuesto, además de la construcción de tramos adicionales hacia la zona de presa y los portales del túnel transferencia.

Las geología expuesta en los afloramientos de las vías, es la misma identificada en las obras principales potenciales, es decir rocas sedimentarias principalmente areniscas y areniscas tobáceas en posición estructural horizontal que desarrollan suelos residuales arcillo – arenosos color rojo y amarillo quemado de hasta 10 m de espesor (ver Figura 49). De manera que las vías a construir para el acceso a los diferentes frentes de obra se harán en suelos residuales derivados de rocas sedimentarias areno-lodosas con un importante aporte volcánico.

Otros accesos a tener en cuenta son los fluviales, sea por el Río Indio hacia la zona de presa propuesta, y por el Lago Gatún al portal de salida del túnel transferencia propuesto desde la localidad de Cuipo.

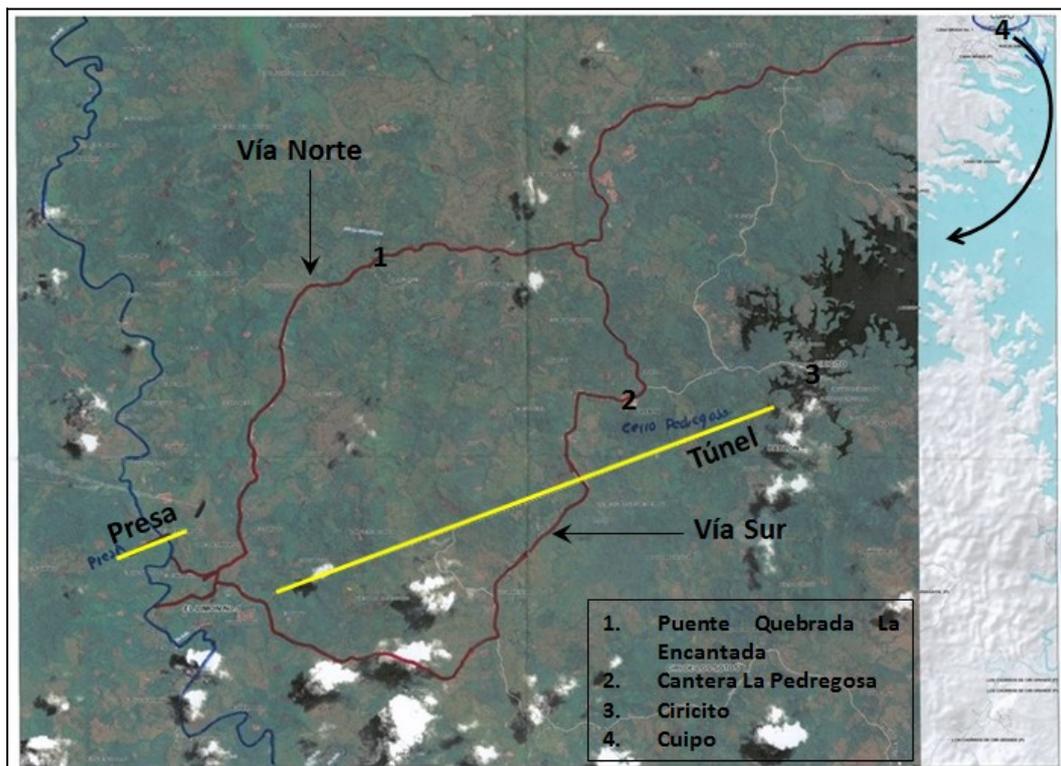


Figura 47. Red Vial Básica en la zona del reservorio propuesto del Río Indio



Figura 48. Estado de la Vía Norte



Figura 49. Estado de la Vía Sur

8. ANÁLISIS GEOTÉCNICOS: INFRAESTRUCTURA VIAL, PUENTES, TERRACERÍAS Y PAVIMENTOS

8.1. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

8.1.1. Terracerías

8.1.1.1. Exploraciones de Campo

El plan de exploración del subsuelo consistió en la ejecución de perforaciones, líneas geofísicas y ensayos de campo y de laboratorio efectuados para el estudio de taludes, terraplenes y la implantación inicial de puentes vehiculares. Este plan fue desarrollado en conjunto por INGETEC y la ACP.

La investigación geotécnica realizada permitió estimar los espesores y las propiedades físicas de los diferentes materiales que conforman el terreno del área de implantación del Proyecto multipropósito Río Indio. Para la exploración del subsuelo se ejecutaron perforaciones que alcanzaron profundidades máximas de 35.00 m, en las cuales se efectuaron ensayos *in situ* de penetración estándar, SPT. Adicionalmente, se ejecutaron ensayos de laboratorio sobre las muestras obtenidas de las perforaciones.

8.1.1.2. Perforaciones

A lo largo del corredor se ejecutaron 174 m de perforación en las zonas donde se harán cortes y rellenos o hay sitios de implantación de puentes.

En la Tabla 18. se indica la ubicación y profundidad de las perforaciones ejecutadas durante la campaña de exploración del subsuelo, la cual fue la base para caracterizar los materiales en sitios de implantación de taludes de corte y terraplenes. Adicionalmente, se cuenta con perforaciones secundarias asociadas al diseño de puentes, tal como se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18. Localización de perforaciones usadas para taludes.

Perforación	Coordenadas		Profundidad	Niveles de agua
	Este	Norte	Ejecutada (m)	Profundidad (m)
IND-T1-BH-09	595 876.09	994 162.56	16	5
IND-T4-BH-13	595 638.95	993 399.33	10	NR
IND-T3-BH-02	591 989.48	995 620.66	27	NR
IND-TN2-BH-15	599 182.50	991 719.76	10	NR
IND-T3P-BH-02	589 896.50	995 345.57	26	NR
IND-T1P-BH-05	595 498.28	993 741.99	20	3
MD-BH-26	589 608.26	994 595.23	35	9
IND-T2P-BH-07	595 740.26	994 036.27	20	4

8.1.1.3. Geofísica

La información derivada de las observaciones de campo y de las exploraciones directas del subsuelo se complementó con estudios geofísicos. Se realizó una campaña de líneas de refracción sísmica y reflexión sísmica a lo largo del corredor, tal como se presenta en la Tabla 19.

Tabla 19. Localización de las líneas sísmicas

Geofísica	Coordenadas Inicio		Coordenadas Fin	
	Este	Norte	Este	Norte
IND-T3-LRS-15	590 434.23	994 941.23	590 348.26	994 889.23
IND-T1-LRS-13	594 763.25	994 646.26	594 664.25	994 446.26
IND-T1-LRS-14	596 768.24	996 116.26	596 866.24	996139.26
IND-T1P-LRS-06	595 523.25	993 786.26	595 491.25	993 691.25
IND-T1-LRS-01	595 744.25	994 052.26	595 826.25	994 106.26

8.1.1.4. Ensayos de Laboratorio

El plan de laboratorio consistió en ensayos de clasificación (granulometría, límites de Atterberg), ensayos de resistencia (carga puntual y compresión simple en roca) y pruebas indicativas de resistencia y de compresibilidad (humedad natural y peso unitario total).

En la Tabla 20.se presenta la cantidad y tipo de ensayos ejecutados. En dicha tabla se discriminan los ensayos realizados sobre las muestras recuperadas de las perforaciones.

Tabla 20. Cantidad de ensayos ejecutados

Ensayos	Total
Humedad natural	22
Granulometría	10
Límites	9
Peso unitario	19
Carga puntual	4
Compresión simple (roca)	14
TOTAL	78

8.1.1.5. Morfología de Taludes Existentes

Se examinó la conformación actual de los taludes existentes de los tramos 1 a 7, acceso a ventana 2, ataguía, contraataguía, portal de entrada a galería de acceso y acceso pozo de compuertas túnel trasvase; como resultado de este análisis se construyó la Tabla 21.en la que se presentan los diferentes ángulos de inclinación de los taludes existentes en función del tramo y del abscisado del trazado. La tabla permite ver que en esta unidad los taludes presentan inclinaciones hasta de 63°.

Adicionalmente las colinas y lomas naturales presentan pendientes entre 30 y 45°. Es importante notar que a lo largo del trazado existen varios sectores relativamente planos.

Tabla 21. Resumen altura de Taludes Existentes

Tramo	Inicio	Fin	Pendiente (°)	Altura (m)
1	2+870	2+950	63	4

1	5+760	5+770	63	8
2	1+280	1+400	60	6
2	1+510	1+540	50	6
2	1+610	1+1650	60	6
2	3+570	3+600	63	4
3	0+170		63	4
4	0+390	0+480	63	4

8.1.1.6. Caracterización de los Materiales

En la zona del reservorio multipropósito Río Indio afloran rocas sedimentarias y volcano sedimentarias de la Formación Caimito To-Cai. Esta unidad de edad Terciario presenta un importante aporte volcánico evidente en los niveles de tobas interestratificados y en el contenido de fragmentos líticos de origen volcánico de las areniscas. Se diferencian estratos de arenisca de grano medio a muy fino, areniscas tobáceas y lodolitas tobáceas, intercaladas con niveles de conglomerados, lodolitas con foraminíferos y areniscas lodosas con contenido de carbonatos. Los estratos de la Formación Caimito generalmente se presentan en posición horizontal o levemente inclinados

8.1.1.6.1. Formación Caimito

Esta Formación predomina en toda el área de Reservorio Multipropósito Río Indio y se caracteriza por presentar estratos de arenisca de grano medio a muy fino, areniscas tobáceas y lodolitas tobáceas, intercaladas con niveles de conglomerados, lodolitas con foraminíferos y areniscas lodosas con contenido de carbonatos, tal como se observa en la Figura 50. En algunos afloramientos se observa el contacto discordante de esta Formación infrayaciendo a depósitos coluviales y aluviales presentando un contacto erosivo. La caracterización de los materiales que conforman esta formación se realizó con base en los registros de las perforaciones IND-T1-BH-09, IND-T4-BH-13, IND-T3-BH-02, IND-TN2-BH-15, IND-T3P-BH-02, IND-T1P-BH-05, MD-BH-26, IND-T2P-BH-07; los ensayos de laboratorio realizados sobre las muestras recuperadas en estos sondeos y la información tomada en los recorridos de campo.



Figura 50. Afloramiento de la Formación Caimito (TO - CAI)

A continuación, se presentan las propiedades geotécnicas medidas sobre las Lodolitas y areniscas y el suelo residual que hacen parte de la Formación Caimito. Posteriormente, se presentan los parámetros utilizados en los modelos geotécnicos de estabilidad de taludes.

8.1.1.6.2. Areniscas de la Formación Caimito

Las areniscas de esta formación corresponden a rocas blandas, de acuerdo con los ensayos de compresión simple, los cuales presentan una resistencia variable entre 5.44 y 21.6 MPa. En la Figura 51. y en la Figura 52. se presentan los análisis granulométricos, pesos unitarios y resultados de compresión simple de las areniscas.

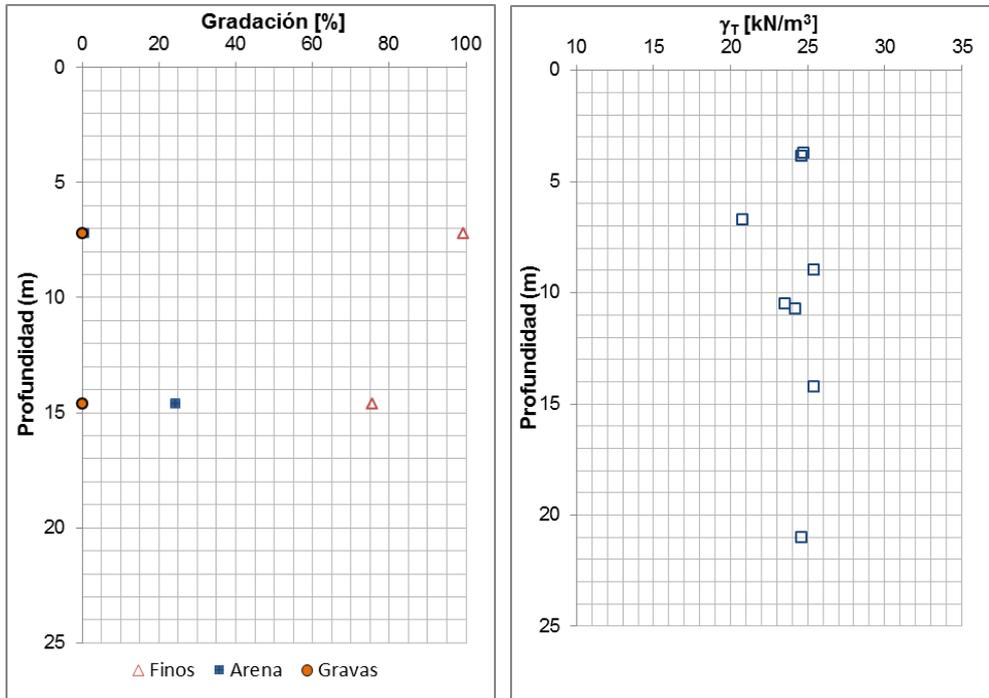


Figura 51. Resultados de laboratorio. Análisis granulométrico y peso unitario total de las areniscas de la Formación Caimito

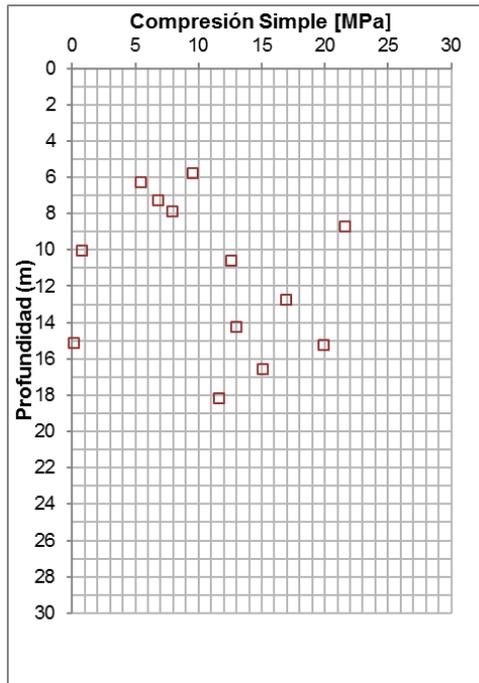


Figura 52. Ensayos de compresión simple para las areniscas de la Formación Caimito

En la Tabla 22. se presentan los valores de resistencia del macizo rocoso utilizados en los modelos geotécnicos de estabilidad de taludes, de acuerdo con los ensayos de compresión simple realizados a los estratos que conforman este material. Considerando los resultados obtenidos en los ensayos de compresión simple, los parámetros para las areniscas de la Formación Caimito se obtuvieron a partir de la determinación de resistencia equivalente, en términos de cohesión y ángulo de fricción, empleando el criterio de falla de Hoek-Brown et al (1988).

Para las capas duras de arenisca en la Formación se adoptó un valor promedio característico para este tipo de roca sedimentaria equivalente a 10,0 MPa. Según el reconocimiento de los materiales en campo se estimó un GSI (“*Geological Strength Index*”) de 42 para las areniscas.

Tabla 22. Formación Caimito. Parámetros de resistencia del macizo rocoso utilizados en los análisis geotécnicos para areniscas

Material	γ (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)
Areniscas	20	89	40

8.1.1.7. Depósitos Cuaternarios

8.1.1.7.1. Suelo residual de la Formación Caimito con influencia Coluvial, Qc

Estos depósitos se localizan en el área de influencia del proyecto, se identificaron fragmentos de roca angular los cuales indican la influencia coluvial del material, así mismo subrayase la Formación Caimito (To-Cai), En la Figura 53 se observa el afloramiento de los Suelos Residuales de la Formación caimito To-Cai con influencia coluvial, Qc. La caracterización de los materiales que conforman este tipo de materiales se realizó con base en los registros de las perforaciones IND-T1-BH-09, IND-T4-BH-13, IND-T3-BH-02, IND-TN2-BH-15, IND-T3P-BH-02,

IND-T1P-BH-05, MD-BH-26, IND-T2P-BH-07; los ensayos de laboratorio realizados sobre las muestras recuperadas en estos sondeos y la información tomada en los recorridos de campo.



Figura 53. Aspectos de los Suelos Residuales de la Formación caimito TO-CAI con influencia coluvial, Qc

En la Figura 54. y en la Figura 55. se presentan los análisis granulométricos, pesos unitarios, SPT e índice de plasticidad de los depósitos de suelo residual con influencia coluvial. En la carta de plasticidad que se muestra en la Figura 56, se incluyen los datos obtenidos sobre estos materiales, clasificándolos en su mayoría como suelos con matriz cohesiva constituida por arcillas y limos de alta plasticidad (CH - MH).

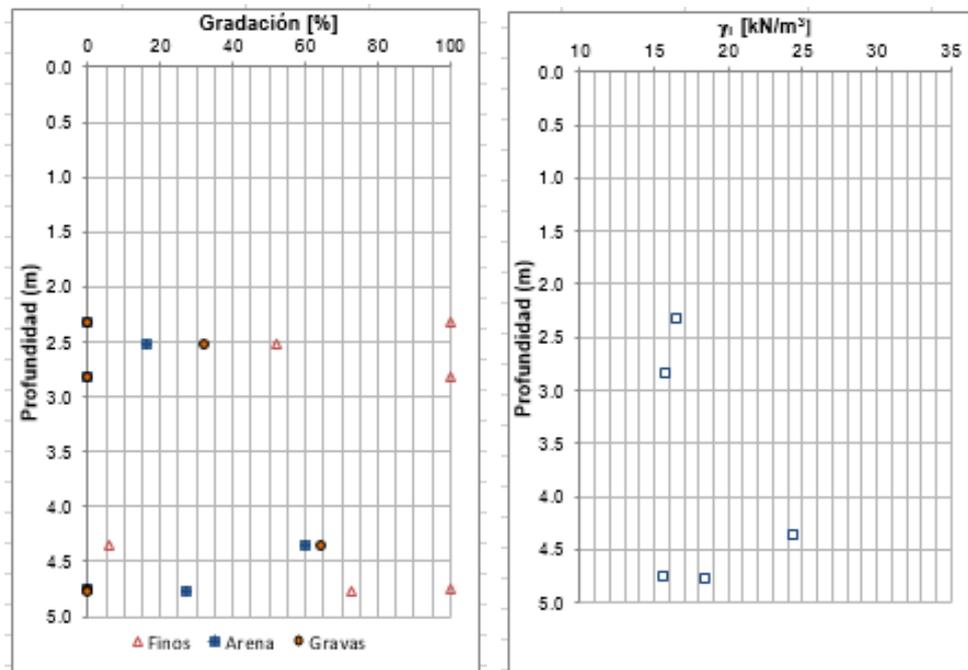


Figura 54. Resultados de laboratorio. Análisis granulométrico y peso unitario total de los Suelos Residuales de la Formación caimito TO-CAI con influencia coluvial, Qc

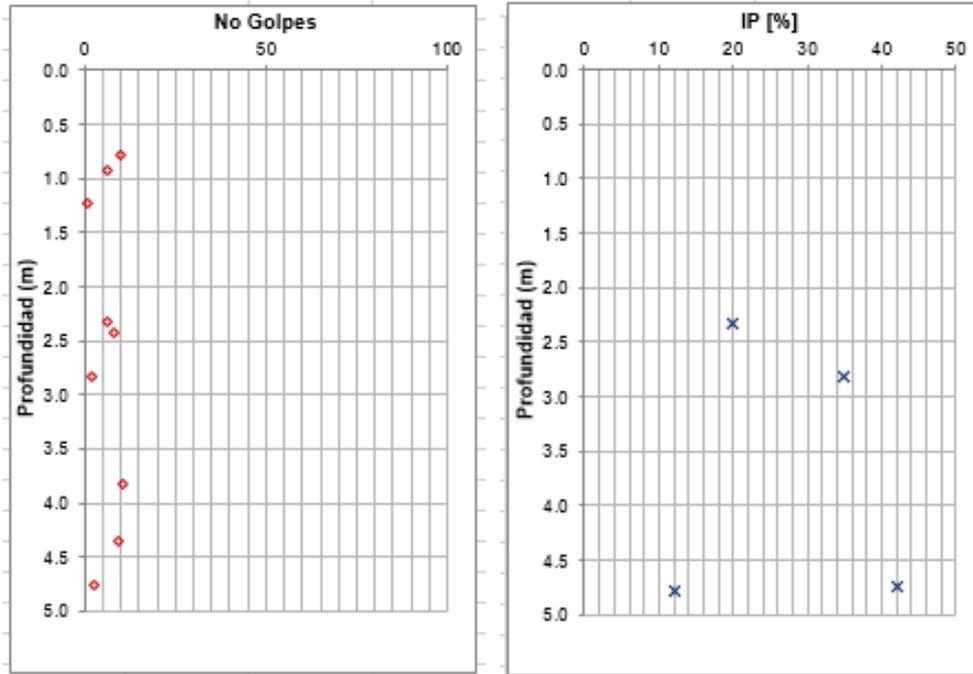


Figura 55. Parámetros de SPT e Índice de Plasticidad Suelos Residuales de la Formación caimito TO-CAI con influencia coluvial, Qc

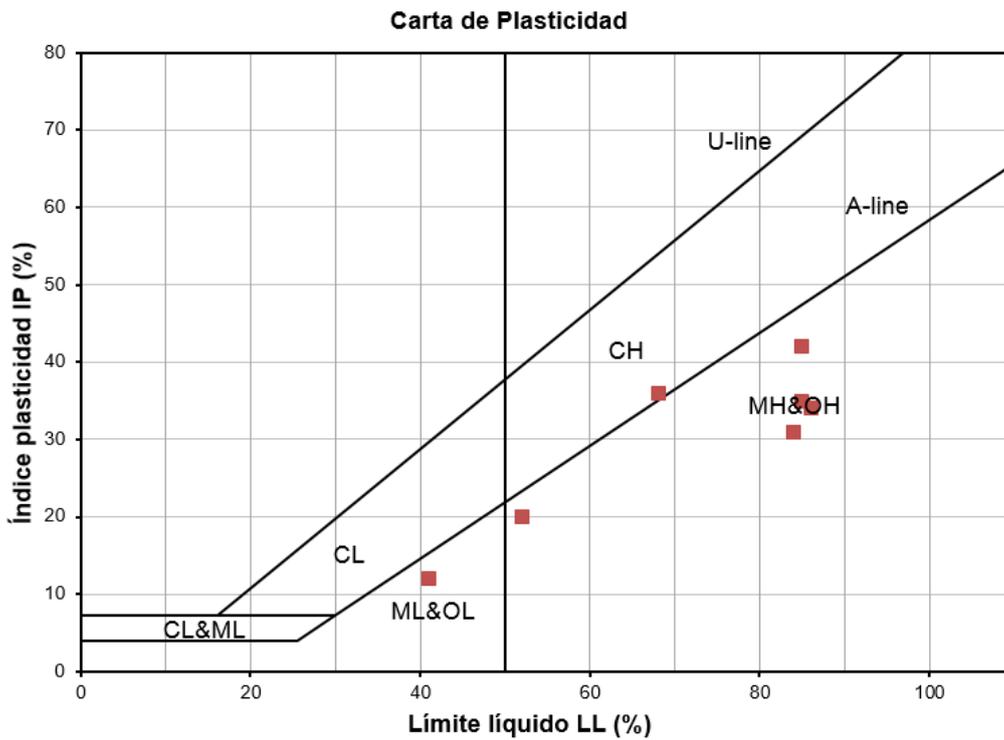


Figura 56. Carta de plasticidad de los Suelos Residuales de la Formación caimito TO-CAI con influencia coluvial, Qc

Para la obtención de los parámetros en términos de cohesión y ángulo de fricción se tuvieron en cuenta los resultados de los índices de plasticidad practicados a las muestras ensayadas. El

ángulo de fricción presentado fue determinado con base en correlaciones en función de los índices de plasticidad. En la Tabla 54 se resumen los parámetros definidos para este material.

Tabla 23. Suelos Residuales de la Formación caimito con influencia coluvial. Parámetros utilizados en los análisis geotécnicos

Material	γ (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)
Suelos Residuales de la Formación caimito TO-CAI con influencia coluvial, Qc	16	39	24

8.1.2. Pavimentos

8.1.2.1. Exploraciones de Campo

En el proyecto se cuenta con 18 tramos de diseño presentados en la Figura 57. En la Tabla 24 se presenta cada uno de dichos tramos con su respectivo ID y clasificación según el tipo de vía.

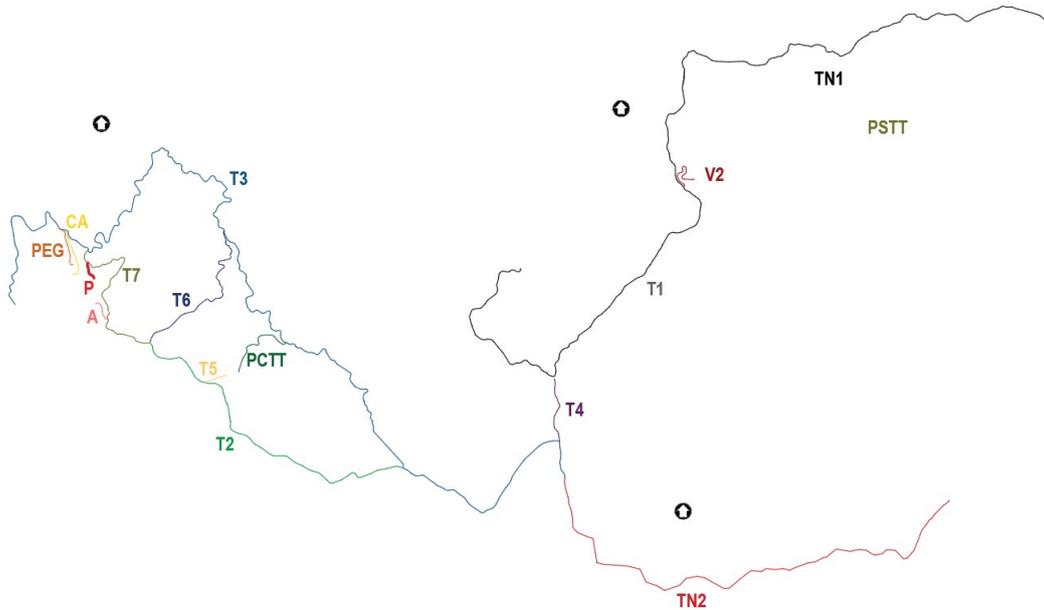


Figura 57. Esquema general de las vías a diseñar.

Tabla 24. Tramos de diseño

ID Tramo	Nombre Tramo	Tipo de superficie vía
T1	Tramo 1	Pavimentada
T2	Tramo 2	Afirmado
T3	Tramo 3 (K0+000 - K10+800)	Pavimentada
T3	Tramo 3 (K10+800 - K13+117)	Afirmado
T4	Tramo 4	Pavimentada
T5	Tramo 5	Afirmado
T6	Tramo 6	Afirmado

T7	Tramo 7 (K0+000 - K1+920)	Afirmado
T7	Tramo 7 (K1+920 - K2+120)	Pavimentada
TN1	Ciricito-Fin tramo 1	Pavimentada
TN2	Citicito de los Sotos-Inicio tramo 2	Pavimentada
V2	Acceso a Ventana 2	Afirmado
A	Acceso ataguía	Afirmado
CA	Acceso contraataguía	Afirmado
PEG	Acceso portal entrada galería de acceso	Afirmado
PCTT	Acceso pozo de compuertas túnel trasvase	Afirmado
P	Ramal acceso a presa	Pavimentada
PSTT	Acceso a portal salida túnel de transferencia	Afirmado

Con el fin de caracterizar los suelos de subrasante de cada una de las vías que componen el proyecto se realizaron 66 apiques a lo largo del trazado, como se muestra en la Tabla 41. Las exploraciones se proyectaron de tal forma que fuera posible cubrir con la exploración cada una de las vías. Para garantizar que los materiales extraídos de los apiques sean representativos de la subrasante, se programó su ubicación en los sitios donde la rasante de la vía cambia de “zona de corte” a “zona de terraplén” y viceversa; y se llevaron hasta una profundidad aproximada de 1.50 m. En el Anexo 4 se presenta la planta con la ubicación de los apiques realizados.

Tabla 25. Relación de apiques

ID Tramo	Número de Apiques
T1	14
T2	9
T3	19
T4	4
T6	3
T7	3
TN1	3
TN2	10
V2	1

El muestreo de campo de cada uno de los apiques se realizó obteniendo muestras alteradas e inalteradas de la siguiente manera:

- En general se tomaron dos muestras de los estratos encontrados por apique con las que se realizaron ensayos de granulometría con lavado, límites de Atterberg y humedad natural.

- Al fondo del apique, a nivel de subrasante, se tomaron moldes de CBR sobre muestra inalterada, y como ensayos de campo se realizaron pruebas del Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) a la misma profundidad de los ensayos mencionados. En algunos casos no fue posible la obtención de muestras para CBR inalterado o la realización del ensayo PDC debido a las características del material de la zona de ensayo.

8.1.2.2. Resultados Pruebas de Laboratorio

En la Tabla 26 se muestra el resumen de los ensayos de laboratorio ejecutados en cada uno de los tramos que comprende el proyecto.

Tabla 26. Relación de ensayos realizados

ID Tramo	Ensayos						
	CBR sobre muestra inalterada	PDC	Humedad natural	Análisis granulométrico	Límites de Atterberg	Granulometría por hidrómetro	Módulo resiliente de suelos y agregados
T1	12	14	14	14	14	2	-
T2	6	9	9	9	9	2	-
T3	12	18	20	20	20	3	1
T4	4	4	4	4	4	1	-
T6	2	3	3	3	3	-	-
T7	1	3	3	3	3	-	-
TN1	1	3	3	3	3	-	-
TN2	8	10	10	10	10	3	-
V2	-	1	1	1	1	-	-

8.1.2.3. Características Geotécnicas y CBR

En el Anexo 5 se presenta el cuadro de caracterización geotécnica y los resultados de laboratorio y campo.

8.1.2.3.1. Límites y humedad

Como se puede observar en la Figura 58, las humedades se aproximan en general al límite líquido, a excepción de los tramos del sector final del tramo 1 y TN1 y TN2, en donde se presenta una tendencia de la humedad hacia el límite plástico. Los contenidos de humedad tienen un promedio de 59% fluctuando entre 22% y 96%. A partir de la gráfica se puede observar que las humedades naturales se encuentran por debajo del 80% indicando humedades medias a altas; las mayores humedades se presentan en los tramos 6 y 7 mientras las menores en el TN1 y TN2. Adicionalmente, se observa que el rango entre los límites de plasticidad (índice de plasticidad) es similar entre los tramos, fluctuando en general entre 25 y 45 indicando plasticidades medias en estas zonas. Se resalta que la humedad de equilibrio es inferior a la humedad natural, por lo que no se espera que los materiales busquen compensar deficiencias de humedad.

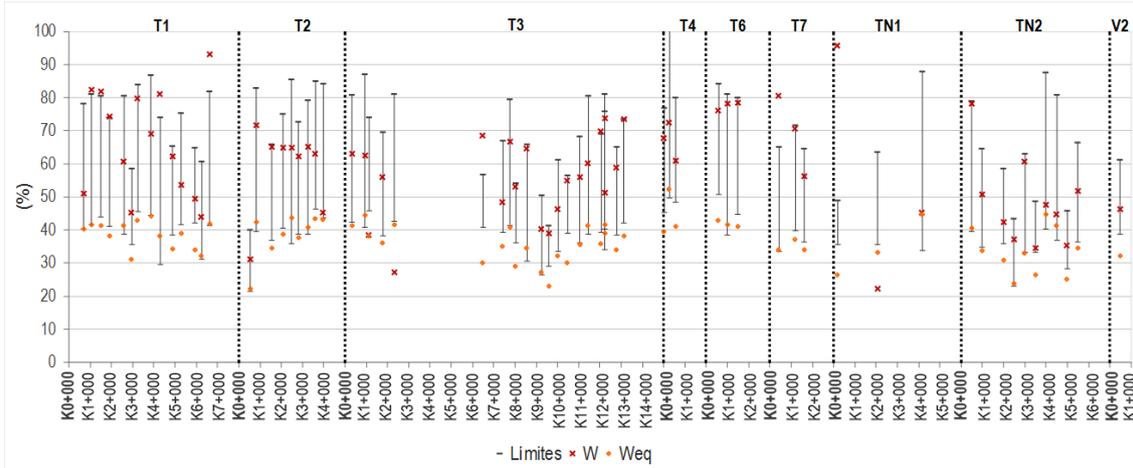


Figura 58. Límites y humedad

8.1.2.3.2. Gradación

Según se puede establecer de la composición granulométrica de los suelos (ver Figura 59), estos están conformados en su mayoría por materiales finos, que representan en promedio el 76%. En general la composición granulométrica encontrada en los diferentes tramos de diseño es similar, teniendo en algunos de ellos una mayor presencia de gravas como se evidencia en los Tramos 3, 7, V2, y TN2.

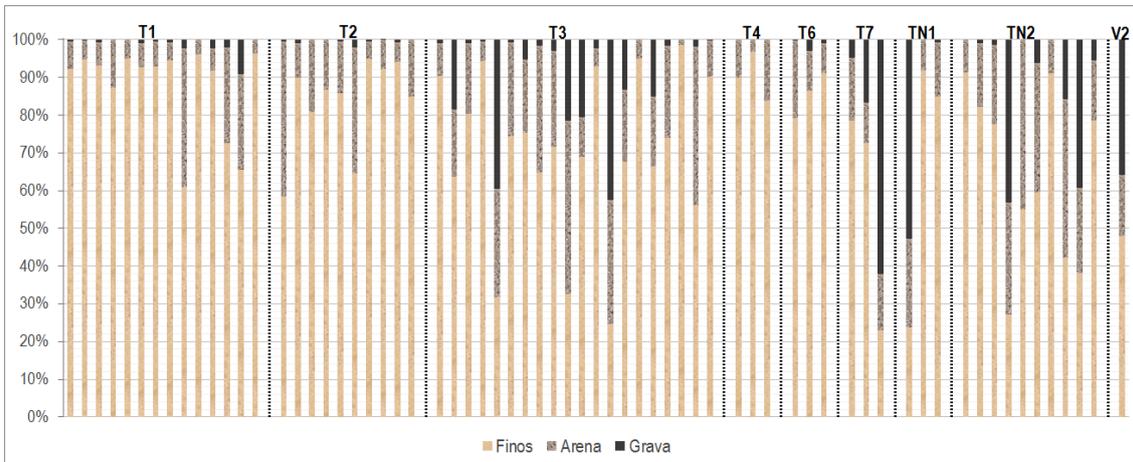


Figura 59. Composición granulométrica de los suelos

8.1.2.3.3. Geología

La mayoría de los tramos de diseño atraviesan suelos residuales de areniscas. En los Tramos 1 y Ventana 2 se presentan interestratificaciones de lavas tipo basaltos y andesitas (ver Figura 60.), sectores en los cuales los contenidos de arenas y gravas se incrementan ligeramente; sin embargo, se mantienen las características de suelos finos.

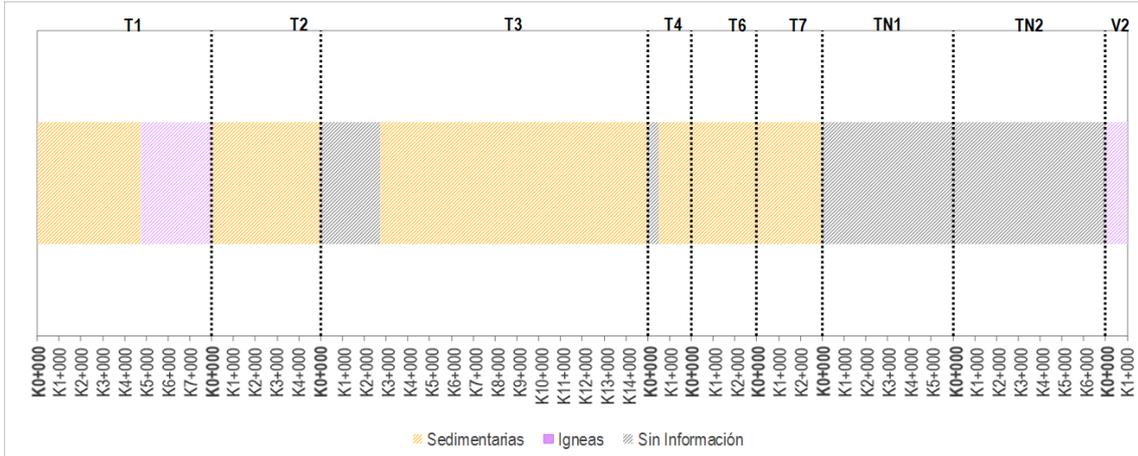
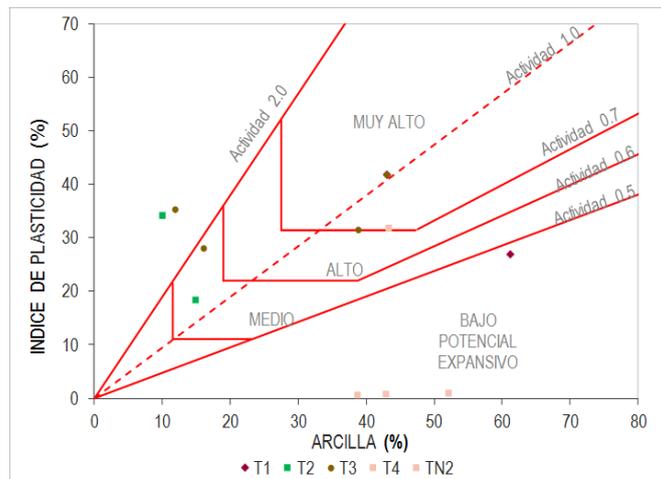


Figura 60. Geología

8.1.2.3.4. Análisis expansividad

Con los resultados obtenidos a nivel de subrasante (Figura 58.) de índice de plasticidad, límite líquido, humedad natural, y humedad de equilibrio, en combinación con la carta de plasticidad de Casagrande y las gráficas de expansividad de Merwe (ver Figura 61), es posible inferir que los materiales, en general limosos y con potencial de expansión medio, no presentaran procesos de expansión que puedan afectar las estructuras de pavimentos.



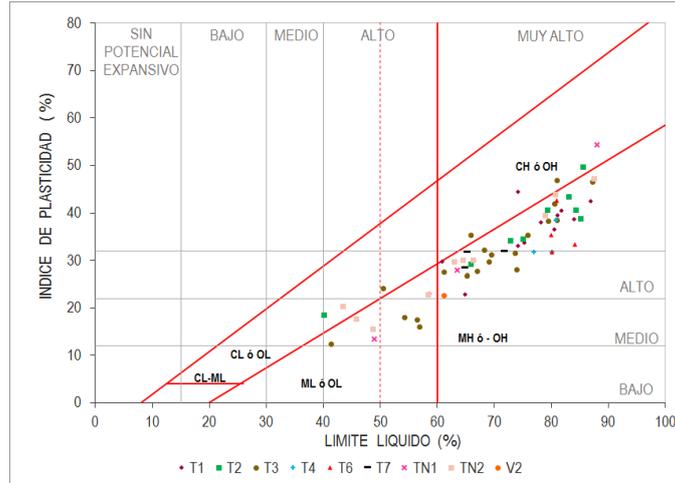


Figura 61. Carta de plasticidad y gráficos de expansión.

Como se puede observar, los materiales de subrasante se ubican principalmente en la zona de medio a alto potencial de expansión, clasificando en general como limos de media a alta compresibilidad, sin que se encuentre un comportamiento específico por tramo, de tal forma que no es posible identificar una zona concreta propensa a procesos de expansión. Con el fin de establecer el potencial de fluctuación de la humedad, se determinó la humedad de equilibrio empleando la siguiente expresión recomendada por la NSR:

$$W_{eq} = 0.47 (i) + 3.6 \quad \text{Ecuación 34.}$$

Como resultado de esta evaluación se encontró, en la mayoría de los casos, que la humedad natural está por encima de la humedad de equilibrio, esperando así una baja fluctuación de la humedad y por tanto bajos cambios de volumen del material, en razón a que los materiales en general buscan incrementar su humedad hasta lograr la de equilibrio. Adicionalmente, las mediciones de expansión de las pruebas de CBR sobre muestra inalterada reportan valores entre 0% y 0.52% con un promedio de 0.14%, con lo cual es posible establecer que los suelos de subrasante, en las condiciones en las cuales estos se encuentran, no presentarán problemas de expansión.

Teniendo en cuenta lo anterior, no se considera necesario tomar medidas adicionales al espesor de la estructura de pavimento para controlar posibles cambios volumétricos que afecten su desempeño.

8.1.2.3.5. CBR

Con el fin de analizar las características geotécnicas y estimar la resistencia de los suelos de subrasante, se realizaron ensayos de laboratorio con las muestras de suelos obtenidas en los apiques y se realizaron pruebas de penetrómetro dinámico de cono (PDC). Adicionalmente, con la información relevante de las perforaciones cercanas a las vías, se obtuvieron valores de SPT.

Con el objetivo de estimar el CBR de la subrasante, se seleccionó toda la información de caracterización recopilada que se consideró representativa de los materiales de subrasante. Para estimar el CBR de diseño, se analizaron los datos provenientes de los ensayos de clasificación, CBR, Módulo Resiliente, PDC y SPT. Para calcular el valor de CBR a partir de la esta información, se emplearon las siguientes correlaciones:

- En función del PDC

Con el fin de establecer la expresión de correlación que represente con mayor confiabilidad los materiales de la zona, se realizó con los valores obtenidos en los CBR sobre nuestra inalterada y las mediciones con el PDC el siguiente análisis de regresión, descartando con una confiabilidad del 95% los valores poco representativos, teniendo como base de análisis un coeficiente de variación Cv =0.25, valor recomendado en la Guía AASHTO 1993, para este tipo de ensayos.

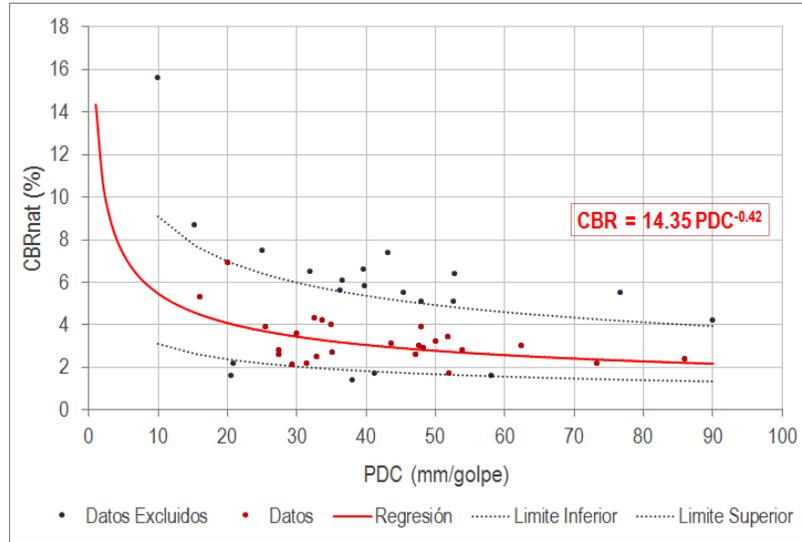


Figura 62. CBR vs valores de PDC

- En función del MR

$$CBR = (MR/130) \square^{(1/0.714)} \quad \text{Ecuación 24.}$$

Donde:

MR: Módulo Resiliente ($Kg/cm \square^2$)

- En función del SPT (Standard Penetration Test)

$$CBR = 0.026 SPT \square^2 + 0.298 SPT - 0.38 \quad \text{Ecuación 25.}$$

$$CBR = 0.7561 e \square^{(0.185 SPT)} \quad \text{Ecuación 26.}$$

- En función del IP

$$CBR = 10 \square^{ii} \quad \text{Ecuación 27.}$$

$$CBR = 4.46 + 0.098(\%A) + 0.119(IP) \quad \text{Ecuación 28.}$$

Peltier:

$$P \checkmark 40 > 75 : CBR = 4520 / ((\checkmark)(IP)) \quad \text{Ecuación 29.}$$

$$25 \leq P \checkmark 40 \leq 75 : CBR = (4520 / (\checkmark)(IP)) (2.5 - P \checkmark 40 / 50) \quad \text{Ecuación 30.}$$

$$P_{\#40} < 25: CBR = (2(P_{\#40})(20 - 4520 / ((L)(IP)))) / 25 \text{ Ecuación 31.}$$

Donde:

- IP: Índice de plasticidad (%)
- A: Porcentaje de Arcilla (%)
- LL: Límite líquido (%)
- P#40: Porcentaje que pasa tamiz #40 (%)

- En función del IG

$$CBR = 14.65 - 8.64 * \log_{10}(IG) \text{ Ecuación 32.}$$

Donde:

- IG: Índice de grupo clasificación AASHTO

- En función de WxIP

$$CBR = 75 / (1 + 0.728 WxIP) \text{ Ecuación 33.}$$

Donde:

- W: Porcentaje pasa tamiz #200

Con la información obtenida, por medio de mediciones directas y correlaciones se obtuvieron los CBR's representativos a humedad natural para cada tramo. Teniendo en cuenta las condiciones climáticas y de operación de las vías diseñadas, se consideró que el CBR representativo para diseño es el valor sumergido, por lo que los valores obtenidos a humedad natural se llevaron a CBR sumergido. Para encontrar el CBR en condición sumergida, se graficaron los valores de CBR inalterado en condición natural y sumergida, descartando los valores poco representativos bajo el mismo criterio aplicado en la curva de CBR vs PDC, con lo que se obtuvo la correlación mostrada en la Figura 63.

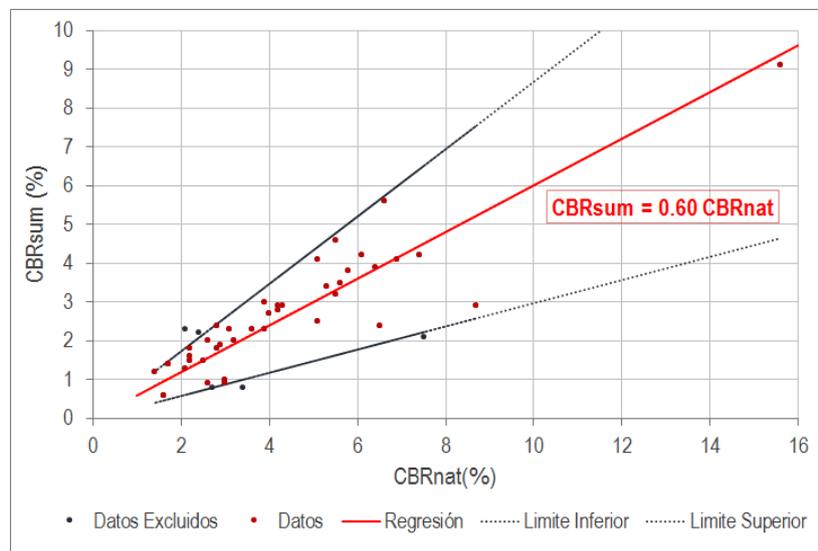


Figura 63. Relación CBR humedad natural y sumergido.

Como se puede observar en la Figura 64. los valores de CBR estimados presentan un valor promedio de 2.5% sin variaciones significativas, a excepción de los tramos T3, TN1, y TN2 que se observan variaciones en general entre 1.5% y 6%.

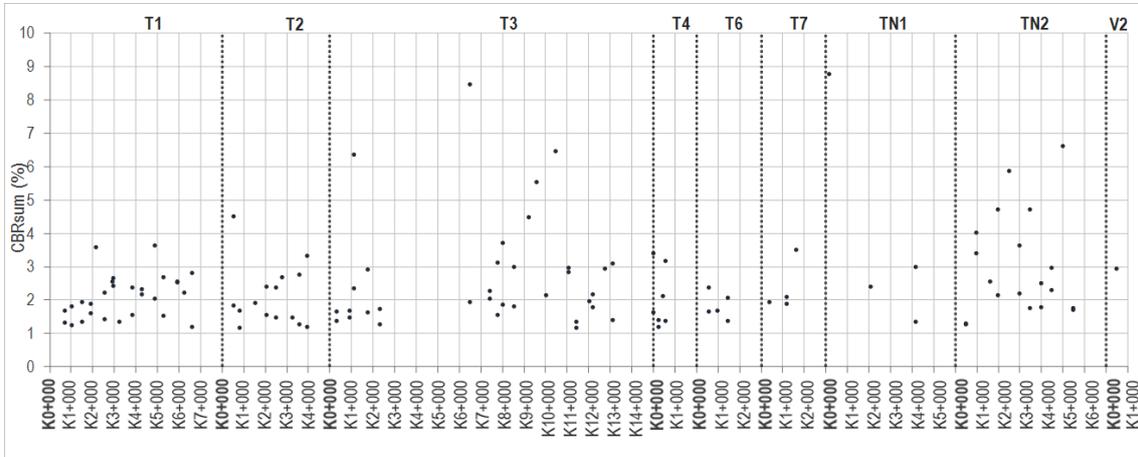


Figura 64. CBR’s obtenidos en la subrasante

8.1.2.3.6. Análisis de resistencia de la subrasante

Para el análisis de la resistencia de la subrasante se tomó como insumo la información proveniente de la exploración de campo, con sus respectivos ensayos in-situ y de laboratorio. Los datos se organizaron para su análisis en tablas en las que se discrimina la información disponible por cada apique, referenciada a su abscisa de localización. Para determinar el CBR representativo de cada apique se tomó el promedio de la totalidad de los datos obtenidos, valor con el cual se determinaron para un coeficiente de variación de 0.25 y una confiabilidad del 95% los valores razonables con los cuales se determinó como valor representativo de cada apique con el promedio de estos.

El CBR de diseño de cada uno de los tramos se estimó aplicando el valor obtenido con el percentil 87.5 y promedio de cada uno de los CBR’s representativos por apique.

Tabla 27. CBR sumergido por tramo

ID Tramo	CBRsum (%)	
	Percentil	Promedio
T1	1.34	2.08
T2	1.23	2.09
T3	1.40	2.70
T4	1.31	2.02
T5	1.21	1.41
T6	1.50	1.82
T7	1.89	2.34
TN1	1.73	3.86
TN2	1.71	2.99
V2	2.91	2.91
A	1.92	1.92

CA	2.84	2.89
PEG	2.84	2.89
PCTT	1.21	1.41
P	1.89	1.97
PSTT	2.38	2.38

A partir del programa de exploración de subsuelo se identificó que los materiales de subrasante están en general compuestos por limos y arcillas de plasticidad media y una humedad cercana al límite líquido, condición que promueve bajas resistencias de la subrasante. Por esta condición, se requiere de una capa de mejoramiento previa a la construcción de la estructura de pavimento.

8.2. ANÁLISIS DE TRÁFICO

Teniendo en cuenta que las vías a diseñar hacen parte de los accesos internos del proyecto, se estimó un número de ejes equivalentes en función de los volúmenes de corte y relleno, y cargas que se transportan en las vías, análisis que se presenta en la Tabla 28. Los camiones D3 corresponden a camiones volquete para transporte de materiales, y los camiones T3-S2 para transporte de insumos y equipos. Las cargas por tipo de eje se determinaron con base en la Ley 10 de 1989 que establece cargas máximas de 5.5 ton para eje direccional y 16.4 para eje tándem. El Factor Daño de cada uno de los vehículos se determinó con base en la ley de la cuarta potencia (AASHTO 1993). En la Tabla 28. se presenta el estimativo de los ejes equivalentes de 8.2 ton.

Tabla 28. Ejes equivalentes para el diseño de las estructuras de pavimento

Actividad	Cantidad		Número de vehículos		Factor Daño	N _{8.2ton}
			Tipo	Cantidad		
Relleno (m ³)	5,295,601	7,493,808	D3	1,022,348	1.9	1,953,892
Corte (m ³)	2,198,207					
Carga (Ton)		539	T3-S2	25	3.3	82
TOTAL						1,953,974

Para establecer las cargas de tránsito se siguieron los lineamientos planteados por AASHTO Guide Design of Pavement Structures -1993, en donde se determina el Factor Daño por medio de la ley de la cuarta potencia. Bajo estas condiciones, se estimaron aproximadamente 2,000,000 de Ejes Equivalentes de 8.2 ton.

9. DISEÑO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DE OBRAS DE DRENAJES

En el presente capítulo se describen los análisis de hidrología e hidráulica correspondiente al diseño de las obras de drenaje de las vías que permiten el acceso a las obras de aprovechamiento del proyecto Río Indio, las cuales se han dividido en tramos, En la Tabla 29 se presentan las características de los tramos.

Tabla 29. Características de los tramos de vías



EJE DE DISEÑO	LONG (km)	USO
Tramo 1	6.74	Acceso a ventana 1 del Túnel de Transferencia Acceso a las canteras Cerro la Jota y El Duende
Tramo 2	3.72	Vía de acceso al sitio de presa durante construcción
Tramo 3	13.12	Acceso permanente al sitio de presa
Tramo 4	0.75	Conexión permanente entre vías del TRAMO 1 y TRAMO 3.
Tramo 5	0.25	Acceso a la entrada del Túnel de transferencia
Tramo 6	2.02	Vía de conexión durante la fase de construcción con TRAMO 5 de acceso a la entrada del Túnel
Tramo 7	2.12	Vía de acceso al sitio de presa durante construcción, del tramo final se desprende el ramal de acceso a presa.
Acceso a ventana 2	0.63	Acceso a ventana 2 del Túnel de Transferencia
Acceso pozo de compuertas túnel trasvase	0.878	Vía de acceso a la zona del proyecto
Ramal acceso a presa	0.189	Ramal para acceder a la presa
Acceso a contraataguía y vertedero	2.60	Vía para acceder a la contraataguía y vertedero durante construcción, y al portal de entrada de la galería de acceso en operación.
Acceso a ataguía	0.259	Ramal de acceso a la ataguía durante construcción.
Ciricito - Fin tramo 1	0.50	Vía de acceso a la zona del proyecto
Citicito de los Sotos - Inicio tramo 2	5.90	Vía de acceso a la zona del proyecto
Acceso a portal salida túnel de transferencia	1.60	Acceso a portal salida túnel de transferencia

9.1. HIDROLOGÍA

El análisis hidrológico de las cuencas interceptadas por los trazados viales propuestos, se realizó a partir de los lineamientos establecidos en el Manual de Requisitos y Normas

Generales actualizadas para la Revisión de Planos, parámetros recomendados en el diseño del sistema de calles, y drenajes pluviales de acuerdo a lo exigido en el Ministerio de Obras Públicas de Panamá.

A continuación se presentan los análisis realizados.

9.1.1. Recopilación de información

9.1.1.1. Información hidrológica

La información hidrológica utilizada en los análisis de la zona en estudio se consultó en el Manual de Requisitos y Normas Generales de Panamá como se presenta a continuación.

9.1.1.2. Información cartográfica

La Autoridad del Canal de Panamá (ACP) suministró a INGETEC el Modelo Digital de Elevación para la zona en estudio, a partir de esta información se definieron las curvas de nivel y la red de drenaje de las cuencas intervenidas por los trazados viales propuestos. Esta información, fue el insumo base para la caracterización morfométrica de las cuencas y estimación de los caudales de diseño.

9.1.2. Metodología

Para el dimensionamiento de las obras de drenaje, se delimitaron las cuencas aferentes a éstas, posteriormente se determinaron las características morfométricas (área de drenaje, pendiente, tiempo de concentración) e hidrológicas (Coeficiente de escorrentía, intensidad de precipitación, grupo hidrológico del suelo, y CN) requeridas para el cálculo de los caudales máximos.

Los estudios hidrológicos desarrollados se enfocaron en la definición de los caudales máximos para diferentes períodos de retorno, con el propósito de dimensionar las obras de drenaje proyectadas para el correcto manejo de la escorrentía superficial que se genera en las áreas aferentes y el corredor vial.

9.1.3. Análisis de caudales

Los caudales máximos para las áreas de drenaje aferentes a cada obra hidráulica se calcularon, para cuencas con áreas de drenaje menores a 2.5 km² se utilizó el Método Racional, mientras que para cuencas mayores a 2.5 km² se calcularon los caudales máximos a partir del método del hidrograma unitario del Soil Conservation Service.

En este numeral se presentan los fundamentos teóricos de los modelos hidrológicos utilizados los cuales se basan en las características morfométricas de las cuencas que a la vez permiten determinar el tiempo de respuesta y la cantidad de agua generada en la cuenca ante eventos de precipitación extrema.

9.1.3.1. Caracterización morfométrica de las cuencas

Área de drenaje

Es la superficie del terreno que contribuye al escurrimiento, hacia el cauce principal y sus tributarios, delimitada por la divisoria de aguas o línea imaginaria que se ubica en los puntos de mayor elevación topográfica. En el plano INDIO-LD-HYD-DSTR-01-001 se presentan las cuencas delimitadas.

Perímetro

Corresponde a la longitud de la línea divisoria de la cuenca de drenaje.

Longitud del cauce principal

Es la distancia medida desde el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio de confluencia con otro cauce o hasta el punto de interés a caracterizar.

Pendiente del cauce (S)

La pendiente media del cauce principal se determinó mediante la metodología de Taylor - Schwartz, que tiene la formulación mostrada.

$$S = \frac{(C_{m\acute{a}x} - C_{m\acute{i}n})}{Lc} * 100 \text{ Ecuación 15.}$$

Donde:

$S = \acute{i}$ Pendiente

$C_{m\acute{a}x}$ = Cota máxima del cauce (msnm)

$C_{m\acute{i}n}$ = Cota mínima del cauce (msnm)

Lc = Longitud del cauce (m)

Tiempo de concentración

El tiempo de concentración es el tiempo que toma el agua superficial en llegar desde el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio de interés. Para las cuencas analizadas, el tiempo de concentración se calculó utilizando diferentes metodologías con el fin de aumentar el grado de certeza. En la Tabla 30 se presentan las diferentes metodologías utilizadas.

Tabla 30. Formulaciones empíricas para el cálculo del tiempo de concentración.

Fórmula	Ecuación	Parámetros
Kirpich	$Tc = 0.06628 \left(\frac{L_D}{S^{0.5}} \right)^{0.77}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m)
Témez	$Tc = 0.3 \left(\frac{L_D}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (%)
Williams	$Tc = 0.683 \left(\frac{L A^{0.40}}{D S^{0.25}} \right)$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) D = Diámetro de una cuenca circular con área A (km) A = Área de la cuenca (km ²)
Bransby – Williams	$Tc = \frac{14.6 L}{A^{0.1} S^{0.2}}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (min) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m) A = Área de la cuenca (km ²)

Giandotti	$T_c = \left(\frac{4\sqrt{A}}{S} \right)$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m) A = Área de la cuenca (km ²)
Johnstone y Cross	$T_c = 2.6 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.5}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/km)
SCS – Ranser	$T_c = 0.947 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) H = Diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente principal (m)
Ventura – Heras	$T_c = 0.3 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.75}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (%)
Ven Te Chow	$T_c = 0.273 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.64}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m)
Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos	$T_c = 0.28 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$	T = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m)

En el caso del cálculo de tiempos de concentración se aplicaron varias metodologías empíricas deducidas en otros países cuyas cuencas de estudio poseen características diferentes entre sí; por ejemplo, el método de Kirpich fue deducido en pequeñas cuencas agrícolas (áreas entre 0.004 y 0.453 km²) de Tennessee y Pensilvania, mientras que el SCS desarrolló su ecuación como la suma de tiempos de viaje individual para diferentes regiones (áreas menores a 8 km²), desde zonas boscosas con cauces pendientes a planicies con escorrentía lenta y zonas impermeables. Por otro lado, las ecuaciones empíricas no tienen en cuenta el efecto de la vegetación, a excepción de las que involucran número de curva o coeficiente de escorrentía. Estos aspectos aumentan el grado de incertidumbre en el cálculo del tiempo de concentración.

Por lo anterior, el tiempo de concentración se adoptó como el promedio de los tiempos de concentración estimados con las diferentes metodologías empíricas presentadas, descartando previamente los valores que se encuentran por fuera del rango de confianza definido por la media aritmética y la desviación estándar de los resultados mencionados (media menos desviación estándar hasta media más desviación estándar).

En el Anexo 6 se presenta el cálculo del tiempo de concentración para las cuencas analizadas. De acuerdo con los resultados obtenidos, se determinó que para las cuencas del orden de 0.09 km² el tiempo de concentración es menor a 15 minutos, por lo tanto, para esas cuencas y cuencas con áreas menores se adoptó 15 minutos de tiempo de concentración y no se estimaron los parámetros morfométricos de longitud y pendiente.

Se adoptó un tiempo de concentración mínimo de 15 min con el fin de tener en cuenta el tiempo inicial que tarda el agua en concentrarse en las cuencas y no sobreestimar la intensidad de precipitación que resultaría al realizar los análisis con valores menores a este tiempo de concentración.

En la Tabla 31 se presenta el resumen de características morfométricas y tiempos de concentración de las cuencas principales cuyas áreas de drenaje son superiores a 0.09 km².

Tabla 31. Características morfométricas y tiempos de concentración de las cuencas en estudio para áreas mayor 0.09 km².

*Número de cuenca	Área (Km ²)	Perímetro (km)	Longitud del cauce principal (km)	Pendiente del cauce (m/m)	tc (horas)	tc (min)
T1-1	0.25	2.28	0.73	0.0037	0.57	34.01
T1-8	4.49	11.77	4.81	0.0065	2.37	142.20
T1-9	0.46	3.70	1.79	0.0125	1.05	62.73
T1-12	0.27	2.55	1.04	0.0145	0.48	28.85
T1-14	10.58	16.58	5.92	0.0117	2.55	152.86
T1-16	3.18	9.85	4.28	0.0088	2.17	130.29
T2-1	2.64	9.68	5.48	0.0065	2.82	168.91
T2-2	0.21	1.98	0.75	0.0164	0.43	25.69
T2-15	4.00	12.75	4.62	0.0272	1.64	98.55
T2-19	2.56	9.92	4.01	0.0390	1.50	90.03
T3-2	0.30	3.08	1.01	0.0579	0.42	25.00
T3-27	0.12	1.89	0.55	0.0570	0.26	15.55
T3-29	1.27	5.13	2.67	0.0225	1.17	70.05
T6-2	0.50	3.56	1.63	0.0100	0.92	55.01
T6-4	1.23	5.95	3.72	0.0123	1.76	105.78
T7-3	0.11	1.73	0.69	0.0584	0.32	19.09
ITS-1	0.38	3.58	1.37	0.10	0.48	29
ITS-3	0.20	2.14	0.81	0.16	0.29	17
ITS-4	0.29	2.71	0.86	0.04	0.41	25
ITS-13	0.18	1.85	0.65	0.09	0.27	16
ITS-16	0.12	1.85	0.71	0.08	0.30	18
ITS-17	0.82	4.46	1.57	0.07	0.59	35
ITS-18	0.14	1.86	0.78	0.12	0.28	17
ITS-19	0.11	1.34	0.52	0.05	0.25	15
TS-1	16.31	22.57	8.17	0.01	3.00	180
TS-2	4.25	9.55	2.96	0.03	1.06	64
APS-1	0.39	2.88	0.90	0.05	0.37	22
APS-2	0.14	1.48	0.47	0.12	0.25	15

*La nomenclatura T#: Indica el número del tramo.

9.1.3.2. Método racional

Comúnmente utilizado en hidrología para generar caudales máximos en cuencas pequeñas o menores donde no existe información hidrométrica; consiste en la estimación del caudal máximo suponiendo una intensidad uniforme de la precipitación durante el tiempo de concentración de la cuenca. La suposición de la uniformidad de la precipitación durante el tiempo de concentración, es una aproximación que se hace teniendo en cuenta que en la realidad un evento de lluvia es uniforme durante el tiempo de concentración de la cuenca. De esta forma, el caudal en un punto dado de la cuenca crecerá paulatinamente hasta alcanzar un valor máximo cuando la totalidad de la cuenca esté contribuyendo a la escorrentía en el sitio de concentración de las aguas. El "Método Racional" se expresa mediante la Ecuación 1.

$$Q = \frac{C * I * A}{360}$$

Ecuación 1.

Donde:

- Q: Caudal máximo, en m³/s.
 C: Coeficiente de escorrentía, adimensional.
 I: Intensidad de la lluvia, en mm/h.
 A: Área de drenaje, en ha.

Coeficiente de escorrentía

El Manual de Requisitos y Normas Generales de Panamá, define que el coeficiente de escorrentía (C), varía de acuerdo con las características del terreno, forma de la cuenca y por la previsión de los probables desarrollos futuros.

Por lo anterior, para el diseño de las obras de drenaje se utilizaron los coeficientes de escorrentía estipulados en el Manual, los cuales se presentan en la Tabla 32.

Tabla 32. Coeficientes de Escorrentía - Manual de Requisitos y Normas Generales de Panamá.

Coeficiente de escorrentía	Característica
0.85	Para diseños pluviales en áreas sub-urbanas y en rápido crecimiento
0.90 - 1.00	Para diseños pluviales en áreas urbanas deforestadas
1.00	Para diseños pluviales en áreas completamente pavimentadas

Fuente: (Ministerio de obras públicas de Panamá)

Intensidad de la precipitación

Las curvas intensidad duración frecuencia (curvas IDF) constituyen una forma de sintetizar la información de precipitación para las tormentas de corta duración, y en la mayoría de los casos, es el insumo básico para la estimación de tormentas o eventos de diseño en la modelación hidrológica.

La construcción de estas curvas, se realizó a partir de las formulaciones consignadas en el Manual de Panamá para intensidades de lluvia de la vertiente del Atlántico para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 30 y 50 años.

Las fórmulas se presentan desde la Ecuación 2. hasta la Ecuación 8.

- Periodo de retorno de 2 años

$$i = \frac{7138}{tc + 37.6}$$

Ecuación 2.

- Periodo de retorno de 5 años

$$i = \frac{9734}{tc + 49.3}$$

Ecuación 3.

- Periodo de retorno de 10 años

$$i = \frac{11367}{tc + 55.7}$$

Ecuación 4.

- Periodo de retorno de 20 años

$$i = \frac{13346}{tc + 64.3}$$

Ecuación 5.

- Periodo de retorno de 25 años

$$i = \frac{13928}{tc + 66.6}$$

Ecuación 6.

- Periodo de retorno de 30 años

$$i = \frac{14267}{tc + 67.4}$$

Ecuación 7.

- Periodo de retorno de 50 años

$$i = \frac{15508}{tc + 71.7}$$

Ecuación 8.

Donde:

i = Intensidad en mm/h

tc = Tiempo de concentración en minutos

En la Tabla 33 se presentan los valores de intensidad asociada al periodo de retorno y a la duración de la lluvia y en la Figura 65.se presenta gráficamente las curvas IDF.

Tabla 33. Valores de Intensidad en mm/h para diferentes periodos de retorno.

tc (min)	Tr (Años)						
	2	5	10	20	25	30	50
5	167.6	179.3	187.3	192.6	194.5	197.1	202.2
10	150	164.1	173	179.6	181.8	173.1	178.9
15	135.7	151.4	160.8	168.3	170.7	146.5	152.5
20	123.9	140.5	150.2	158.3	160.8	126.9	132.9

INDIO RIVER MULTIPURPOSE RESERVOIR

25	114	131	140.9	149.5	152.1	112	117.8
30	105.6	122.7	132.6	141.5	144.2	100.2	105.7
35	98.3	115.5	125.3	134.4	137.1	90.6	95.9
40	92	109	118.8	128	130.7	82.8	87.8
45	86.4	103.2	112.9	122.1	124.8	76.1	80.9
50	81.5	98	107.5	116.8	119.5	70.5	75
55	77.1	93.3	102.7	111.9	114.5	65.6	70
60	73.1	89.1	98.2	107.4	110	61.4	65.5
65	69.6	85.2	94.2	103.2	105.8	57.7	61.6
70	66.3	81.6	90.4	99.4	102	54.4	58.1
75	63.4	78.3	87	95.8	98.4	51.4	55.1
80	60.7	75.3	83.8	92.5	95	48.8	52.3
85	58.2	72.5	80.8	89.4	91.9	46.4	49.8
90	55.9	69.9	78	86.5	88.9	44.3	47.5
95	53.8	67.5	75.4	83.8	86.2	42.3	45.4
100	51.9	65.2	73	81.2	83.6	40.5	43.5
105	50.1	63.1	70.7	78.8	81.2	38.8	41.7
110	48.4	61.1	68.6	76.6	78.9	37.3	40.1
115	46.8	59.2	66.6	74.4	76.7	35.9	38.6
120	45.3	57.5	64.7	72.4	74.6	34.6	37.2
125	43.9	55.8	62.9	70.5	72.7	33.4	35.9
130	42.6	54.3	61.2	68.7	70.8	32.2	34.7
135	41.4	52.8	59.6	67	69.1	31.2	33.6
140	40.2	51.4	58.1	65.3	67.4	30.2	32.5
145	39.1	50.1	56.6	63.8	65.8	29.3	31.5
150	38	48.8	55.3	62.3	64.3	28.4	30.6
155	37.1	47.6	53.9	60.9	62.9	27.6	29.7
160	36.1	46.5	52.7	59.5	61.5	26.8	28.9
165	35.2	45.4	51.5	58.2	60.1	26.1	28.1
170	34.4	44.4	50.4	57	58.9	25.4	27.4
175	33.6	43.4	49.3	55.8	57.6	24.7	26.7
180	32.8	42.5	48.2	54.6	56.5	24.1	26

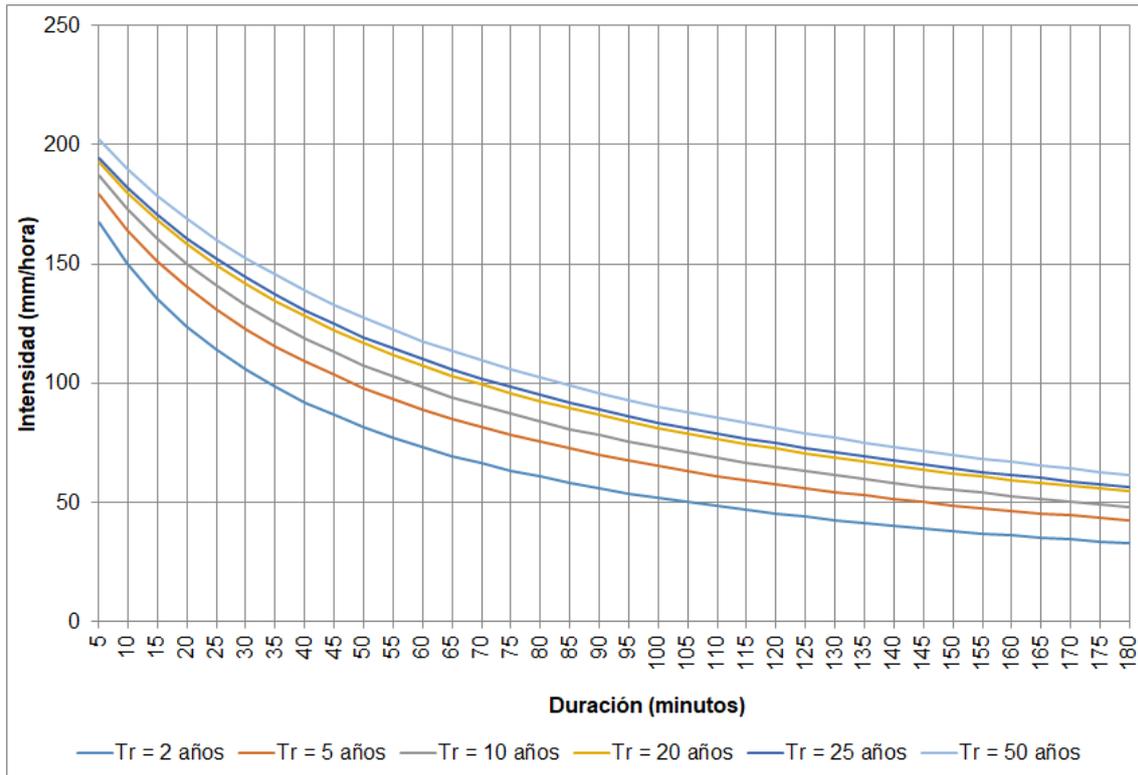


Figura 65. Curvas IDF a diferentes periodos de retorno.
Fuente: Elaboración INGETEC a partir MOP

9.1.3.3. Método del Hidrograma Unitario del SCS (Área >2.5 Km²)

En términos generales, un hidrograma unitario es la función de respuesta de pulso unitario para un sistema lineal, y se define como el hidrograma de escorrentía directa resultante de una unidad de exceso de lluvia (precipitación efectiva) generado uniformemente sobre el área de drenaje a una tasa constante a lo largo de una duración efectiva (Ven Te Chow, 1994). Las suposiciones del modelo son: i) El exceso de precipitación tiene una intensidad constante dentro de la duración efectiva, ii) El exceso de precipitación está fuertemente distribuido a través de toda el área de drenaje, iii) El tiempo base, del hidrograma unitario resultante de un exceso de lluvia de una duración dada, es constante, iv) las ordenadas de todos los hidrogramas son directamente proporcionales a la cantidad de escorrentía directa y, v) el hidrograma resultante de un exceso de lluvia dado refleja las características no cambiantes de una cuenca.

El SCS propuso un hidrograma sintético triangular cuya geometría (Figura 66.) se define con el área y el tiempo de concentración de la cuenca según la Ecuación 9.

$$Q_p = \frac{0.2083 * A}{t_p} * E$$

Ecuación 9.

Donde:

A: Área de la cuenca en km²

E: Escorrentía unitaria, 1mm

t_p: tiempo al pico medido desde el comienzo del hidrograma, el cual se obtiene con la Ecuación 10.

$$t_p = \frac{d}{2} + t_l = \frac{d}{2} + 0.6 * t_c$$

Ecuación 10.

Donde:

t_l : Tiempo de rezago de la cuenca que corresponde a una fracción (60%) del tiempo de concentración t_c , definido en el numeral 10.1.4.1.5.

d : Duración de exceso de precipitación unitaria.

Para finalizar la descripción geométrica del hidrograma, el ancho de la base se define con

$$T_{bt} = \frac{8}{3} t_p$$

Ecuación 11.

Donde:

t_p : tiempo al pico medido desde el comienzo del hidrograma, el cual se obtiene con la Ecuación 10.

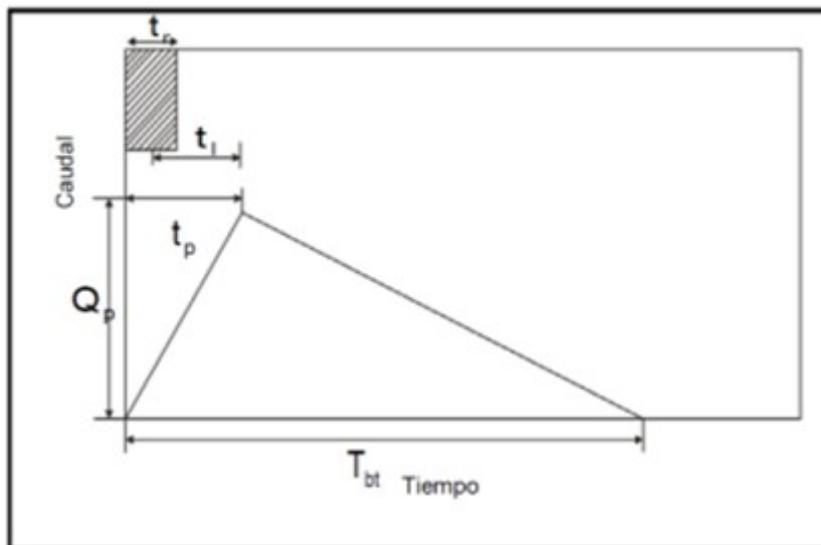


Figura 66. Hidrograma Unitario Triangular del SCS.
Fuente: (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

Tormenta de diseño

Para la aplicación de modelos lluvia-escorrentía es necesario calcular los hidrogramas de precipitación, que básicamente son el ordenamiento de la precipitación de diseño durante la duración total del aguacero de diseño y el periodo de retorno que se esté analizando. La metodología implementada corresponde a la distribución estimada por el método de bloques alternos, a partir de las curvas IDF presentadas en la Figura 65.

Para dar una secuencia más crítica del aguacero, como es usual en este tipo de análisis, y por medio del método de Bloques Alternos, los incrementos de lluvia de los hidrogramas mencionados previamente se arreglan de la siguiente manera: el valor más bajo se coloca en el primer lugar o delta de tiempo, el segundo valor en orden creciente se coloca en último lugar

del delta de tiempo, el tercer valor en tal orden se ubica en segundo lugar, el cuarto valor en el penúltimo lugar, y así sucesivamente. Como ejemplo, en la Figura 67 se presenta la distribución de precipitación para una de las cuencas analizadas en el Anexo 7 se presentan los hietogramas utilizados en el análisis.

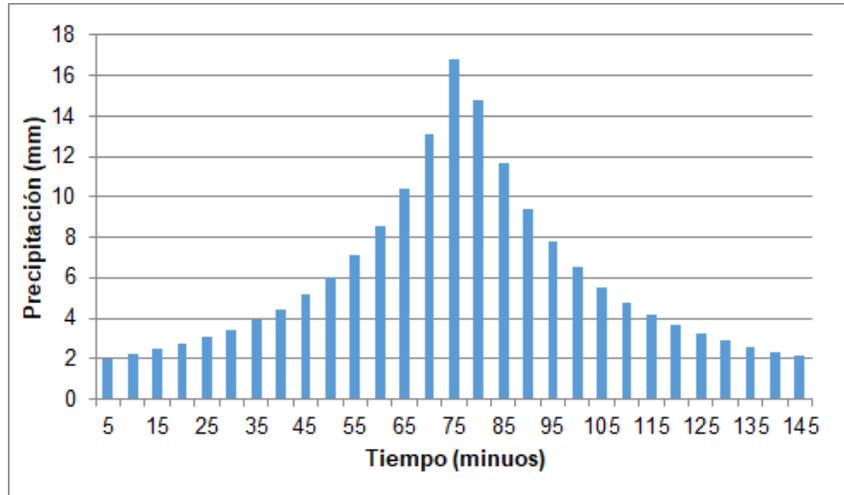


Figura 67. Distribución de precipitación por método de bloques alternos para la cuenca T1-8.

Precipitación efectiva

La precipitación efectiva es la precipitación que se convierte en escorrentía directa, por lo tanto, es importante calcular las abstracciones de una tormenta, las cuales incluyen la interceptación, la detención superficial y la infiltración propiamente dicha.

El método implementado se denomina “Número de Curva”, propuesto por el SCS; en este método, la profundidad de escorrentía (es decir, la profundidad efectiva de precipitación) es una función de la profundidad total de precipitación y de un parámetro de abstracción referido al número de curva de escorrentía, denominado número de curva o CN.

El valor CN corresponde con el número de curva de la metodología del Soil Conservation Service, de acuerdo con el tipo de cobertura vegetal del suelo, y la geología del suelo en la zona de estudio.

En la Tabla 34. se presentan los valores teóricos de CN para diferentes condiciones de suelo.

Tabla 34. Valores de CN II para Diferentes Usos de Tierra

Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, $I_a = 0.2S$)

Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Tierra cultivada ¹ : sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas, cubierta buena ²	45	66	77	83
	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc. óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial ³ :				
Tamaño promedio del lote Porcentaje promedio impermeable ⁴				
1/8 acre o menos 65	77	85	90	92
1/4 acre 38	61	75	83	87
1/3 acre 30	57	72	81	86
1/2 acre 25	54	70	80	85
1 acre 20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. ⁵	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados ⁵	98	98	98	98
grava	76	85	89	91
tierra	72	82	87	89

- 1 Para una descripción más detallada de los números de curva para usos agrícolas de la tierra, remitirse a Soil Conservation Service, 1972, Cap. 9
- 2 Una buena cubierta está protegida del pastizaje, y los desechos del retiro de la cubierta del suelo.
- 3 Los números de curva se calculan suponiendo que la escorrentía desde las casas y de los accesos se dirige hacia la calle, con un mínimo del agua del techo dirigida hacia el césped donde puede ocurrir infiltración adicional.
- 4 Las áreas permeables restantes (césped) se consideran como pastizales en buena condición para estos números de curva.
- 5 En algunos países con climas más cálidos se puede utilizar 95 como número de curva.

Fuente: (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

El valor de CNII utilizado corresponde principalmente a pastizales, bosques y vegetación arbustiva de grupo hidrológico de suelo C, según la información del “Mapa de cobertura y uso de la tierra 2012 realizado por el Ministerio de Ambiente de Panamá, con apoyo técnico y financiero de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO”. (MIAMBIENTE, 2019).

La lluvia efectiva que causa escorrentía superficial, y la magnitud de las abstracciones de una tormenta, se pueden obtener por el método del Soil Conservation Service, a partir de la Ecuación 12. y la Ecuación 13.

$$Q = \frac{(P - 0.20S)^2}{P - 0.80S}$$

Ecuación 12.

$$S = \frac{100}{CN} - 10$$

Ecuación 13.

Dónde:

Q: Escorrentía total acumulada, pulgadas
 P: Precipitación total del evento, pulgadas.
 S: Infiltración potencial o retención potencial máxima, pulgadas.
 CN: Número de curva.

Para las cuencas con área de drenaje superior a 2.5 km² se estimó el CN tipo III o condiciones húmedas (Ecuación 16.) siendo este el escenario más conservador para la estimación de los caudales de diseño. En la Tabla 34. se presenta el CN estimado para cada cuenca y en el Anexo 8 el mapa de cobertura para las cuencas analizadas.

$$CN_{III} = \frac{23 CN_{II}}{10 + 0,13 CN_{II}}$$

Ecuación 14.

Tabla 35. CN tipo III para cuencas con área de drenaje superior a 2,5 km².

Número de cuenca	CNII	CNIII
T1-8	72.0	85.5
T1-14	71.8	85.4
T1-16	73.0	86.2
T2-1	72.0	85.5
T2-15	73.1	86.2
T2-20	73.4	86.4
TS-1	72.4	85.8
TS-2	71.4	85.2

9.1.4. Justificación de fórmulas empleadas

La selección del método a utilizar depende del área de drenaje de la cuenca. Así, para cuencas con área menor a 2.5 km² se utiliza el método racional y para cuencas con área mayor a 2.5 km² se utilizó el hidrograma unitario del SCS.

El método racional se utilizó a partir de los lineamientos establecidos por el MOP en cuanto al coeficiente de escorrentía y la intensidad de la lluvia, esta última considerada para la vertiente del atlántico. Estos métodos fueron previamente descritos en los numerales 9.1.3.2. y 9.1.3.3.

9.1.5. Aplicación de las teorías y métodos de predicción

De acuerdo con la metodología anteriormente expuesta y los parámetros morfométricos e hidrológicos de las cuencas en estudio, se estimaron los caudales máximos para diferentes periodos de retorno.

En la Tabla 36. se presenta el resumen de parámetros empleados para el cálculo de caudales máximos en las quebradas con área mayor a 2.5 km². Para el resto de cuencas los parámetros empleados se resumen en el Anexo 9.

Tabla 36. Resumen de parámetros de modelación para estimar caudales máximos en cuencas mayores a 2.5 km² - Hidrograma unitario del SCS.

Número de cuenca	Área (km)	tc (min)	tlag (min)	CNIII	Duración del aguacero (h)
T1-8	4.49	145	87	85.5	2.4
T1-14	10.58	155	93	85.4	2.6
T1-16	3.18	130	78	86.2	2.2
T2-1	2.64	170	102	85.5	2.8
T2-15	4.00	98	59	86.2	1.6
T2-20	2.56	90	54	86.4	1.5
TS-1	16.31	180	108	85.8	3
TS-2	4.25	64	38.3	85.2	1.1

A partir de la aplicación de los modelos lluvia-escorrentía mencionados y descritos anteriormente, se obtuvieron los caudales máximos para las cuencas con áreas mayores a 2,5 km², los cuales se presentan en la Tabla 37.

Tabla 37. Caudales máximos en m³/s asociados a diferentes periodos de retorno en las cuencas analizadas.

Cuenca	Área (km ²)	Tr (Años)					
		2	5	10	20	25	50
T1-8	4.49	27.48	38.63	45.37	52.6	45.37	60.70
T1-14	10.58	62.05	87.55	102.98	119.66	124.52	138.29
T1-16	3.18	21.85	30.30	35.37	40.74	42.3	46.77
T2-1	2.64	15.09	21.32	25.09	29.18	30.38	33.75
T2-15	4.00	32.28	44.10	51.14	58.40	60.53	66.66
T2-20	2.56	21.22	28.80	33.32	37.92	39.27	43.19
TS-1	16.31	104.02	146.51	172.03	199.88	207.97	230.53
TS-2	4.25	45.91	61.47	70.6	79.63	82.28	90.04

La determinación de los caudales de diseño teniendo en cuenta los parámetros mencionados anteriormente se presenta en el Anexo 10.

El resumen de todos los caudales máximos obtenidos para las cuencas menores a 2.5 km² se presenta en la Tabla 38. (Anexo 11).

Tabla 38. Caudales máximos obtenidos en todas las cuencas analizadas



Cuenca	Periodo de retorno			2		5		10		20		25		50	
	Área (km ²)	Área (Ha)	tc (min)	i (mm)	Q (m ³ /s)										
A-1	0,016	1,6	15	136	0,513	151	0,572	161	0,607	168	0,636	171	0,645	179	0,676
C-1	0,010	1,0	15	136	0,32	151	0,357	161	0,38	168	0,397	171	0,403	179	0,422
C-2	0,003	0,3	15	136	0,096	151	0,107	161	0,114	168	0,119	171	0,121	179	0,127
C-3	0,071	7,1	15	136	2,275	151	2,538	161	2,695	168	2,821	171	2,861	179	2,999
C-4	0,005	0,5	15	136	0,16	151	0,179	161	0,19	168	0,199	171	0,202	179	0,211
C-5	0,005	0,5	15	136	0,16	151	0,179	161	0,19	168	0,199	171	0,202	179	0,211
C-6	0,030	3,0	15	136	0,961	151	1,072	161	1,139	168	1,192	171	1,209	179	1,267

INDIO RIVER MULTIPURPOSE RESERVOIR

Canal	0,062	6,2	15	136	1,987	151	2,216	161	2,354	168	2,464	171	2,499	179	2,618
T1-1	0,253	25,3	34	100	5,954	117	6,979	127	7,569	136	8,109	138	8,269	147	8,763
T1-2	0,011	1,1	15	136	0,352	151	0,393	161	0,418	168	0,437	171	0,443	179	0,465
T1-3	0,013	1,3	15	136	0,417	151	0,465	161	0,493	168	0,517	171	0,524	179	0,549
T1-4	0,017	1,7	15	136	0,545	151	0,608	161	0,645	168	0,676	171	0,685	179	0,718
T1-5	0,067	6,7	15	136	2,147	151	2,395	161	2,543	168	2,662	171	2,7	179	2,83
T1-6	0,009	0,9	15	136	0,288	151	0,322	161	0,342	168	0,358	171	0,363	179	0,38
T1-7	0,029	2,9	15	136	0,929	151	1,037	161	1,101	168	1,152	171	1,169	179	1,225
T1-9	0,455	45,5	62,7	71	7,644	87	9,335	96	10,312	105	11,287	108	11,57	115	12,394
T1-10	0,041	4,1	15	136	1,314	151	1,465	161	1,556	168	1,629	171	1,652	179	1,732
T1-11	0,007	0,7	15	136	0,224	151	0,25	161	0,266	168	0,278	171	0,282	179	0,296
T1-12	0,265	26,5	28,8	107	6,722	125	7,794	134	8,412	143	8,965	146	9,13	154	9,651
T1-13	0,007	0,7	15	136	0,224	151	0,25	161	0,266	168	0,278	171	0,282	179	0,296
T1-15	0,077	7,7	15	136	2,467	151	2,752	161	2,923	168	3,06	171	3,103	179	3,252
T1-17	0,022	2,2	15	136	0,705	151	0,786	161	0,835	168	0,874	171	0,887	179	0,929
T1-18	0,004	0,4	15	136	0,128	151	0,143	161	0,152	168	0,159	171	0,161	179	0,169
T1-19	0,007	0,7	15	136	0,224	151	0,25	161	0,266	168	0,278	171	0,282	179	0,296
T2-2	0,214	21,4	25,7	113	5,699	130	6,559	140	7,057	148	7,494	151	7,625	159	8,046
T2-3	0,090	9,0	15	136	2,884	151	3,217	161	3,417	168	3,576	171	3,627	179	3,801
T2-4	0,043	4,3	15	136	1,378	151	1,537	161	1,632	168	1,709	171	1,733	179	1,816
T2-5	0,010	1,0	15	136	0,32	151	0,357	161	0,38	168	0,397	171	0,403	179	0,422
T2-6	0,020	2,0	15	136	0,641	151	0,715	161	0,759	168	0,795	171	0,806	179	0,845
T2-7	0,011	1,1	15	136	0,352	151	0,393	161	0,418	168	0,437	171	0,443	179	0,465
T2-8	0,006	0,6	15	136	0,192	151	0,214	161	0,228	168	0,238	171	0,242	179	0,253
T2-9	0,080	8,0	15	136	2,563	151	2,859	161	3,037	168	3,179	171	3,224	179	3,379
T2-10	0,007	0,7	15	136	0,224	151	0,25	161	0,266	168	0,278	171	0,282	179	0,296
T2-11	0,052	5,2	15	136	1,666	151	1,859	161	1,974	168	2,066	171	2,096	179	2,196
T2-12	0,008	0,8	15	136	0,256	151	0,286	161	0,304	168	0,318	171	0,322	179	0,338
T2-13	0,011	1,1	15	136	0,352	151	0,393	161	0,418	168	0,437	171	0,443	179	0,465
T2-14	0,014	1,4	15	136	0,449	151	0,5	161	0,531	168	0,556	171	0,564	179	0,591
T2-16	0,024	2,4	15	136	0,769	151	0,858	161	0,911	168	0,954	171	0,967	179	1,014
T2-17	0,018	1,8	15	136	0,577	151	0,643	161	0,683	168	0,715	171	0,725	179	0,76
T2-18	0,035	3,5	15	136	1,121	151	1,251	161	1,329	168	1,391	171	1,411	179	1,478
T3-1	0,012	1,2	15	136	0,384	151	0,429	161	0,456	168	0,477	171	0,484	179	0,507
T3-2	0,297	29,7	25	114	7,996	131	9,187	141	9,878	149	10,481	152	10,663	160	11,246
T3-3	0,008	0,8	15	136	0,256	151	0,286	161	0,304	168	0,318	171	0,322	179	0,338
T3-4	0,010	1,0	15	136	0,32	151	0,357	161	0,38	168	0,397	171	0,403	179	0,422
T3-5	0,005	0,5	15	136	0,16	151	0,179	161	0,19	168	0,199	171	0,202	179	0,211
T3-6	0,013	1,3	15	136	0,417	151	0,465	161	0,493	168	0,517	171	0,524	179	0,549
T3-7	0,013	1,3	15	136	0,417	151	0,465	161	0,493	168	0,517	171	0,524	179	0,549
T3-8	0,007	0,7	15	136	0,224	151	0,25	161	0,266	168	0,278	171	0,282	179	0,296
T3-9	0,005	0,5	15	136	0,16	151	0,179	161	0,19	168	0,199	171	0,202	179	0,211
T3-10	0,008	0,8	15	136	0,256	151	0,286	161	0,304	168	0,318	171	0,322	179	0,338

INDIO RIVER MULTIPURPOSE RESERVOIR

T3-11	0,022	2,2	15	136	0,705	151	0,786	161	0,835	168	0,874	171	0,887	179	0,929
T3-12	0,011	1,1	15	136	0,352	151	0,393	161	0,418	168	0,437	171	0,443	179	0,465
T3-13	0,011	1,1	15	136	0,352	151	0,393	161	0,418	168	0,437	171	0,443	179	0,465
T3-14	0,008	0,8	15	136	0,256	151	0,286	161	0,304	168	0,318	171	0,322	179	0,338
T3-15	0,020	2,0	15	136	0,641	151	0,715	161	0,759	168	0,795	171	0,806	179	0,845
T3-16	0,013	1,3	15	136	0,417	151	0,465	161	0,493	168	0,517	171	0,524	179	0,549
T3-17	0,012	1,2	15	136	0,384	151	0,429	161	0,456	168	0,477	171	0,484	179	0,507
T3-18	0,013	1,3	15	136	0,417	151	0,465	161	0,493	168	0,517	171	0,524	179	0,549
T3-19	0,006	0,6	15	136	0,192	151	0,214	161	0,228	168	0,238	171	0,242	179	0,253
T3-20	0,007	0,7	15	136	0,224	151	0,25	161	0,266	168	0,278	171	0,282	179	0,296
T3-21	0,004	0,4	15	136	0,128	151	0,143	161	0,152	168	0,159	171	0,161	179	0,169
T3-22	0,004	0,4	15	136	0,128	151	0,143	161	0,152	168	0,159	171	0,161	179	0,169
T3-23	0,004	0,4	15	136	0,128	151	0,143	161	0,152	168	0,159	171	0,161	179	0,169
T3-24	0,006	0,6	15	136	0,192	151	0,214	161	0,228	168	0,238	171	0,242	179	0,253
T3-25	0,013	1,3	15	136	0,417	151	0,465	161	0,493	168	0,517	171	0,524	179	0,549
T3-26	0,004	0,4	15	136	0,128	151	0,143	161	0,152	168	0,159	171	0,161	179	0,169
T3-27	0,115	11,5	15,6	134	3,647	150	4,076	160	4,332	167	4,538	170	4,604	178	4,826
T3-28	0,036	3,6	15	136	1,153	151	1,287	161	1,367	168	1,431	171	1,451	179	1,52
T3-29	1,268	126,8	70	66	19,852	82	24,418	90	27,063	99	29,741	102	30,515	109	32,755
T5-1	0,028	2,8	15	136	0,897	151	1,001	161	1,063	168	1,113	171	1,128	179	1,183
T5-2	0,004	0,4	15	136	0,128	151	0,143	161	0,152	168	0,159	171	0,161	179	0,169
T5-3	0,008	0,8	15	136	0,256	151	0,286	161	0,304	168	0,318	171	0,322	179	0,338
T6-1	0,057	5,7	15	136	1,826	151	2,037	161	2,164	168	2,265	171	2,297	179	2,407
T6-2	0,499	49,9	55	77	9,081	93	10,995	103	12,097	112	13,179	115	13,494	122	14,42
T6-3	0,005	0,5	15	136	0,16	151	0,179	161	0,19	168	0,199	171	0,202	179	0,211
T6-4	1,226	122,6	105,8	50	14,411	63	18,169	70	20,376	78	22,714	81	23,388	87	25,293
T6-5	0,005	0,5	15	136	0,16	151	0,179	161	0,19	168	0,199	171	0,202	179	0,211
T6-6	0,045	4,5	15	136	1,442	151	1,608	161	1,708	168	1,788	171	1,814	179	1,9
T6-7	0,003	0,3	15	136	0,096	151	0,107	161	0,114	168	0,119	171	0,121	179	0,127
T6-8	0,007	0,7	15	136	0,224	151	0,25	161	0,266	168	0,278	171	0,282	179	0,296
T6-9	0,019	1,9	15	136	0,609	151	0,679	161	0,721	168	0,755	171	0,766	179	0,802
T6-10	0,005	0,5	15	136	0,16	151	0,179	161	0,19	168	0,199	171	0,202	179	0,211
T6-11	0,004	0,4	15	136	0,128	151	0,143	161	0,152	168	0,159	171	0,161	179	0,169
T6-12	0,003	0,3	15	136	0,096	151	0,107	161	0,114	168	0,119	171	0,121	179	0,127
T6-13	0,003	0,3	15	136	0,096	151	0,107	161	0,114	168	0,119	171	0,121	179	0,127
T7-1	0,005	0,5	15	136	0,16	151	0,179	161	0,19	168	0,199	171	0,202	179	0,211
T7-2	0,007	0,7	15	136	0,224	151	0,25	161	0,266	168	0,278	171	0,282	179	0,296
T7-3	0,105	10,5	19,1	126	3,122	142	3,529	152	3,768	160	3,968	163	4,03	171	4,235
T7-4	0,079	7,9	15	136	2,531	151	2,824	161	2,999	168	3,139	171	3,184	179	3,336
T7-5	0,004	0,4	15	136	0,128	151	0,143	161	0,152	168	0,159	171	0,161	179	0,169
T7-6	0,017	1,7	15	136	0,545	151	0,608	161	0,645	168	0,676	171	0,685	179	0,718
T7-7	0,006	0,6	15	136	0,192	151	0,214	161	0,228	168	0,238	171	0,242	179	0,253
V-1	0,006	0,6	15	136	0,192	151	0,214	161	0,228	168	0,238	171	0,242	179	0,253

V-2	0,008	0,8	15	136	0,256	151	0,286	161	0,304	168	0,318	171	0,322	179	0,338
V-3	0,007	0,7	15	136	0,224	151	0,25	161	0,266	168	0,278	171	0,282	179	0,296
V-4	0,010	1,0	15	136	0,32	151	0,357	161	0,38	168	0,397	171	0,403	179	0,422
ACAT-1	0.003	0.31	15	136	0.10	151	0.11	161	0.12	168	0.12	171	0.12	179	0.13
ACAT-2	0.002	0.19	15	136	0.06	151	0.07	161	0.07	168	0.08	171	0.08	179	0.08
A-1	0.015	1.54	15	136	0.49	151	0.55	161	0.58	168	0.61	171	0.62	179	0.65
CA-1	0.081	8.13	15	136	2.60	151	2.91	161	3.09	168	3.23	171	3.28	179	3.43
CA-2	0.289	28.92	27	110	7.54	128	8.71	137	9.39	146	9.98	149	10.16	157	10.73
CA-3	0.083	8.33	15	136	2.67	151	2.98	161	3.16	168	3.31	171	3.36	179	3.52
CA-4	0.042	4.23	15	136	1.36	151	1.51	161	1.61	168	1.68	171	1.70	179	1.79
CA-5	0.045	4.48	15	136	1.44	151	1.60	161	1.70	168	1.78	171	1.81	179	1.89
TS-1	16.498	1649.81	180		73.27		111.7		135.6		162.29		170.12		192.02
TS-2	4.056	405.62	64		26.61		38.86		46.32		53.90		56.15		62.74
APS-1	0.392	39.18	15	136	12.55	151	14.00	161	14.87	168	15.57	171	15.79	179	16.55
APS-2	0.142	14.24	15	136	4.56	151	5.09	161	5.41	168	5.66	171	5.74	179	6.01
ACAT-1	0.003	0.31	15	136	0.10	151	0.11	161	0.12	168	0.12	171	0.12	179	0.13

9.2. ESTUDIOS HIDRÁULICOS

En el presente numeral se describen los análisis hidráulicos para el diseño de las obras de drenaje de las vías de acceso al proyecto, ejecutados de acuerdo con las recomendaciones del MOP y del Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica. En el Anexo 12 se presenta los planos de diseño de obras de drenaje.

9.2.1. Análisis hidráulico de alcantarillas

9.2.1.1. Obras De Drenaje Transversal, Alcantarillas Y Box Culvert

La localización de las obras de drenaje se realizó teniendo en cuenta la condición natural de los diferentes drenajes, quebradas y ríos al ser interceptados con la vía, buscando preferiblemente que los cruces mantengan su alineamiento, sin embargo por motivos topográficos se presentan derivaciones menores a sus alineamientos, los cuales son corregidos con encauzamientos cortos, para que la menor longitud mantenga las condiciones naturales de los drenajes. En la Figura 68 se presentan las alternativas de localización en planta de las obras de drenaje.

La separación entre obras de drenaje obedece a las condiciones topográficas naturales del sector, la generación de puntos bajos en la geometría vial del proyecto, la capacidad del drenaje longitudinal.

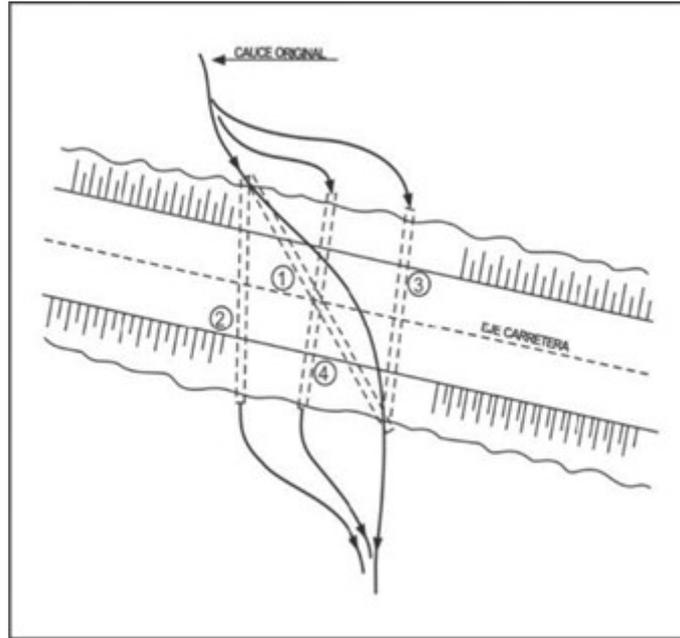


Figura 68. Alternativas para localización en planta de alcantarillas
Fuente: Manual de Carreteras de Chile

9.2.1.1.1. Funcionamiento Hidráulico

El flujo en una alcantarilla es usualmente no uniforme, presentando zonas con flujo gradualmente variado y zonas con flujo rápidamente variado, por lo que su análisis teórico es complejo. De acuerdo con el punto donde se encuentre la sección de control hidráulico en la alcantarilla, control a la entrada o control a la salida, y dependiendo de la sumergencia o no de los extremos del conducto, se presentan diferentes tipos de flujo, como los mostrados en la Figura 69.

La evaluación de la capacidad hidráulica de las obras de drenaje existente toma en cuenta que la alcantarilla funcione a flujo libre, lo que quiere decir que no se ahogue la entrada ni la salida y para estos casos el control puede ser en la salida o en la entrada, siendo el primero aplicable para el tipo A (flujo subcrítico) y el segundo para el tipo B (flujo supercrítico).

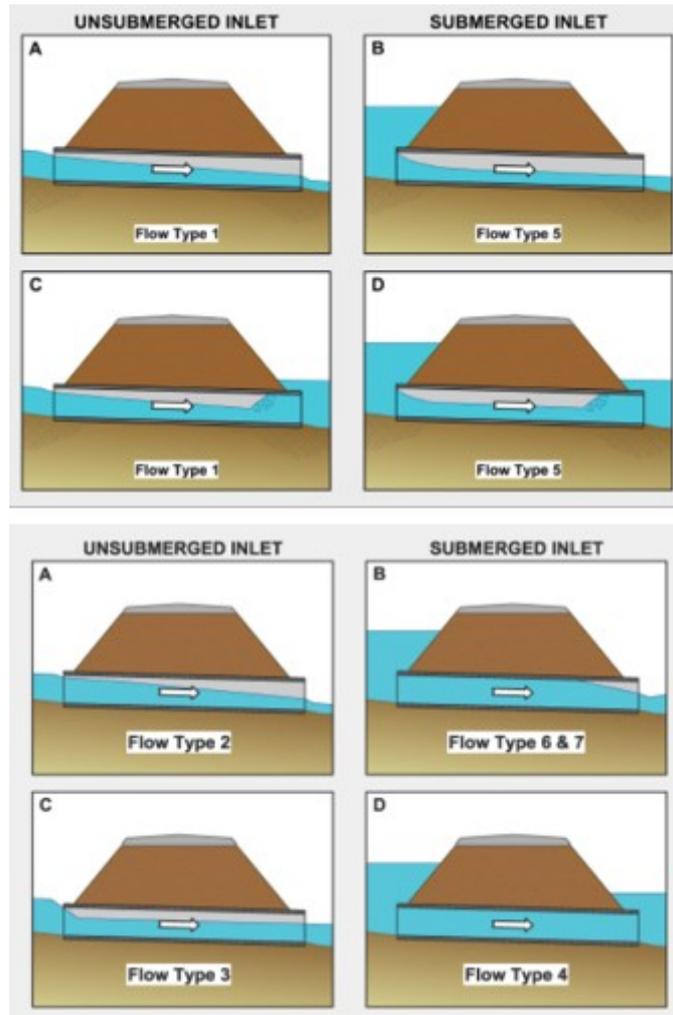


Figura 69. Condiciones de flujo en alcantarillas
 Fuente: Hydraulic Design Serie Number 5

Tomando en cuenta las condiciones planas de la topografía y morfología de la zona, se asumió una pendiente mínima del 1% y evitar que las salidas de las obras fueran de gran longitud para evitar ahogamiento de las mismas.

En los conductos con control hidráulico a la entrada, el dimensionamiento de la alcantarilla proyectada se realizará mediante la siguiente ecuación:

$$Hw/D = a + (bzF) + c(zF)^2 + d(zF)^3 + e(zF)^4 + f \left[\frac{(zF)}{5} \right]^{-0.505} \quad \text{Ecuación 15. .}$$

Dónde:

- = Coeficientes de regresión para cada tipo de alcantarilla
- = para alcantarillas circulares y para alcantarillas de cajón o arco
- = Luz de la alcantarilla en m²
- = Pendiente del conducto de la alcantarilla en metros por metro.
- = Factor de conversión a unidades métricas,
- = Diámetro, altura o flecha de la alcantarilla en m.

Si el control hidráulico se localiza a la salida, se presenta flujo subcrítico en la alcantarilla y el dimensionamiento debe considerar el remanso originado dentro de ella como resultado de la rugosidad del conducto y las pérdidas hidráulicas a la entrada y salida de la obra, por lo que se utiliza la fórmula de Manning con el fin de determinar las pérdidas en el barril o conducto. La siguiente ecuación es utilizada para determinar el diámetro o altura de la obra:

$$H_w = Y_{T_o} + Y_{o} + (S \cdot L) \quad \text{Ecuación 17.}$$

Dónde:

- = Pérdidas por entrada, fricción y salida.
- = Máximo entre T_w y el valor de $(Y_c + D)/2$
- T_w = Nivel aguas abajo.
- = Pendiente de la obra
- L = Longitud de la obra

La revisión hidráulica de las obras de drenaje se realizó con el software HY8, el cual es una colección de programas de libre utilización desarrollada por la FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA) para ayudar en el análisis y el diseño de alcantarillas.

Entre sus varios usos, este programa permite revisar el funcionamiento hidráulico de alcantarillas con secciones circulares, rectangulares, elípticas, en arco o definidas por el usuario. El programa puede modelar un sistema de varios conductos paralelos, teniendo cada uno diferente número de tuberías, secciones transversales, cotas, pendientes y longitudes. El programa también modela el canal de salida, tomando una sección regular o irregular, a partir de la cual calcula el valor de T_w asumiendo flujo uniforme. Como datos de entrada, para el análisis se requiere la siguiente información:

- Caudales: caudal mínimo, de diseño y máximo, con los cuales elabora una curva de calibración de la alcantarilla (H_w vs. Q).
- Datos del descole de la obra: sección, pendiente, rugosidad, cota de salida de la alcantarilla.
- Información de la vía: perfil de la vía, longitud, ancho y cota rasante del tramo de vía susceptible de funcionar como vertedero, tipo de superficie (grava, pavimento, otra).
- Datos de la alcantarilla: sección, longitud, rugosidad, número de tubos o celdas, condiciones de entrada, cotas batea entrada y salida.

9.2.1.2. Análisis De Obras De Drenaje Transversal, Alcantarillas Y Box Culvert

La evaluación de las obras se desarrolló mediante la herramienta computacional HY8. Todos los archivos se presentan en el Anexo 13 - Diseño obras transversales

En la Tabla 39 se presenta el resumen del dimensionamiento de las obras transversales diseñadas.

Tabla 39. Resumen dimensionamiento obras proyectadas

ID	Tramo	Abscisa	Obra	Diámetro	Numero de celdas	Estructura entrada	Estructura salida	Escalonada entrada	Escalonada salida
IT1-1	1	K5+850	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
IT1-2	1	K5+705	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT1-3	1	K5+620	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT1-4	1	K5+585	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	



INDIO RIVER MULTIPURPOSE RESERVOIR

IT1-5	1	K5+465	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT1-6	1	K4+520	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT1-7	1	K3+735	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
IT1-8	1	K1+855	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
IT1-9	1	K1+780	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
IT1-10	1	K1+710	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
IT1-11	1	K1+640	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT1-12	1	K0+275	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT1-13	1	K0+005	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T1-1	1	K6+680	Alc	1.5	3	Aletas	Aletas		
T1-2	1	K6+530	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
T1-3	1	K6+475	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
T1-4	1	K6+400	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T1-5	1	K6+270	Alc	1.2	2	Caja	Aletas		
T1-6	1	K6+105	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
T1-7	1	K6+075	Alc	1.2	1	Caja	Aletas		
T1-8	1	K4+200	Box	4.0X4.0	3	Aletas	Aletas		
T1-9	1	K3+975	Alc	1.8	3	Aletas	Aletas		
T1-10	1	K3+400	Alc	1.2	1	Aletas	Aletas		
T1-11	1	K3+215	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
T1-12	1	K3+005	Alc	1.5	3	Aletas	Aletas		
T1-13	1	K2+805	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
T1-14	1	K2+700	Box	5.0X5.0	3	Aletas	Aletas		
T1-15	1	K2+315	Alc	1.2	2	Aletas	Aletas		
T1-16	1	K2+175	Box	4.0X4.0	3	Aletas	Aletas		
T1-17	1	K1+990	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
T1-18	1	K0+200	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
T1-19	1	K0+135	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
T1-1	1	K6+680	Alc	1.5	3	Aletas	Aletas		
T1-2	1	K6+530	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
T1-3	1	K6+475	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
T1-4	1	K6+400	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T1-5	1	K6+270	Alc	1.2	2	Caja	Aletas		
T1-6	1	K6+105	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
T1-7	1	K6+075	Alc	1.2	1	Caja	Aletas		
T1-8	1	K4+200	Box	4.0X4.0	3	Aletas	Aletas		
T1-9	1	K3+975	Alc	1.8	3	Aletas	Aletas		
T1-10	1	K3+400	Alc	1.2	1	Aletas	Aletas		
T1-11	1	K3+215	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
T1-12	1	K3+005	Alc	1.5	3	Aletas	Aletas		
T1-13	1	K2+805	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
T1-14	1	K2+700	Box	5.0X5.0	3	Aletas	Aletas		
T1-15	1	K2+315	Alc	1.2	2	Aletas	Aletas		

INDIO RIVER MULTIPURPOSE RESERVOIR

T1-16	1	K2+175	Box	4.0X4.0	3	Aletas	Aletas		
T1-17	1	K1+990	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
T1-18	1	K0+200	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
T1-19	1	K0+135	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
IT2-1	2	K0+535	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
IT2-2	2	K0+650	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
IT2-3	2	K3+000	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
IT2-4	2	K3+330	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
T2-1	2	K0+315	Box	3.0X3.0	2	Aletas	Aletas		
T2-2	2	K0+800	Alc	1.5	2	Aletas	Aletas		
T2-3	2	K1+160	Alc	1.2	2	Aletas	Aletas		
T2-4	2	K1+255	Alc	1.2	1	Aletas	Aletas		
T2-5	2	K1+360	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
T2-6	2	K1+410	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
T2-7	2	K1+660	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T2-8	2	K1+725	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T2-9	2	K1+805	Alc	1.2	2	Caja	Aletas		
T2-10	2	K1+880	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T2-11	2	K1+940	Alc	1.2	1	Aletas	Aletas		
T2-12	2	K2+115	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
T2-13	2	K2+165	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T2-14	2	K2+240	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
T2-15	2	K2+300	Box	4.0X4.0	3	Aletas	Aletas		
T2-16	2	K2+520	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T2-17	2	K2+545	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T2-18	2	K2+735	Alc	1.2	1	Aletas	Aletas		
T2-19	2	K2+840	Box	3.0X3.0	2	Aletas	Aletas		
T2-1	2	K0+315	Box	3.0X3.0	2	Aletas	Aletas		
T2-2	2	K0+800	Alc	1.5	2	Aletas	Aletas		
T2-3	2	K1+160	Alc	1,2	2	Aletas	Aletas		
T2-4	2	K1+255	Alc	1.2	1	Aletas	Aletas		
T2-5	2	K1+360	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
T2-6	2	K1+410	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
T2-7	2	K1+660	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T2-8	2	K1+725	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T2-9	2	K1+805	Alc	1.2	2	Caja	Aletas		
T2-10	2	K1+880	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T2-11	2	K1+940	Alc	1.2	1	Aletas	Aletas		
T2-12	2	K2+115	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
T2-13	2	K2+165	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T2-14	2	K2+240	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
T2-15	2	K2+300	Box	4.0X4.0	3	Aletas	Aletas		
T2-16	2	K2+520	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	

INDIO RIVER MULTIPURPOSE RESERVOIR

T2-17	2	K2+545	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T2-18	2	K2+735	Alc	1.2	1	Aletas	Aletas		
T2-19	2	K2+840	Box	3.0X3.0	2	Aletas	Aletas		
IT3-1	3	K10+875	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-2	3	K10+800	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-3	3	K10+620	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-4	3	K10+275	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-5	3	K10+140	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-6	3	K9+149	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-7	3	K9+075	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-8	3	K9+022	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-9	3	K8+928	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-10	3	K8+870	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-11	3	K8+810	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-12	3	K8+695	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-13	3	K8+617	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-14	3	K8+574	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-15	3	K8+515	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-16	3	K8+408	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-17	3	K8+360	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-18	3	K8+317	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
IT3-19	3	K8+220	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-20	3	K8+147	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-21	3	K7+432	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
IT3-22	3	K7+070	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-23	3	K6+733	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-24	3	K6+430	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
IT3-25	3	K6+070	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-26	3	K5+833	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-27	3	K5+660	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-28	3	K5+350	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-29	3	K5+245	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-30	3	K4+883	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-31	3	K4+555	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-32	3	K4+413	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-33	3	K4+332	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-34	3	K4+038	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-35	3	K3+829	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-36	3	K3+760	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-37	3	K3+675	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-38	3	K3+618	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-39	3	K3+540	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-40	3	K3+500	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	

INDIO RIVER MULTIPURPOSE RESERVOIR

IT3-41	3	K3+422	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-42	3	K3+352	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT3-43	3	K3+282	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		X
T3-1	3	K10+690	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
T3-2	3	K10+520	Alc	1.5	3	Aletas	Aletas		
T3-3	3	K10+470	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
T3-4	3	K9+912	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
T3-5	3	K9+654	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T3-6	3	K9+530	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T3-7	3	K9+420	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
T3-8	3	K9+237	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T3-9	3	K8+738	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T3-10	3	K7+887	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T3-11	3	K7+658	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T3-12	3	K7+540	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		X
T3-13	3	K7+278	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T3-14	3	K6+870	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		X
T3-15	3	K6+135	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
T3-16	3	K6+994	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
T3-17	3	K5+775	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T3-18	3	K5+188	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
T3-19	3	K3+984	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T3-20	3	K3+887	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T3-21	3	K3+718	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T3-22	3	K3+597	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	X
T3-23	3	K1+338	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
T3-24	3	K1+092	Alc	1.5	2	Caja	Aletas		
T3-25	3	K0+950	Alc	1.2	1	Aletas	Aletas		
T3-26	3	K0+545	Box	3.0x3.0	2	Aletas	Aletas		
T3-1	3	K10+690	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
T3-2	3	K10+520	Alc	1.5	3	Aletas	Aletas		
T3-3	3	K10+470	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
T3-4	3	K9+912	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
T3-5	3	K9+654	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T3-6	3	K9+530	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T3-7	3	K9+420	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
T3-8	3	K9+237	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T3-9	3	K8+738	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T3-10	3	K7+887	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T3-11	3	K7+658	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T3-12	3	K7+540	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		X
T3-13	3	K7+278	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T3-14	3	K6+870	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		X

INDIO RIVER MULTIPURPOSE RESERVOIR

T3-15	3	K6+135	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
T3-16	3	K6+994	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
T3-17	3	K5+775	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T3-18	3	K5+188	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
T3-19	3	K3+984	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T3-20	3	K3+887	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T3-21	3	K3+718	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T3-22	3	K3+597	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	X
T3-23	3	K1+338	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
T3-24	3	K1+092	Alc	1.5	2	Caja	Aletas		
T3-25	3	K0+950	Alc	1.2	1	Aletas	Aletas		
T3-26	3	K0+545	Box	3.0x3.0	2	Aletas	Aletas		
IT4-1	4	K0+422	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT4-2	4	K0+198	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T5-1	5	K0+060	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
T5-2	5	K0+126	Alc	1.2	1	Aletas	Aletas		
T5-3	5	K0+245	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
T5-1	5	K0+060	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
T5-2	5	K0+126	Alc	1.2	1	Aletas	Aletas		
T5-3	5	K0+245	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
IT6-1	6	K0+805	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT6-2	6	K1+460	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT6-3	6	K1+855	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T6-1	6	K0+045	Alc	1.2	2	Aletas	Aletas		
T6-2	6	K0+175	Alc	1.8	3	Aletas	Aletas		
T6-3	6	K0+765	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T6-4	6	K1+000	Box	2.0X2.0	3	Aletas	Aletas		
T6-5	6	K1+090	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T6-6	6	K1+135	Alc	1.2	1	Caja	Aletas	X	
T6-7	6	K1+235	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T6-8	6	K1+305	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T6-9	6	K1+420	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T6-10	6	K1+650	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T6-11	6	K1+685	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T6-12	6	K1+735	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T6-13	6	K1+775	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T6-1	6	K0+045	Alc	1.2	2	Aletas	Aletas		
T6-2	6	K0+175	Alc	1.8	3	Aletas	Aletas		
T6-3	6	K0+765	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T6-4	6	K1+000	Box	2.0X2.0	3	Aletas	Aletas		
T6-5	6	K1+090	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T6-6	6	K1+135	Alc	1.2	1	Caja	Aletas	X	
T6-7	6	K1+235	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	

INDIO RIVER MULTIPURPOSE RESERVOIR

T6-8	6	K1+305	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T6-9	6	K1+420	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T6-10	6	K1+650	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T6-11	6	K1+685	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T6-12	6	K1+735	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T6-13	6	K1+775	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT7-1	7	K2+112	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
IT7-2	7	K1+860	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT7-3	7	K1+820	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT7-4	7	K1+780	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT7-5	7	K1+705	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT7-6	7	K1+625	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT7-7	7	K1+420	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT7-8	7	K1+395	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT7-9	7	K1+295	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT7-10	7	K1+220	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT7-11	7	K1+095	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT7-12	7	K1+020	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT7-13	7	K0+915	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
IT7-14	7	K0+840	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT7-15	7	K0+755	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT7-16	7	K0+690	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
IT7-17	7	K0+490	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IT7-18	7	K0+185	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
T7-1	7	K1+155	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T7-2	7	K0+960	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
T7-3	7	K0+455	Alc	1.2	2	Aletas	Aletas		
T7-4	7	K0+400	Alc	1.2	2	Aletas	Aletas		
T7-5	7	K0+360	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
T7-6	7	K0+320	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
T7-7	7	K0+235	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
T7-1	7	K1+155	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
T7-2	7	K0+960	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
T7-3	7	K0+455	Alc	1.2	2	Aletas	Aletas		
T7-4	7	K0+400	Alc	1.2	2	Aletas	Aletas		
T7-5	7	K0+360	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
T7-6	7	K0+320	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
T7-7	7	K0+235	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
ACAT-1	Ataguía	K0+135	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
ACAT-2	Ataguía	K0+235	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
ACAT-1	Ataguía	K0+135	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
ACAT-2	Ataguía	K0+235	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IC-1	Compuerta	K0+200	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	

INDIO RIVER MULTIPURPOSE RESERVOIR

IC-2	Compuerta	K0+260	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IC-3	Compuerta	K0+320	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IC-4	Compuerta	K0+705	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
C-1	Compuerta	K0+055	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
C-2	Compuerta	K0+345	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
C-3	Compuerta	K0+435	Alc	1.2	2	Aletas	Aletas		
C-4	Compuerta	K0+545	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
C-5	Compuerta	K0+765	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
C-6	Compuerta	K0+790	Alc	1.2	1	Aletas	Aletas		
C-1	Compuerta	K0+055	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
C-2	Compuerta	K0+345	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
C-3	Compuerta	K0+435	Alc	1.2	2	Aletas	Aletas		
C-4	Compuerta	K0+545	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
C-5	Compuerta	K0+765	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
C-6	Compuerta	K0+790	Alc	1.2	1	A s	Aletas		
IA-1	Presa	K0+012	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IA-2	Presa	K0+112	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
A-1	Presa	K0+160	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
A-1	Presa	K0+160	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IV-1	Ventana 2	K0+425	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IV-2	Ventana 2	K0+110	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
V-1	Ventana 2	K0+265	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
V-2	Ventana 2	K0+365	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
V-3	Ventana 2	K0+470	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
V-4	Ventana 2	K0+610	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
V-1	Ventana 2	K0+265	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
V-2	Ventana 2	K0+365	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
V-3	Ventana 2	K0+470	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
V-4	Ventana 2	K0+610	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IA-1	Presa	K0+012	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IA-2	Presa	K0+112	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
ICA-1	Contra-ataguía	K0+055	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
ICA-2	Contra-ataguía	K0+133	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
ICA-3	Contra-ataguía	K0+262	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
ICA-4	Contra-ataguía	K0+456	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
ICA-5	Contra-ataguía	K0+903	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
ICA-6	Contra-ataguía	K0+949	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
ICA-7	Contra-ataguía	K1+267	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
ICA-8	Contra-ataguía	K1+394	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
ICA-9	Contra-ataguía	K1+605	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
ICA-10	Contra-ataguía	K1+677	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
ICA-11	Contra-ataguía	K1+724	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		

INDIO RIVER MULTIPURPOSE RESERVOIR

ICA-12	Contra-atagüia	K1+935	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
ICA-13	Contra-atagüia	K1+963	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
ICA-14	Contra-atagüia	K2+036	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
ICA-15	Contra-atagüia	K2+261	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
ICA-16	Contra-atagüia	K2+352	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
ICA-17	Contra-atagüia	K2+424	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
ICA-18	Contra-atagüia	K2+478	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
ICA-19	Contra-atagüia	K2+585	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		X
ICA-1	Contra-atagüia	K0+055	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
ICA-2	Contra-atagüia	K0+133	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
ICA-3	Contra-atagüia	K0+262	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
ICA-4	Contra-atagüia	K0+456	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
ICA-5	Contra-atagüia	K0+903	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
ICA-6	Contra-atagüia	K0+949	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
ICA-7	Contra-atagüia	K1+267	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
ICA-8	Contra-atagüia	K1+394	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
ICA-9	Contra-atagüia	K1+605	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
ICA-10	Contra-atagüia	K1+677	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
ICA-11	Contra-atagüia	K1+724	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
ICA-12	Contra-atagüia	K1+935	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
ICA-13	Contra-atagüia	K1+963	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
ICA-14	Contra-atagüia	K2+036	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
ICA-15	Contra-atagüia	K2+261	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
CA-1	Contra-atagüia	K0+734	Alc	1.5	1	Aletas	Aletas		
CA-2	Contra-atagüia	K1+075	Alc	1.5	3	Aletas	Aletas		
CA-3	Contra-atagüia	K1+812	Alc	1.2	2	Aletas	Aletas		
CA-4	Contra-atagüia	K1+890	Alc	1.2	1	Aletas	Aletas		
CA-5	Contra-atagüia	K2+134	Alc	1.2	1	Caja	Aletas	X	
ITS-1	Sur	K0+204	Alc	1.8	3	Aletas	Aletas		
ITS-2	Sur	K0+458	Alc	1.2	1	Aletas	Aletas		
ITS-3	Sur	K0+980	Alc	1.5	2	Caja	Aletas		
ITS-4	Sur	K1+828	Alc	1.5	3	Aletas	Aletas		
ITS-5	Sur	K2+076	Alc	1.2	1	Caja	Aletas		
ITS-6	Sur	K2+199	Alc	1.2	1	Caja	Aletas	X	
ITS-7	Sur	K2+423	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
ITS-8	Sur	K2+568	Alc	1.2	2	Aletas	Aletas		

INDIO RIVER MULTIPURPOSE RESERVOIR

ITS-9	Sur	K2+823	Alc	1.2	1	Caja	Aletas	X	
ITS-10	Sur	K2+962	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
ITS-11	Sur	K3+046	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
ITS-12	Sur	K3+384	Alc	1.2	2	Caja	Aletas	X	
ITS-13	Sur	K3+731	Alc	1.5	2	Aletas	Aletas		
ITS-14	Sur	K3+839	Alc	1.2	1	Aletas	Aletas		
ITS-15	Sur	K4+047	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		
ITS-16	Sur	K4+102	Alc	1.5	2	Aletas	Aletas		
ITS-17	Sur	K4+377	Box	2.0x2.0	3	Aletas	Aletas		
ITS-18	Sur	K4+655	Alc	1.5	2	Aletas	Aletas		
ITS-19	Sur	K4+747	Alc	1.2	2	Aletas	Aletas		
ITS-20	Sur	K5+020	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
TS-1	Sur	K0+550	Box	5.0x5.0	3	Aletas	Aletas		
TS-2	Sur	K4+000	Box	4.0x4.0	3	Aletas	Aletas		
IAPS-1	Salida tunel	K0+000	Alc	1.2	1	Aletas	Aletas		
IAPS-2	Salida tunel	K0+065	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IAPS-3	Salida tunel	K0+165	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IAPS-4	Salida tunel	K0+358	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IAPS-5	Salida tunel	K0+426	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IAPS-6	Salida tunel	K0+635	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IAPS-7	Salida tunel	K0+666	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IAPS-8	Salida tunel	K0+880	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
IAPS-9	Salida tunel	K0+977	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IAPS-10	Salida tunel	K1+136	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IAPS-11	Salida tunel	K1+256	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
IAPS-12	Salida tunel	K1+415	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IAPS-13	Salida tunel	K1+585	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	
IAPS-14	Salida tunel	K1+692	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
IAPS-15	Salida tunel	K1+754	Alc	0.9	1	Caja	Aletas	X	

IAPS-16	Salida tunel	K1+840	Alc	0.9	1	Caja	Aletas		
APS-1	Salida tunel	K0+760	Alc	1.8	3	Aletas	Aletas		
APS-2	Salida tunel	K1+082	Alc	1.5	2	Aletas	Aletas		
ITN-1	Norte	K6+850	Alc	0.9	1	Aletas	Aletas		

9.2.2. Drenaje longitudinal

Para el manejo del drenaje longitudinal de la vía se proyectaron cunetas laterales en la calzada de la vía, en los cortes zanjas de coronación y cunetas en las bermas, en la Figura 6.6 se presenta una tipología general del sistema de drenaje longitudinal. En la Figura 70 se presenta la tipología de las obras longitudinales.

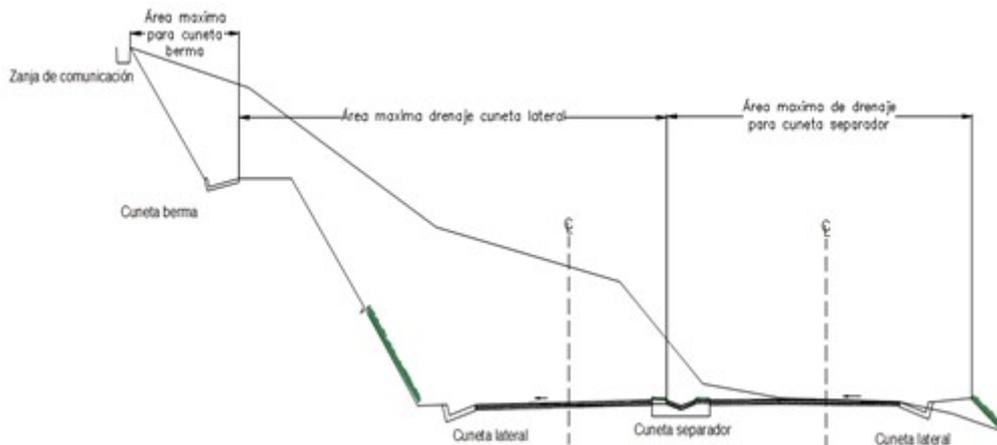


Figura 70. Elementos de drenaje longitudinal

9.2.2.1. Cunetas

Las cunetas son estructuras de drenaje que captan las aguas de escorrentía superficial proveniente de la plataforma de la vía y de los taludes de corte, conduciendolas longitudinalmente hasta asegurar su adecuada disposición. Las cunetas construidas en zonas en terraplén protegen también los bordes de la berma y los taludes del terraplén de la erosión causada por el agua lluvia.

Para las cunetas en zonas de corte, los puntos de disposición son cajas colectoras de alcantarillas y salidas laterales al terreno natural en un cambio de corte a terraplén. En las cunetas en terraplén, las aguas se disponen al terreno natural mediante bajantes o alivios.

Las cunetas se deben localizar esencialmente en todos los cortes, en aquellos terraplenes susceptibles a la erosión.

Los análisis hidráulicos de las obras de drenaje longitudinal se realizaron mediante la ecuación de Manning, que se expresa de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Q=1/n(AR^{(2/3)} S^{(1/2)}) \quad \text{Ecuación 18.}$$

Dónde:

Q: Caudal de diseño, en metros cúbicos por segundo (m^3/s), el caudal de diseño se calcula mediante el método racional.

n: Coeficiente de rugosidad de Manning.

A: Área mojada, en metros cuadrados (m^2).

R: Radio hidráulico, en metros (m).

S: Pendiente, en metros por metro (m/m).

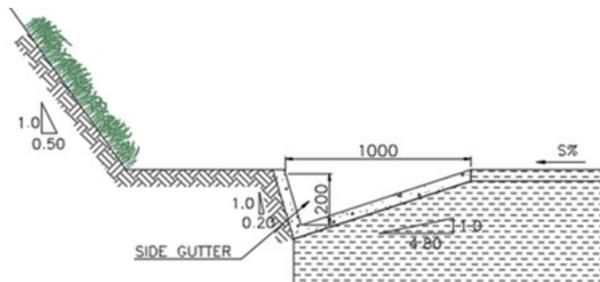
De la ecuación de Manning es posible obtener la lámina de agua y la velocidad en la sección para el caudal de diseño. La lámina de agua debe ser inferior o igual a la profundidad de la cuneta y la velocidad debe ser, a su vez, menor que la máxima admisible para el material de la cuneta, pero mayor que la velocidad que favorezca la sedimentación y el crecimiento vegetal.

La definición de la capacidad hidráulica de las cunetas se realizó tomando en cuenta las áreas de drenaje longitudinales de la vía en función de la geometría de la misma y en el caso que aplique de las áreas de corte adyacente a la vía.

9.2.2.1.1. Cuneta lateral

Para el diseño de las cunetas laterales de la vía se consideraron áreas aferentes a la misma tomando en cuenta los criterios de diseño; como el proyecto contempla zanjas de coronación en los cortes y cunetas en las bermas de los cortes, estructuras que captan la mayor cantidad de caudal que podría llegar a la cuneta de la calzada, se adoptó como criterio de diseño para la cuneta el área aferente de corte y el ancho aferente de calzada de acuerdo al trazado del diseño geométrico.

Acorde con el diseño geométrico se proyectó un solo tipo de cuenta adyacente a la calzada de la vía en sección triangular y en concreto en todo los tramos del proyecto, en la Figura 71 se presenta la configuración de la cuneta proyectada y en el Anexo 14 las memorias de diseño.



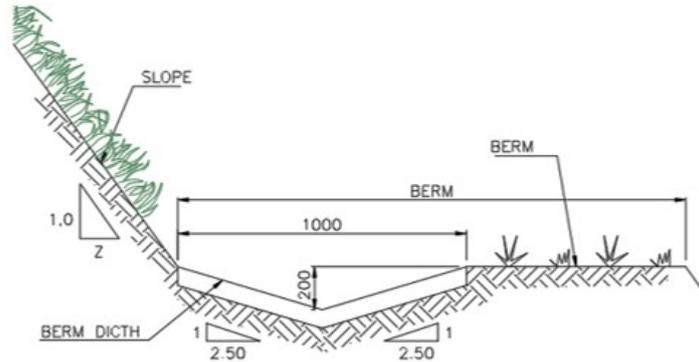
*Las dimensiones están dadas en milímetros

Figura 71. Sección cuneta lateral en calzada

Fuente: Elaboración propia

9.2.2.1.2. Cuneta berma en corte

Para el manejo del drenaje la zona de corte se proyectó un tipo de cuneta en las bermas en sección triangular y en concreto en todo los tramos del proyecto, en la Figura 72 se presenta la configuración de la cuneta proyectada y en el Anexo 15 la memoria de diseño.



*Las dimensiones están dadas en milímetros

Figura 72. Sección cuneta berma

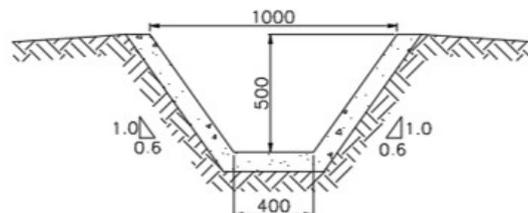
Fuente: Elaboración propia

9.2.2.2. Zanjas De Coronación

Las zanjas de coronación son interceptoras de la escorrentía en la parte alta del talud de corte y se utilizan para interceptar las aguas lluvias, evitando su paso por el talud, se deben ubicar como mínimo a una longitud de 3m del borde del talud de corte.

Por lo general se recomienda que las zanjas de coronación sean totalmente impermeabilizadas para evitar infiltraciones que puedan afectar el talud de la vía, para el caso particular se proyectaron en concreto y en sección trapezoidal.

En la Figura 73 se presenta la sección de zanja de coronación proyectada y en el Anexo 16 la memoria de diseño.



*Las dimensiones están dadas en milímetros

Figura 73. Sección de zanja de coronación

Fuente: Elaboración propia

9.2.2.3. Estructuras Escalonadas

Este tipo de estructuras se plantearon en varias zonas del proyecto; como bajantes en los cortes para conducir el agua a la entrada de las obras o a las cunetas, a las salidas de las obras para disipar la energía; y como continuidad de las zanjas de coronación.

El flujo en este tipo de estructuras se puede dar en tres tipos de condiciones:

Flujo rasante (skimming flow): en esta condición el flujo escurre sobre las esquinas externas de las escaleras como una nata sobre un pseudo-fondo, produciéndose una recirculación del agua en la parte interna del escalón. Por lo que la reducción de energía se da por la recirculación del agua en el escalón y por impacto en el escalón aguas abajo.

Flujo escalón a escalón (nappe flow): en esta condición el flujo sigue una trayectoria de chorro de escalón a escalón, con un lente de aire bajo la napa. La pérdida de energía se produce entonces por la dispersión del chorro en el aire y por la mezcla de agua al impacto y desarrollo total o parcial del resalto hidráulico.

Flujo de transición: condición intermedia entre las dos condiciones descritas anteriormente, donde la napa sobre el lente de aire puede o no formarse y se produce una recirculación parcial del agua en cada escalón.

Se recomienda el uso de este tipo de estructuras para pendientes entre 5.7° y 55° , el diseño consiste en determinar la velocidad y la profundidad del flujo en la estructura y el incremento de la profundidad del flujo por efecto del aire para determinar altura de muro de la estructura.

La metodología de diseño de este tipo de estructura es experimental y para el presente proyecto se siguió la metodología descrita por H. Chanson, en su libro. "HYDRAULIC DESIGN OF STEPPED CASCADES, CHANNELS, WEIRS AND SPILLWAYS".

De acuerdo con las condiciones de diseño geométrico de las vías y de taludes, se proyectaron tres tipo de estructuras escalonadas, En la Tabla 40 se resumen el dimensionamiento y en el Anexo 17 la memoria de diseño.



Tabla 40. Dimensiones de las estructuras escalonadas

LOCALIZACIÓN	TIPO	TALUD	L (mm)	H (mm)	B (mm)	d (mm)
ENTRADA	1	1V:0.5H	500	1000	1500	1000
ENTRADA	2	1V:0.5H	500	1000	1800	1200
SALIDA	3	1V:1.5H	750	500	1500	1000
ENTRADA	4	1V:0.5H	500	1000	3600	1000

10. DISEÑO GEOTÉCNICO

10.1. Terracerías

10.1.1. Taludes de Corte

En la zona del reservorio multipropósito Río Indio, el tipo de intervención que se va a realizar es la ejecución de vías nuevas las cuales serán de uso temporal y definitivo. Temporales ya que su vida útil se limita al tiempo de construcción del proyecto ya que por su ubicación quedarán bajo la cota de inundación del mismo y definitivas las cuales prestarán servicio durante la vida útil del proyecto. Adicionalmente, con el fin de caracterizar los taludes de corte que se tienen previstos desarrollar a lo largo del corredor, se adelantó un análisis de caracterización de los taludes de corte proyectados de acuerdo con el diseño geométrico propuesto (Tabla 41 a Tabla 56).

En los siguientes numerales se presentan los análisis de estabilidad de taludes necesarios para definir la geometría y los requerimientos de refuerzo de los cortes presentes en el proyecto. Los análisis de estabilidad se desarrollan para secciones críticas en cada uno de los tramos del trazado para los cuales se definió un comportamiento geotécnico homogéneo teniendo en cuenta las condiciones de los materiales aflorantes, los posibles mecanismos de falla, los parámetros geotécnicos y la geometría del corte o relleno requerido.

Tabla 41. Taludes de corte Tramo 1

TRAMO 1					
Abscisa	Carril izquierdo		Carril derecho		Material
	H Corte	Angulo Corte	H Corte	Angulo Corte	
K00+000			2.20	63	Sr-ToCai
K00+050			1.40	63	Sr-ToCai
K00+100	1.30	63	4.10	63	Sr-ToCai
K00+160			4.40	63	Sr-ToCai
K00+230	1.30	63	4.20	63	Sr-ToCai
K00+300	1.70	63	4.80	63	Sr-ToCai
K00+370	1.00	63	7.90	63	Sr-ToCai
K00+420	2.90	63	3.80	63	Sr-ToCai
K00+470	8.70	63	1.40	63	Sr-ToCai

K00+500	7.01	63	1.92	63	Sr-ToCai
K00+550	2.20	63	1.10	63	Sr-ToCai
K00+600	6.70	63	10.10	63	Sr-ToCai
K00+640	3.70	63	3.60	63	Sr-ToCai
K00+690			0.60	34	Sr-ToCai
K00+740	4.20	63	3.80	63	Sr-ToCai
K00+790			10.10	63	Sr-ToCai
K00+840			7.70	63	Sr-ToCai
K00+930	0.30	63	1.90	63	Sr-ToCai
K00+980	1.50	63	1.90	63	Sr-ToCai
K01+030	1.00	63	0.60	63	Sr-ToCai
K01+070	1.10	63			Sr-ToCai
K01+120	0.80	63	0.40	63	Sr-ToCai
K01+170	0.40	63	1.40	63	Sr-ToCai
K01+220	0.30	63	1.10	63	Sr-ToCai
K01+310	4.10	63	0.80	63	Sr-ToCai
K01+360	3.20	63	0.30	63	Sr-ToCai
K01+410	2.90	63	0.20	63	Sr-ToCai
K01+460	0.60	63	2.00	63	Sr-ToCai
K01+540	1.50	63	1.40	63	Sr-ToCai
K01+590	0.60	63	1.10	63	Sr-ToCai
K01+650	0.90	63	1.50	63	Sr-ToCai
K01+710			1.20	63	Sr-ToCai
K01+750	2.50	63	8.20	63	Sr-ToCai
K01+800	1.00	63	2.60	63	Sr-ToCai
K01+850					Sr-ToCai
K01+890	1.70	63	3.40	63	Sr-ToCai
K01+950			1.40	63	Sr-ToCai
K02+020	0.60	63	1.10	63	Sr-ToCai
K02+070	2.20	63			Sr-ToCai
K02+130	0.20	63	1.00	63	Sr-ToCai
K02+200	1.30	63	1.80	63	Sr-ToCai
K02+270	6.50	63	12.80	63	Sr-ToCai
K02+410	5.70	63	10.70	63	Sr-ToCai
K02+460	5.40	63	13.30	63	Sr-ToCai
K02+510	5.20	63	7.70	63	Sr-ToCai
K02+570	6.60	63	5.90	63	Sr-ToCai
K02+640	4.30	63			Sr-ToCai
K02+750	2.10	63	1.60	63	Sr-ToCai
K02+800	2.10	63	0.90	63	Sr-ToCai
K02+890	2.60	63	25.50	63	Sr-ToCai
K02+920	0.90	63	11.90	63	Sr-ToCai
K02+970	1.00	63	4.70	63	Sr-ToCai

K03+020	1.90	63	2.10	63	Sr-ToCai
K03+060	9.80	63	4.50	63	Sr-ToCai
K03+130	1.40	63	2.50	63	Sr-ToCai
K03+170	6.70	63	11.90	63	Sr-ToCai
K03+240	4.10	63	3.00	63	Sr-ToCai
K03+300	5.30	63	10.20	63	Sr-ToCai
K03+350	6.30	63	3.80	63	Sr-ToCai
K03+430	2.80	63	2.80	63	Sr-ToCai
K03+460	3.90	63	4.20	63	Sr-ToCai
K03+520	6.70	63	7.20	63	Sr-ToCai
K03+560	6.90	63	7.60	63	Sr-ToCai
K03+650	3.70	63	2.30	63	Sr-ToCai
K03+690	0.90	63			Sr-ToCai
K03+760	5.50	63	0.70	63	Sr-ToCai
K03+800	7.00	63	6.90	63	Sr-ToCai
K03+870	0.90	63	1.80	63	Sr-ToCai
K03+920	2.50	63	2.70	63	Sr-ToCai
K03+990	2.80	63	4.00	63	Sr-ToCai
K04+040	6.90	63	7.50	63	Sr-ToCai
K04+090	5.10	63	5.70	63	Sr-ToCai
K04+130	2.40	63	2.10	63	Sr-ToCai
K04+240	2.70	63	3.20	63	Sr-ToCai
K04+340	3.20	63	0.50	63	Sr-ToCai
K04+390	1.10	63	1.40	63	Sr-ToCai
K04+450	1.80	63	6.40	63	Sr-ToCai
K04+480	2.90	63	9.70	63	Sr-ToCai
K04+540			1.30	63	Sr-ToCai
K04+590	3.20	63	8.30	63	Sr-ToCai
K04+630	1.90	63	6.90	63	Sr-ToCai
K04+680			0.50	63	Sr-ToCai
K04+740			2.30	63	Sr-ToCai
K04+840	2.20	63	2.70	63	Sr-ToCai
K04+890	2.90	63	6.90	63	Sr-ToCai
K04+930	7.50	63	10.30	63	Sr-ToCai
K05+000			0.40	63	Sr-ToCai
K05+070	3.20	63	4.10	63	Sr-ToCai
K05+120	1.30	63	4.30	63	Sr-ToCai
K05+270	2.10	63	5.20	63	Sr-ToCai
K05+330	3.50	63	4.70	63	Sr-ToCai
K05+410			1.50	63	Sr-ToCai
K05+450	6.70	63	1.10	63	Sr-ToCai
K05+510	7.20	63	1.40	63	Sr-ToCai
K05+560	12.00	63	7.00	63	Sr-ToCai

K05+610	8.60	63			Sr-ToCai
K05+660	7.90	63	2.40	63	Sr-ToCai
K05+700	9.50	63	2.50	63	Sr-ToCai
K05+730	10.40	63			Sr-ToCai
K05+770	3.40	63			Sr-ToCai
K05+830	4.60	63			Sr-ToCai
K05+880	4.50	63	3.00	63	Sr-ToCai
K05+930	3.90	63			Sr-ToCai
K05+990	3.50	63	1.40	63	Sr-ToCai
K06+040			7.20	63	Sr-ToCai
K06+110	1.40	63	1.10	63	Sr-ToCai
K06+160	1.90	63	1.20	63	Sr-ToCai
K06+200	3.20	63	1.70	63	Sr-ToCai
K06+310	7.90	63	1.70	63	Sr-ToCai
K06+360	5.70	63	1.70	34	Sr-ToCai
K06+410	4.70	63	2.40	63	Sr-ToCai
K06+460	1.10	63			Sr-ToCai

Tabla 42. Taludes de corte Tramo 2

Tramo 2					
Abscisa	Carril izquierdo		Carril derecho		Material
	H Corte	Angulo Corte	H Corte	Angulo Corte	
K00+030	3.00	63	0.90	63	Sr-ToCai
K00+170	0.60	63	2.80	63	Sr-ToCai
K00+240	1.00	63	2.20	63	Sr-ToCai
K00+450			1.00	63	Sr-ToCai
K00+500	2.40	63	0.70	63	Sr-ToCai
K00+580	1.20	63	2.10	63	Sr-ToCai
K00+710	2.10	63	1.50	63	Sr-ToCai
K00+760	2.60	63	3.00	63	Sr-ToCai
K00+960	2.10	63	0.60	63	Sr-ToCai
K01+060	1.50	63	0.80	63	Sr-ToCai
K01+110	1.60	63	0.80	63	Sr-ToCai
K01+220	6.00	63	2.80	63	Sr-ToCai
K01+330	6.90	63	0.70	63	Sr-ToCai
K01+380	1.30	63	0.50	63	Sr-ToCai
K01+450	3.60	63	2.40	63	Sr-ToCai
K01+540	0.90	63			Sr-ToCai
K01+580	1.00	63			Sr-ToCai
K01+630	9.40	63	2.00	63	Sr-ToCai
K01+680	7.50	63	0.30	63	Sr-ToCai
K01+740	4.00	63	1.10	63	Sr-ToCai

K01+780	3.20	63	3.50	63	Sr-ToCai
K01+840	2.30	63	0.70	63	Sr-ToCai
K01+890	1.40	63		63	Sr-ToCai
K02+020	3.90	63	2.00	63	Sr-ToCai
K02+170	2.30	63			Sr-ToCai
K02+220	0.70	63	1.50	63	Sr-ToCai
K02+410	1.10	63	2.70	63	Sr-ToCai
K02+510	0.30	63	0.80	63	Sr-ToCai
K02+590			2.40	63	Sr-ToCai
K02+640			0.70	63	Sr-ToCai
K02+690			1.90	63	Sr-ToCai
K02+770	0.20	63	7.80	63	Sr-ToCai
K02+870	6.40	63	0.50	63	Sr-ToCai
K02+990			1.40	63	Sr-ToCai
K03+030	2.10	63	3.30	63	Sr-ToCai
K03+130	8.80	63	7.10	63	Sr-ToCai
K03+160	5.90	63	7.40	63	Sr-ToCai
K03+230	3.50	63	3.60	63	Sr-ToCai
K03+300	2.40	63	2.50	63	Sr-ToCai
K03+700	1.60	63			Sr-ToCai

Tabla 43. Taludes de corte Tramo 3

Tramo 3									
Abscisa	Carril Izquierdo				Carril derecho				Material
	H. Terreno Natural	Angulo TN	H Corte	Angulo Corte	H. Terreno Natural	Angulo TN	H Corte	Angulo Corte	
K00+040	1.52	19.00							Sr-ToCai
K00+100	0.82	21.00	2.35	63.00	0.93	42.00	2.83	63.00	Sr-ToCai
K00+150	2.34	46.00	9.70	63.00	0.79	23.00	4.59	63.00	Sr-ToCai
K00+200	3.66	26.00	2.53	63.00	1.50	26.00	5.31	63.00	Sr-ToCai
K00+250	1.65	13.00	1.75	63.00	2.49	16.00	1.58	63.00	Sr-ToCai
K00+300	1.61	21.00	3.14	63.00	0.34	19.00	0.63	63.00	Sr-ToCai
K00+370	0.77	15.00	1.43	63.00	0.25	166.00	0.76	63.00	Sr-ToCai
K00+400	0.88	41.00	2.37	63.00	1.11	48.00	3.04	63.00	Sr-ToCai
K00+460	0.70	35.00	1.30	63.00	0.59	27.00			Sr-ToCai
K00+600	0.24	12.00	2.50	63.00	0.46	5.00	2.37	63.00	Sr-ToCai
K00+650	0.87	31.00	1.02	63.00	0.47	16.00	0.75	63.00	Sr-ToCai
K00+700	0.83	35.00	1.95	63.00	0.83	28.00	2.08	63.00	Sr-ToCai
K00+750	0.35	12.00	0.93	63.00	0.45	6.00	1.39	63.00	Sr-ToCai
K00+800	0.24	6.00	1.64	63.00	0.75	28.00	2.87	63.00	Sr-ToCai
K00+850	0.42	11.00	3.29	63.00	0.71	28.00	4.43	63.00	Sr-ToCai
K00+900	0.11	9.00	3.28	63.00	0.79	18.00	4.04	63.00	Sr-ToCai
K00+940	0.48	4.00	0.62	63.00	0.50	18.00	2.02	63.00	Sr-ToCai

INDIO RIVER MULTIPURPOSE RESERVOIR

K01+000	1.40	36.00	3.85	63.00	0.64	7.00	2.24	63.00	Sr-ToCai
K01+050			2.33	63.00			2.24	63.00	Sr-ToCai
K01+150	0.50	11.00	1.02	63.00	0.83	42.00	2.85	63.00	Sr-ToCai
K01+200	0.19	20.00	2.10	63.00	0.54	21.00	3.24	63.00	Sr-ToCai
K01+250	0.41	4.00	1.60	63.00	0.39	17.00	1.36	63.00	Sr-ToCai
K01+300	0.28	10.00	2.76	63.00	0.84	6.00	3.23	63.00	Sr-ToCai
K01+400	0.27	13.00	2.17	63.00	0.95	19.00	3.48	63.00	Sr-ToCai
K01+450	0.57	19.00	2.65	63.00	0.27	18.00	2.04	63.00	Sr-ToCai
K01+500	0.59	21.00	1.90	63.00	0.28	10.00	1.02	63.00	Sr-ToCai
K01+550	0.63	20.00	1.02	63.00	0.58	12.00	0.55	34.00	Sr-ToCai
K01+600	0.56	26.00	3.48	63.00	0.60	19.00	3.16	63.00	Sr-ToCai
K01+650			3.64	63.00			3.81	63.00	Sr-ToCai
K01+700	1.21	47.00	6.29	63.00	1.47	56.00	5.91	63.00	Sr-ToCai
K01+740	0.53	35.00	1.57	63.00	1.11	32.00	1.34	63.00	Sr-ToCai
K01+910	0.33	14.00	1.22	63.00	0.35	26.00	0.80	63.00	Sr-ToCai
K01+960	0.40	18.00	1.35	63.00	1.11	41.00	2.64	63.00	Sr-ToCai
K02+010	0.43	21.00	0.85	63.00			0.79	63.00	Sr-ToCai
K02+050			0.55	63.00	0.43	31.00	1.50	63.00	Sr-ToCai
K02+210	1.24	51.00	2.97	63.00	0.49	20.00	0.79	63.00	Sr-ToCai
K02+250	0.86	48.00	4.34	63.00	0.41	29.00	1.97	63.00	Sr-ToCai
K02+360	2.23	39.00	1.48	63.00	1.16	26.00	4.36	63.00	Sr-ToCai
K02+400	3.06	34.00	2.38	63.00	1.14	58.00	7.13	63.00	Sr-ToCai
K02+450	3.35	38.00	1.34	63.00	0.69	34.00	3.87	63.00	Sr-ToCai
K02+500	3.17	17.00	1.58	63.00			3.24	63.00	Sr-ToCai
K02+550	0.84	34.00	3.40	63.00			2.66	63.00	Sr-ToCai
K02+610	1.25	17.00	2.18	63.00			1.03	63.00	Sr-ToCai
K02+650			2.74	63.00			3.09	63.00	Sr-ToCai
K02+700	0.47	21.00	3.01	63.00	1.45	55.00	5.80	63.00	Sr-ToCai
K02+740			2.36	63.00			9.00	63.00	Sr-ToCai
K03+290			1.27	63.00					Sr-ToCai
K03+350	5.58	29.00	3.08	63.00					Sr-ToCai
K03+400			5.91	63.00			1.07	63.00	Sr-ToCai
K03+450			8.54	63.00			2.45	63.00	Sr-ToCai
K03+600			5.72	63.00			0.76	63.00	Sr-ToCai
K03+650			8.22	63.00			0.59	63.00	Sr-ToCai
K03+700	1.35	36.00	5.31	63.00			2.28	63.00	Sr-ToCai
K03+750			6.80	63.00			1.03	63.00	Sr-ToCai
K03+800			6.42	63.00			1.77	63.00	Sr-ToCai
K03+850			9.06	63.00			2.21	63.00	Sr-ToCai
K03+900			3.49	63.00	2.30	22.00	1.35	63.00	Sr-ToCai
K03+950			5.53	63.00			1.12	63.00	Sr-ToCai
K04+000			3.75	63.00			0.52	63.00	Sr-ToCai
K04+050			2.07	63.00			1.01	63.00	Sr-ToCai

INDIO RIVER MULTIPURPOSE RESERVOIR

K04+100			6.23	63.00			1.12	63.00	Sr-ToCai
K04+150	1.26	27.00			5.36	42.00			Sr-ToCai
K04+300			8.33	63.00			5.11	63.00	Sr-ToCai
K04+360			7.45	63.00			0.89	63.00	Sr-ToCai
K04+400			4.78	63.00			0.35	63.00	Sr-ToCai
K04+450			7.49	63.00			2.39	63.00	Sr-ToCai
K04+510			11.16	63.00			2.91	63.00	Sr-ToCai
K04+540	2.89	37.00	9.93	63.00			1.23	63.00	Sr-ToCai
K04+600			4.36	63.00			5.54	63.00	Sr-ToCai
K04+660			1.65	63.00			1.01	63.00	Sr-ToCai
K04+700			9.88	63.00			1.02	63.00	Sr-ToCai
K04+740			2.07	63.00			3.40	63.00	Sr-ToCai
K04+800			0.61	63.00			4.01	63.00	Sr-ToCai
K04+850			5.82	63.00			0.61	63.00	Sr-ToCai
K04+900			9.69	63.00			2.22	63.00	Sr-ToCai
K04+940			6.22	63.00			1.42	63.00	Sr-ToCai
K05+000			0.85	63.00			2.00	63.00	Sr-ToCai
K05+050							2.59	63.00	Sr-ToCai
K05+100			1.60	63.00			6.06	63.00	Sr-ToCai
K05+150			0.83	63.00			5.13	63.00	Sr-ToCai
K05+230			1.97	63.00			5.53	63.00	Sr-ToCai
K05+300			0.36	63.00			4.05	63.00	Sr-ToCai
K05+350			1.29	63.00			4.33	63.00	Sr-ToCai
K05+390			2.66	63.00			5.30	63.00	Sr-ToCai
K05+440			0.53	63.00			4.61	63.00	Sr-ToCai
K05+490			1.68	63.00			1.39	63.00	Sr-ToCai
K05+550			1.08	63.00			7.18	63.00	Sr-ToCai
K05+600			0.69	63.00			6.27	63.00	Sr-ToCai
K05+650			2.14	63.00	5.79	25.00	5.76	63.00	Sr-ToCai
K05+700			1.74	63.00			7.01	63.00	Sr-ToCai
K05+750			4.16	63.00			9.85	63.00	Sr-ToCai
K05+800			0.46	63.00			8.83	63.00	Sr-ToCai
K05+850			2.87	63.00			11.80	63.00	Sr-ToCai
K05+900			1.56	63.00			8.39	63.00	Sr-ToCai
K05+950			1.98	63.00			5.98	63.00	Sr-ToCai
K06+010			0.90	63.00			2.66	63.00	Sr-ToCai
K06+050			4.34	63.00			11.50	63.00	Sr-ToCai
K06+100			1.48	63.00			4.21	63.00	Sr-ToCai
K06+200			7.48	63.00			2.72	63.00	Sr-ToCai
K06+240			3.11	63.00					Sr-ToCai
K06+300							3.91	63.00	Sr-ToCai
K06+340			3.70	63.00			8.18	63.00	Sr-ToCai
K06+400			0.83	63.00			5.61	63.00	Sr-ToCai

INDIO RIVER MULTIPURPOSE RESERVOIR

K06+450			0.75	63.00			4.40	63.00	Sr-ToCai
K06+500							5.26	63.00	Sr-ToCai
K06+550			2.05	63.00			6.71	63.00	Sr-ToCai
K06+590			0.84	63.00			7.86	63.00	Sr-ToCai
K06+650			2.28	63.00			12.59	63.00	Sr-ToCai
K06+700							6.10	63.00	Sr-ToCai
K06+740			1.87	63.00			4.37	63.00	Sr-ToCai
K06+800			2.99	63.00			13.13	63.00	Sr-ToCai
K06+850			2.11	63.00			8.09	63.00	Sr-ToCai
K06+900			3.75	63.00			13.55	63.00	Sr-ToCai
K06+950			3.42	63.00			14.31	63.00	Sr-ToCai
K07+000			4.20	63.00			16.86	63.00	Sr-ToCai
K07+050			1.38	63.00			12.06	63.00	Sr-ToCai
K07+100			4.45	63.00			13.96	63.00	Sr-ToCai
K07+150			5.18	63.00			17.61	63.00	Sr-ToCai
K07+200			8.44	63.00			23.19	63.00	Sr-ToCai
K07+250			5.23	63.00			17.16	63.00	Sr-ToCai
K07+300			4.97	63.00			16.60	63.00	Sr-ToCai
K07+350			5.24	63.00			30.13	63.00	Sr-ToCai
K07+460			3.20	63.00			1.06	63.00	Sr-ToCai
K07+500			4.45	63.00			2.35	63.00	Sr-ToCai
K07+530	4.07	30.00			3.85	43.00			Sr-ToCai
K07+600			3.35	63.00			0.37	63.00	Sr-ToCai
K07+650			5.65	63.00			1.94	63.00	Sr-ToCai
K07+700	2.30	36.00	2.12	63.00			3.49	63.00	Sr-ToCai
K07+750			4.27	63.00			3.25	63.00	Sr-ToCai
K07+800			3.05	63.00			1.29	63.00	Sr-ToCai
K07+850			4.76	63.00			7.85	63.00	Sr-ToCai
K07+900			2.82	63.00			4.83	63.00	Sr-ToCai
K07+950			4.00	63.00			8.33	63.00	Sr-ToCai
K08+000			1.73	63.00			13.48	63.00	Sr-ToCai
K08+050			5.03	63.00			11.86	63.00	Sr-ToCai
K08+100	5.77	44.00	10.68	63.00			5.10	63.00	Sr-ToCai
K08+150			4.80	63.00					Sr-ToCai
K08+200	4.80	29.00	6.16	63.00			1.35	63.00	Sr-ToCai
K08+250			8.23	63.00			3.00	63.00	Sr-ToCai
K08+300			6.32	63.00			1.58	63.00	Sr-ToCai
K08+350	12.70	40.00	11.36	63.00			2.10	63.00	Sr-ToCai
K08+400			5.64	63.00			1.22	34.00	Sr-ToCai
K08+450	1.21	12.00	4.09	63.00			3.83	63.00	Sr-ToCai
K08+500	6.44	42.00	7.86	63.00			0.98	63.00	Sr-ToCai
K08+550			8.94	63.00			5.22	63.00	Sr-ToCai
K08+600	6.82	43.00	9.28	63.00			1.74	63.00	Sr-ToCai

INDIO RIVER MULTIPURPOSE RESERVOIR

K08+650			8.14	63.00	2.30	34.00	4.99	63.00	Sr-ToCai
K08+700			1.76	63.00			8.34	63.00	Sr-ToCai
K08+750			2.87	63.00			7.08	63.00	Sr-ToCai
K08+790			1.73	63.00			11.91	63.00	Sr-ToCai
K08+840			3.06	63.00			7.80	63.00	Sr-ToCai
K08+900			0.91	63.00			8.51	63.00	Sr-ToCai
K08+950			3.09	63.00			12.33	63.00	Sr-ToCai
K09+000			0.91	63.00			12.92	63.00	Sr-ToCai
K09+050			2.33	63.00			15.25	63.00	Sr-ToCai
K09+100			1.12	63.00			12.86	63.00	Sr-ToCai
K09+150			1.83	63.00			10.56	63.00	Sr-ToCai
K09+200			3.46	63.00			13.48	63.00	Sr-ToCai
K09+230			2.57	63.00			5.15	63.00	Sr-ToCai
K09+300			1.49	63.00			9.64	63.00	Sr-ToCai
K09+350			1.89	63.00			8.07	63.00	Sr-ToCai
K09+400			2.95	63.00			7.06	63.00	Sr-ToCai
K09+450			1.77	63.00			4.28	63.00	Sr-ToCai
K09+510			2.05	34.00			2.02	63.00	Sr-ToCai
K09+550			1.00	63.00			6.79	63.00	Sr-ToCai
K09+610			2.92	63.00			8.60	63.00	Sr-ToCai
K09+650			3.35	63.00			11.07	63.00	Sr-ToCai
K09+700			2.94	63.00			9.30	63.00	Sr-ToCai
K09+740			1.85	63.00			5.07	63.00	Sr-ToCai
K09+800			1.46	63.00			2.51	63.00	Sr-ToCai
K09+850			1.58	63.00			5.16	63.00	Sr-ToCai
K09+900			1.25	34.00			2.28	63.00	Sr-ToCai
K09+950			1.62	63.00			7.72	63.00	Sr-ToCai
K10+000			1.67	63.00			6.68	63.00	Sr-ToCai
K10+040			0.96	34.00			6.32	63.00	Sr-ToCai
K10+080			1.10	63.00			7.70	63.00	Sr-ToCai
K10+110							2.14	63.00	Sr-ToCai
K10+170			3.06	63.00			9.14	63.00	Sr-ToCai
K10+200			2.44	63.00			10.08	63.00	Sr-ToCai
K10+250			15.94	63.00			7.71	63.00	Sr-ToCai
K10+300			13.61	63.00			3.20	63.00	Sr-ToCai
K10+350			14.14	63.00			2.59	63.00	Sr-ToCai
K10+400			11.20	63.00			4.11	63.00	Sr-ToCai
K10+450			6.22	63.00			3.58	63.00	Sr-ToCai
K10+490			4.69	63.00			1.03	63.00	Sr-ToCai
K10+580			12.41	63.00			2.44	63.00	Sr-ToCai
K10+610			1.71	63.00					Sr-ToCai
K10+650			4.30	63.00			1.56	63.00	Sr-ToCai
K10+750			16.66	63.00			2.57	63.00	Sr-ToCai

K10+790			13.39	63.00			1.81	63.00	Sr-ToCai
K10+850			9.78	63.00			2.37	63.00	Sr-ToCai
K10+900			6.64	63.00			1.66	63.00	Sr-ToCai
K10+960			6.87	63.00			1.53	63.00	Sr-ToCai
K11+000			1.82	63.00			4.58	63.00	Sr-ToCai
K11+050			1.24	63.00			5.25	63.00	Sr-ToCai
K11+100			1.10	63.00			3.57	63.00	Sr-ToCai
K11+140			0.58	63.00			5.68	63.00	Sr-ToCai

Tabla 44. Taludes de corte Tramo 4

Tramo 4									
Abscisa	Carril izquierdo				Carril derecho				Material
	H. Terreno Natural	Angulo TN	H Corte	Angulo Corte	H. Terreno Natural	Angulo TN	H Corte	Angulo Corte	
K00+000	0.42	22.35			1.77	43.83	2.46	63.44	Sr-ToCai
K00+050	1.04	22.99	1.67	63.44	0.66	25.45	1.50	63.44	Sr-ToCai
K00+160			0.53	63.44					Sr-ToCai
K00+200					1.00	31.67			Sr-ToCai
K00+250			2.30	63.44			0.59	63.44	Sr-ToCai
K00+300	0.33	14.54	0.94	63.44	0.35	16.58	1.32	63.44	Sr-ToCai
K00+350	26.96	0.78	0.37	63.44	2.17	50.67	2.14	63.44	Sr-ToCai
K00+400					4.05	45.38	6.47	63.44	Sr-ToCai
K00+450					1.72	59.93	8.06	63.44	Sr-ToCai
K00+500					3.49	38.55	2.23	63.44	Sr-ToCai
K00+530	1.26	46.04	0.92	63.44	46.41	2.08	2.62	63.44	Sr-ToCai
K00+600	2.67	40.47	2.81	63.44			0.43	63.44	Sr-ToCai
K00+650	1.99	30.69	1.97	63.44					Sr-ToCai
K00+700	1.33	28.28	0.67	63.44	39.20	0.82	0.22	33.69	Sr-ToCai
K00+750	1.73	61.45			2.20	62.28	1.30	63.44	Sr-ToCai

Tabla 45. Taludes de corte Tramo 5

Tramo 5					
Abscisa	Carril izquierdo		Carril derecho		Material
	H Corte	Angulo Corte	H Corte	Angulo Corte	
K00+000	0.24	63.44	0.29	63.44	Sr-ToCai
K00+050	0.75	63.44	0.26	63.44	Sr-ToCai
K00+100	0.59	63.44	0.92	63.44	Sr-ToCai
K00+140			0.34	63.44	Sr-ToCai
K00+150			1.88	63.44	Sr-ToCai
K00+200	1.01	63.44	4.05	63.44	Sr-ToCai
K00+230	1.41	63.44	7.54	63.44	Sr-ToCai

K00+240			4.37	63.44	Sr-ToCai
K00+247	1.09	63.44			Sr-ToCai

Tabla 46. Taludes de corte Tramo 6

Tramo 6					
Abscisa	Carril izquierdo		Carril derecho		Material
	H Corte	Angulo Corte	H Corte	Angulo Corte	
K00+000	0.08	63.44	0.22	63.44	Sr-ToCai
K00+050			0.43	63.44	Sr-ToCai
K00+100	0.15	63.44	0.30	63.44	Sr-ToCai
K00+150	0.16	63.44	0.37	63.44	Sr-ToCai
K00+200	0.11	63.44	0.44	63.44	Sr-ToCai
K00+250	0.22	63.44	0.10	63.44	Sr-ToCai
K00+300	0.48	63.44	0.41	63.44	Sr-ToCai
K00+350	0.13	63.44	0.12	63.44	Sr-ToCai
K00+400	1.76	63.44	1.13	63.44	Sr-ToCai
K00+600	0.59	63.44	1.39	63.44	Sr-ToCai
K00+650	0.83	63.44	2.78	63.44	Sr-ToCai
K00+700	0.84	63.44	1.15	63.44	Sr-ToCai
K00+750	2.83	63.44	2.64	63.44	Sr-ToCai
K00+800	1.91	63.44	0.81	63.44	Sr-ToCai
K00+850	2.06	63.44	0.96	63.44	Sr-ToCai
K00+900	8.15	63.44	3.11	63.44	Sr-ToCai
K00+950	2.56	63.44	1.37	63.44	Sr-ToCai
K01+000	1.81	63.44	0.51	63.44	Sr-ToCai
K01+050	2.75	63.44	10.45	63.44	Sr-ToCai
K01+100	1.47	63.44	5.94	63.44	Sr-ToCai
K01+150	2.98	63.44	11.21	63.44	Sr-ToCai
K01+200	0.46	63.44	10.94	63.44	Sr-ToCai
K01+250	1.32	63.44	8.60	63.44	Sr-ToCai
K01+300	4.08	63.44	6.44	63.44	Sr-ToCai
K01+350	1.17	63.44	8.52	63.44	Sr-ToCai
K01+400	5.48	63.44	14.88	63.44	Sr-ToCai
K01+450	7.14	63.44	18.09	63.44	Sr-ToCai
K01+500	0.27	63.44	5.58	63.44	Sr-ToCai
K01+550	0.34	63.44	6.35	63.44	Sr-ToCai
K01+600	4.22	63.44	10.05	63.44	Sr-ToCai
K01+650	2.46	63.44	11.31	63.44	Sr-ToCai
K01+700	3.20	63.44	11.95	63.44	Sr-ToCai
K01+750	2.32	63.44	10.79	63.44	Sr-ToCai
K01+800	1.44	63.44	9.93	63.44	Sr-ToCai
K01+850	3.81	63.44	15.27	63.44	Sr-ToCai

K01+900	2.92	63.44	14.94	63.44	Sr-ToCai
K01+950	0.82	63.44	11.19	63.44	Sr-ToCai
K02+000	2.89	63.44	12.29	63.44	Sr-ToCai
K02+010	0.40	63.44	9.05	63.44	Sr-ToCai

Tabla 47. Taludes de corte Tramo 7

Tramo 7					
Abscisa	Carril izquierdo		Carril derecho		Material
	H Corte	Angulo Corte	H Corte	Angulo Corte	
K00+000	0.73	63		63	Sr-ToCai
K00+050	2.32	63	0.73	63	Sr-ToCai
K00+100	0.39	63	0.31	63	Sr-ToCai
K00+150	4.33	63	5.24	63	Sr-ToCai
K00+200	2.61	63		63	Sr-ToCai
K00+250	0.63	63	4.00	63	Sr-ToCai
K00+340	2.04	63		63	Sr-ToCai
K00+470	0.33	63	5.32	63	Sr-ToCai
K00+520			2.65	63	Sr-ToCai
K00+570	1.89	63	10.46	63	Sr-ToCai
K00+620	2.54	63		63	Sr-ToCai
K00+670	7.00	63	0.40	63	Sr-ToCai
K00+720	8.02	63	1.80	63	Sr-ToCai
K00+790	11.76	63	3.21	63	Sr-ToCai
K00+840	5.55	63	1.49	63	Sr-ToCai
K00+890	8.65	63	1.00	63	Sr-ToCai
K00+940	4.08	63		63	Sr-ToCai
K00+990	7.53	63	4.41	63	Sr-ToCai
K01+040	9.74	63	4.16	63	Sr-ToCai
K01+090	4.23	63		63	Sr-ToCai
K01+140	3.71	63	0.90	63	Sr-ToCai
K01+190	9.01	63		63	Sr-ToCai
K01+240	9.37	63	1.45	63	Sr-ToCai
K01+290	5.63	63		63	Sr-ToCai
K01+340	6.07	63		63	Sr-ToCai
K01+390	4.09	63	0.33	63	Sr-ToCai
K01+440	6.29	63	1.44	63	Sr-ToCai
K01+490	5.64	63		63	Sr-ToCai
K01+540	10.81	63		63	Sr-ToCai
K01+600	4.97	63	0.98	63	Sr-ToCai
K01+650	4.84	63		63	Sr-ToCai
K01+700	5.22	63	0.34	63	Sr-ToCai
K01+750	13.05	63	0.30	63	Sr-ToCai

K01+800	10.10	63	3.47	63	Sr-ToCai
K01+850	11.26	63	2.65	63	Sr-ToCai
K01+900	11.74	63	5.16	63	Sr-ToCai
K01+950	5.43	63	15.69	63	Sr-ToCai
K02+000	2.38	63	15.86	63	Sr-ToCai
K02+050	14.01	63	6.82	63	Sr-ToCai
K02+100	18.06	63	6.66	63	Sr-ToCai

Tabla 48. Taludes de corte Tramo Ventana 2

Ventana 2					
Abscisa	Carril izquierdo		Carril derecho		Material
	H Corte	Angulo Corte	H Corte	Angulo Corte	
K00+000	6.07	63	3.00	63	Sr-ToCai
K00+100	10.50	63	1.40	63	Sr-ToCai
K00+160	13.38	63			Sr-ToCai
K00+210	7.58	63	1.66	63	Sr-ToCai
K00+260	5.80	63	3.83	63	Sr-ToCai
K00+310	7.10	63	4.12	63	Sr-ToCai
K00+370			10.27	63	Sr-ToCai
K00+440	3.38	63	12.64	63	Sr-ToCai
K00+490	2.27	63	11.39	63	Sr-ToCai
K00+540	3.99	63	7.23	63	Sr-ToCai
K00+590	0.59	63	3.55	63	Sr-ToCai
K00+634			1.70	63	Sr-ToCai

Tabla 49. Taludes de corte Pozo de Compuertas Túnel Trasvase

Acceso Pozo de Compuertas Túnel Trasvase					
ABSCISA	Carril izquierdo		Carril derecho		Material
	H Corte	Angulo Corte	H Corte	Angulo Corte	
K00+002	1.66	63	14.51	63	Sr-ToCai
K00+050	0.39	63	9.07	63	Sr-ToCai
K00+100	0.30	63	12.83	63	Sr-ToCai
K00+150	0.49	63	14.11	63	Sr-ToCai
K00+200	0.19	63	6.86	63	Sr-ToCai
K00+240	2.48	63	18.81	63	Sr-ToCai
K00+280	5.23	63	19.18	63	Sr-ToCai
K00+330	2.33	63	11.71	63	Sr-ToCai
K00+400	2.64	63	10.77	63	Sr-ToCai
K00+460	3.15	63	5.35	63	Sr-ToCai
K00+510	1.59	63	6.57	63	Sr-ToCai
K00+560	2.48	63	5.74	63	Sr-ToCai

K00+610	2.96	63	6.38	63	Sr-ToCai
K00+660	0.77	63	4.16	63	Sr-ToCai
K00+710	0.19	63	1.86	63	Sr-ToCai
K00+820	0.42	63			Sr-ToCai

Tabla 50. Taludes de corte Galería De Acceso

Acceso A Portal Entrada Galería de Acceso					
Abscisa	Carril izquierdo		Carril derecho		Material
	H Corte	Angulo Corte	H Corte	Angulo Corte	
K00+005	6.29	63			Sr-ToCai
K00+030	2.05	63			Sr-ToCai
K00+055	2.44	63			Sr-ToCai
K00+080	6.30	63	0.72	63	Sr-ToCai
K00+105	5.90	63	1.43	63	Sr-ToCai
K00+130	7.76	63	0.97	63	Sr-ToCai
K00+155	6.65	63	0.74	63	Sr-ToCai
K00+180	3.90	63	0.21	63	Sr-ToCai
K00+205	6.44	63	1.80	63	Sr-ToCai
K00+230	11.87	63	2.21	63	Sr-ToCai
K00+255	12.75	63	3.28	63	Sr-ToCai
K00+280	3.39	63	0.73	63	Sr-ToCai
K00+305	3.49	63	0.72	63	Sr-ToCai
K00+330	4.61	63			Sr-ToCai
K00+355	3.50	63	0.90	63	Sr-ToCai
K00+390	2.63	63	1.35	63	Sr-ToCai
K00+415	0.55	63	1.09	63	Sr-ToCai
K00+440	0.42	63			Sr-ToCai
K00+487	0.86	63	0.27	63	Sr-ToCai

Tabla 51. Taludes de corte Acceso Ataguía

Acceso Ataguía					
Abscisa	Carril izquierdo		Carril derecho		Material
	H Corte	Angulo Corte	H Corte	Angulo Corte	
K00+040	20.21	63	6.43	63	Sr-ToCai
K00+080	26.91	63	4.68	63	Sr-ToCai
K00+110	17.37	63	3.26	63	Sr-ToCai
K00+160	14.94	63	0.45	63	Sr-ToCai
K00+210	1.19	63	4.85	63	Sr-ToCai
K00+250	9.75	63	6.03	63	Sr-ToCai

Tabla 52. Taludes de corte Acceso Contraatagüa y Vertedero



Acceso a Contraatagüa y Vertedero					
Abscisa	Carril Izquierdo		Carril derecho		Material
	H Corte	Angulo Corte	H Corte	Angulo Corte	
K00+000	8.62	63.44	5.38	63.44	Sr-ToCai
K00+040	4.63	63.44	0.37	63.44	Sr-ToCai
K00+080	13.54	63.44	2.89	63.44	Sr-ToCai
K00+140	7.56	63.44			Sr-ToCai
K00+200	6.67	63.44			Sr-ToCai
K00+250	4.68	63.44			Sr-ToCai
K00+290	6.2	63.44			Sr-ToCai
K00+360	4.36	63.44			Sr-ToCai
K00+400	3.39	63.44	2.01	63.44	Sr-ToCai
K00+460	8.05	63.44	1.58	63.44	Sr-ToCai
K00+490	12.65	63.44	2.1	63.44	Sr-ToCai
K00+640	1.45	63.44	1.1	63.44	Sr-ToCai
K00+740	0.77	63.44	1.56	63.44	Sr-ToCai
K00+800	0.85	63.44	0.73	63.44	Sr-ToCai
K00+910	0.35	63.44			Sr-ToCai
K00+960	5.91	63.44	0.78	63.44	Sr-ToCai
K01+020	7.09	63.44	1.73	63.44	Sr-ToCai
K01+070			1.8	63.44	Sr-ToCai
K01+120	2.46	63.44			Sr-ToCai
K01+150	3	63.44	1.47	63.44	Sr-ToCai
K01+200	1.09	63.44	0.98	63.44	Sr-ToCai
K01+250	1	63.44			Sr-ToCai
K01+300	1.03	63.44	0.62	63.44	Sr-ToCai
K01+350	3.83	63.44	2.27	63.44	Sr-ToCai
K01+400	2.03	63.44			Sr-ToCai
K01+450	7.31	63.44	0.31	63.44	Sr-ToCai
K01+500	5.44	63.44			Sr-ToCai
K01+550	1.63	63.44			Sr-ToCai
K01+850			2.2	63.44	Sr-ToCai
K01+920	2.55	63.44	4.87	63.44	Sr-ToCai
K01+990	6.07	63.44	9.98	63.44	Sr-ToCai
K02+050	1.76	63.44	3.33	63.44	Sr-ToCai
K02+100	1.18	63.44	4.57	63.44	Sr-ToCai
K02+150	1.93	63.44	4.65	63.44	Sr-ToCai
K02+200	2.48	63.44	13.14	63.44	Sr-ToCai
K02+250	2.79	63.44	8.53	63.44	Sr-ToCai



K02+300	2.2	63.44	6.15	63.44	Sr-ToCai
K02+350	5.57	63.44	7.89	63.44	Sr-ToCai
K02+400	3.63	63.44	12.83	63.44	Sr-ToCai
K02+450	4.95	63.44	18.04	63.44	Sr-ToCai
K02+470	2.6	63.44	26.15	63.44	Sr-ToCai
K02+500	2.54	63.44	28	63.44	Sr-ToCai
K02+550	1.8	63.44	5.76	63.44	Sr-ToCai

Tabla 53. Taludes de corte Acceso a Presa

Acceso a Presa					
Abscisa	Carril Izquierdo		Carril derecho		Material
	H Corte	Angulo Corte	H Corte	Angulo Corte	
K00+010	9.33	63	2.44	63	Sr-ToCai
K00+040	14.92	63	0.85	63	Sr-ToCai
K00+080	16.29	63	1.21	63	Sr-ToCai
K00+100	15.94	63	0.99	63	Sr-ToCai
K00+120	12.46	63	1.37	63	Sr-ToCai
K00+160	9.36	63	3.32	63	Sr-ToCai
K00+180	10.91	63	13.88	63	Sr-ToCai
K00+188	16.53	63	17.11	63	Sr-ToCai

Tabla 54. Taludes de corte Acceso Norte



Tramo Norte					
Abscisa	Carril Izquierdo		Carril derecho		Material
	H Corte	Angulo Corte	H Corte	Angulo Corte	
K06+730	1.3	63.43	0.21	63.43	Sr-ToCai
K06+760	2.53	63.43	4.13	63.43	Sr-ToCai
K06+790	2.88	63.43	8.62	63.43	Sr-ToCai
K06+940			0.47	63.43	Sr-ToCai
K06+970	0.48	63.43			Sr-ToCai
K07+000	2.66	63.43	7.66	63.43	Sr-ToCai
K07+030	3.66	63.43	5.49	63.43	Sr-ToCai
K07+060	3.92	63.43	4.8	63.43	Sr-ToCai
K07+080	1.64	63.43	0.54	63.43	Sr-  ToCai

Tabla 55. Taludes de corte Acceso Sur



Tramo Sur					
Abscisa	Carril Izquierdo		Carril derecho		Material
	H Corte	Angulo Corte	H Corte	Angulo Corte	
K00+000	0.76	63.44	0.06	63.44	Sr-ToCai
K00+050	0.83	63.44	0.06	63.44	Sr-ToCai
K00+100	0.59	63.44			Sr-ToCai
K00+150	0.11	63.44	0.7	63.44	Sr-ToCai
K00+340	0.21	63.44			Sr-ToCai
K00+920	3.63	63.44	3.83	63.44	Sr-ToCai
K00+950	4.94	63.44	6.34	63.44	Sr-ToCai
K01+090	2.51	63.44	4.56	63.44	Sr-ToCai
K01+130	6.7	63.44	8.7	63.44	Sr-ToCai
K01+180	11.03	63.44	14.14	63.44	Sr-ToCai
K01+240	12.16	63.44	15.44	63.44	Sr-ToCai
K01+270	12.08	63.44	15.55	63.44	Sr-ToCai
K01+330	11.84	63.44	15.69	63.44	Sr-ToCai
K01+410	14.54	63.44	25.85	63.44	Sr-ToCai
K01+440	17.07	63.44	30.54	63.44	Sr-ToCai
K01+460	19.61	63.44	27.49	63.44	Sr-ToCai
K01+530	21.65	63.44	33.6	63.44	Sr-ToCai
K01+560	20.14	63.44	39.07	63.44	Sr-ToCai
K01+580	27.23	63.44	37.65	63.44	Sr-ToCai
K01+630	33.32	63.44	27.72	63.44	Sr-ToCai
K01+690	21.96	63.44	29.57	63.44	Sr-ToCai
K01+700	20.45	63.44	29.08	63.44	Sr-ToCai
K01+740	15.82	63.44	23.57	63.44	Sr-ToCai
K01+780	14.23	63.44	18.1	63.44	Sr-ToCai
K01+940			1.14	63.44	Sr-ToCai
K02+060			2.25	63.44	Sr-ToCai
K02+110	1.37	63.44	2.94	63.44	Sr-ToCai
K02+180	1.76	63.44	4.27	63.44	Sr-ToCai
K02+240	3.38	63.44	4.27	63.44	Sr-ToCai
K02+300	8.1	63.44	15.74	63.44	Sr-ToCai
K02+330	9.04	63.44	16.4	63.44	Sr-ToCai
K02+350	7.44	63.44	13.49	63.44	Sr-ToCai
K02+400	1.83	63.44	2.67	63.44	Sr-ToCai
K02+460	0.35	63.44	1.98	63.44	Sr-ToCai
K02+510	0.03	63.44	1.75	63.44	Sr-ToCai
K02+660	10.98	63.44	11.93	63.44	Sr-ToCai
K02+670	9.62	63.44	10.85	63.44	Sr-ToCai
K02+710	4.09	63.44	6.97	63.44	Sr-ToCai

K02+800			0.95	63.44	Sr-ToCai
K02+870	0.87	63.44	7.43	63.44	Sr-ToCai
K02+890	2.21	63.44	7.72	63.44	Sr-ToCai
K02+990			3.36	63.44	Sr-ToCai
K03+020	0.66	63.44	5.63	63.44	Sr-ToCai
K03+160	4.8	63.44	24.22	63.44	Sr-ToCai
K03+200	9.62	63.44	25.16	63.44	Sr-ToCai
K03+240	12.97	63.44	27.86	63.44	Sr-ToCai
K03+270	18.42	63.44	24.72	63.44	Sr-ToCai
K03+310	15.61	63.44	14.28	63.44	Sr-ToCai
K03+360	7.64	63.44	8.49	63.44	Sr-ToCai
K03+430	5.59	63.44	9.2	63.44	Sr-ToCai
K03+500	6.2	63.44	8.64	63.44	Sr-ToCai
K03+540	7.31	63.44	9.87	63.44	Sr-ToCai
K03+700	1.58	63.44			Sr-ToCai
K03+770	2.92	63.44	5.35	63.44	Sr-ToCai
K03+790	3.98	63.44	6.53	63.44	Sr-ToCai
K03+910	0.93	63.44	2.27	63.44	Sr-ToCai
K04+100	3.907	63.44	0.55	63.44	Sr-ToCai
K04+280	2.26	63.44	0.9	63.44	Sr-ToCai
K04+480	6.52	63.44	7.28	63.44	Sr-ToCai
K04+530	2.68	63.44	3.28	63.44	Sr-ToCai
K04+600	0.9	63.44	2.48	63.44	Sr-ToCai
K04+700	3.57	63.44	2.25	63.44	Sr-ToCai
K04+850	2.37	63.44	2.05	63.44	Sr-ToCai
K04+910	2.48	63.44	2.32	63.44	Sr-ToCai
K04+950	0.78	63.44	4.04	63.44	Sr-ToCai
K05+030	0.1	63.44			Sr-ToCai
K05+070	5.41	63.44	1.24	63.44	Sr-ToCai
K05+100			0.96	63.44	Sr-ToCai
K05+250	4.78	63.44	8.8	63.44	Sr-ToCai
K05+280	5.18	63.44	5.33	63.44	Sr-ToCai
K05+350	0.84	63.44	0.45	63.44	Sr-ToCai
K05+510	2.87	63.44	2.83	63.44	Sr-ToCai
K05+570	0.38	63.44			Sr-ToCai
K05+630	2.44	63.44			Sr-ToCai
K05+640	2.09	63.44	0.01	63.44	Sr-ToCai

Tabla 56. Taludes de corte Acceso Portal Salida Túnel



Acceso Portal Salida Túnel			
Abscisa	Carril Izquierdo	Carril derecho	Material

	H Corte	Angulo Corte	H Corte	Angulo Corte	
K00+000	0.52	63.44			Sr-Tmpl-va
K00+020	11.73	63.44	3.96	63.44	Sr-Tmpl-va
K00+100	2.88	63.44			Sr-Tmpl-va
K00+160	4.3	63.44			Sr-Tmpl-va
K00+230	19.43	63.44	1.5	63.44	Sr-Tmpl-va
K00+240	18.88	63.44	0.04	63.44	Sr-Tmpl-va
K00+300	9.88	63.44			Sr-Tmpl-va
K00+410	16.66	63.44	3.53	63.44	Sr-Tmpl-va
K00+440	14.04	63.44	0.07	63.44	Sr-Tmpl-va
K00+500	16	63.44	4.15	63.44	Sr-Tmpl-va
K00+540	13.88	63.44	0.46	63.44	Sr-Tmpl-va
K00+610	3.5	63.44			Sr-Tmpl-va
K00+680	7.96	63.44	2.53	63.44	Sr-Tmpl-va
K00+730	4.77	63.44			Sr-Tmpl-va
K00+830	9.14	63.44	1.84	63.44	Sr-Tmpl-va
K00+900	5.75	63.44			Sr-Tmpl-va
K00+950	1.54	63.44			Sr-Tmpl-va
K00+980	0.77	63.44			Sr-Tmpl-va
K01+020	12.89	63.44	1	63.44	Sr-Tmpl-va
K01+100	0.69	63.44			Sr-Tmpl-va
K01+160	12.44	63.44	0.32	63.44	Sr-Tmpl-va
K01+220	9.98	63.44	1.85	63.44	Sr-Tmpl-va
K01+280	5.63	63.44			Sr-Tmpl-va
K01+370	9.75	63.44	1.36	63.44	Sr-Tmpl-va
K01+410	4.58	63.44	0.07	63.44	Sr-Tmpl-va
K01+440	7.32	63.44	0.48	63.44	Sr-Tmpl-va
K01+510	6.74	63.44	3.19	63.44	Sr-Tmpl-va
K01+570	5.04	63.44	0.43	63.44	Sr-Tmpl-va
K01+660	6.68	63.44	0.13	63.44	Sr-Tmpl-va
K01+680	5	63.44			Sr-Tmpl-va
K01+750	2.89	63.44			Sr-Tmpl-va
K01+770	6.51	63.44	0.53	63.44	Sr-Tmpl-va
K01+800	3.04	63.44			Sr-Tmpl-va

10.1.1.1. Análisis de Estabilidad

A partir de los cortes proyectados sobre la vía para los acceso al proyecto multipropósito Río Indio (Tabla 41 a Tabla 56) y la caracterización de los materiales realizada en el Numeral 8.1.1.6., se presentan a continuación los análisis de estabilidad de los cortes para cada uno de los tramos.

10.1.1.1.1. Tramo 1 (vía de uso Permanente)

Condición actual

Para el análisis de esta zona se construyeron los modelos geológico - geotécnicos de la secciones PF-T1-2+270 y PF-T1-2+890 que se presentan en la Figura 74. y en la Figura 75. respectivamente, en las cuales se muestra el análisis de estabilidad para la condición estática de los taludes actuales, teniendo en cuenta los parámetros definidos en la Tabla 22. y Tabla 23. El modelo se realizó con base en la información litológica y estructural obtenida en las observaciones de campo.

Para la elaboración del perfil PF-T1-2+270 se tuvo en cuenta la línea sísmica IND-T1P-LRS-06 y la perforación IND-T1P-BH-05, la cual se proyecta perpendicularmente a la línea de perfil, presenta una profundidad de 6.10 m de depósito aluvial seguido de areniscas tobáceas de la formación caimito (ToCai). Esta información fue complementada con observaciones de campo.

El perfil PF-T1-2+270 se tuvo en cuenta la línea sísmica IND-T1-LRS-01 y la perforación IND-T1-BH-09, la cual se ejecutó en el sitio del corte, presenta una profundidad de 4.40 m de suelo residual arcilloso con fragmento de roca muy angulares que indican influencia coluvial seguido de areniscas tobáceas de la formación caimito (ToCai). Esta información fue complementada con observaciones de campo.

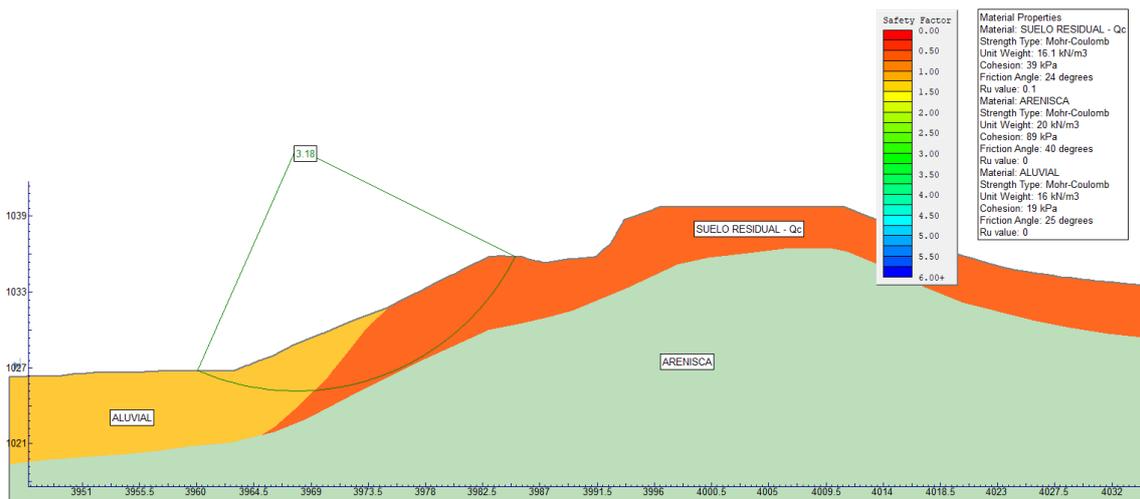


Figura 74. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-T1-2+270

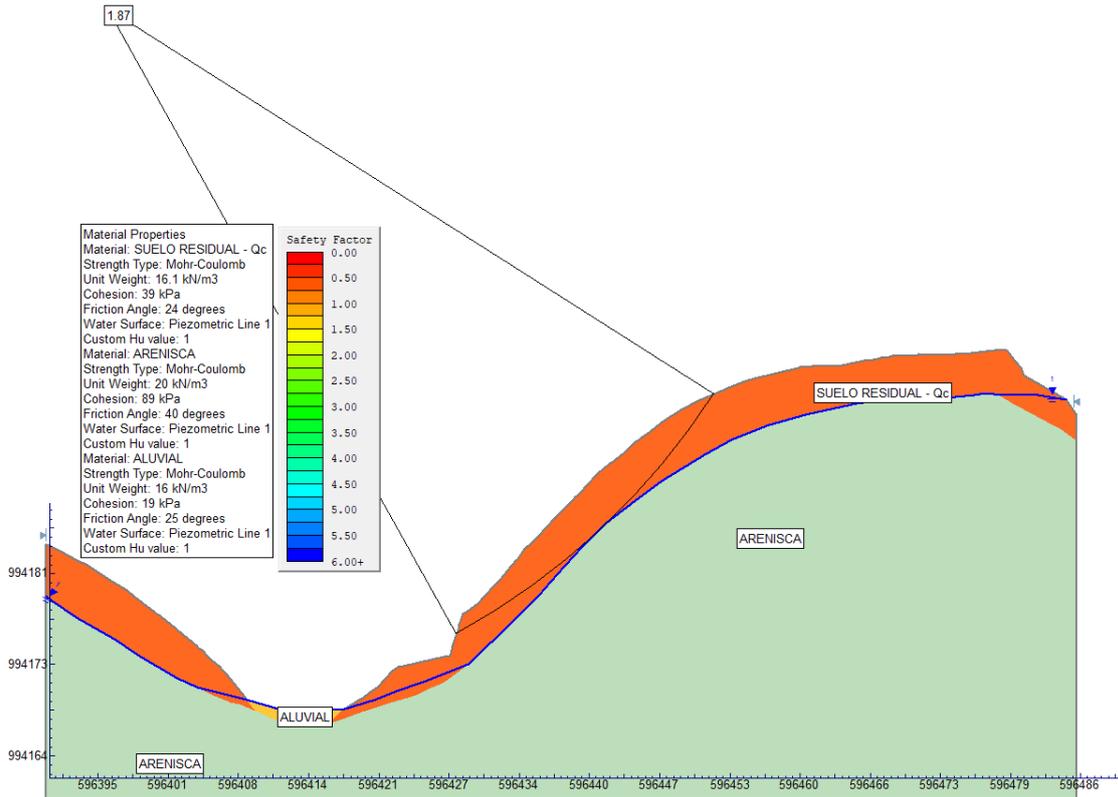


Figura 75. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-T1-2+890

Propuesta de corte

En la Figura 76 y Figura 77. se presentan los resultados del análisis de estabilidad del corte propuesto para la condición estática en la secciones PF-T1-2+270 y PF-T1-2+890, teniendo en cuenta los parámetros definidos en la Tabla 22 y Tabla 23. Se recomienda una configuración geométrica de taludes de 10 m de altura con una inclinación de 0.5H : 1.0V (63°) y bermas intermedias de 3.00 m. Se recomienda implementar una protección con un manto permanente para el control de erosión Landlok 300 o equivalente, un geotextil de filtración y una malla metálica en áreas expuestas de suelos residuales con influencia coluvial y en áreas donde se genere la exposición de areniscas y Lodolitas tobáceas meteorizadas de la Formación Caimito (ToCai) se plantea la conformación de una protección superficial conformada por concreto lanzado con un espesor de 0.1 m y malla electro soldada, tal como se especifica en el numeral 10.1.1.2. Los resultados de los análisis con esta configuración se muestran en la Tabla 57 y Tabla 58. incluyendo los factores de seguridad estático, pseudo-estático y lluvia extrema con un Ru = 0.2. Los análisis en la condición pseudo-estática se presentan en el Anexo 19.

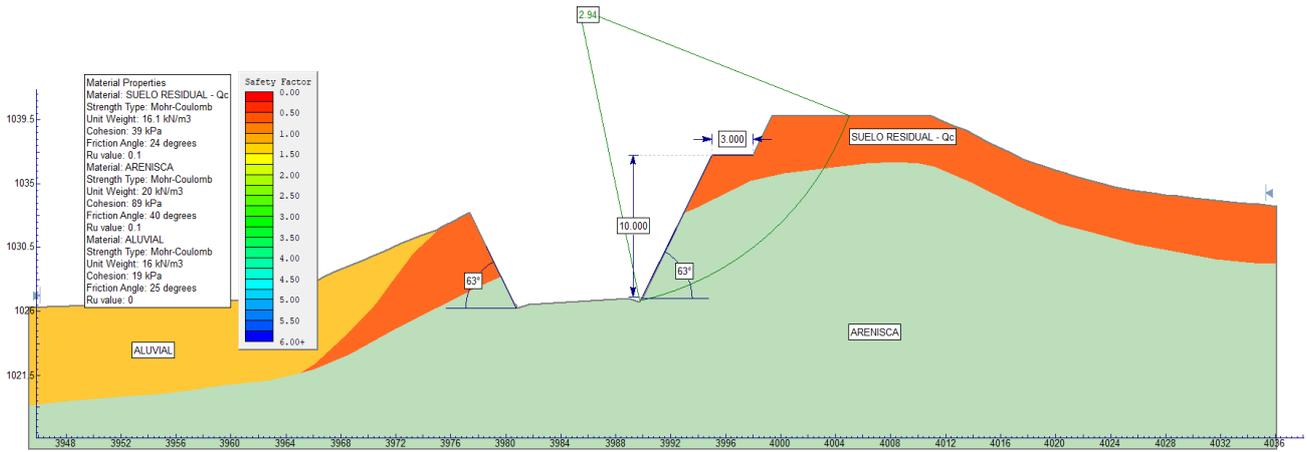


Figura 76. Análisis de estabilidad estático. Corte propuesto. Sección PF-T1-2+270

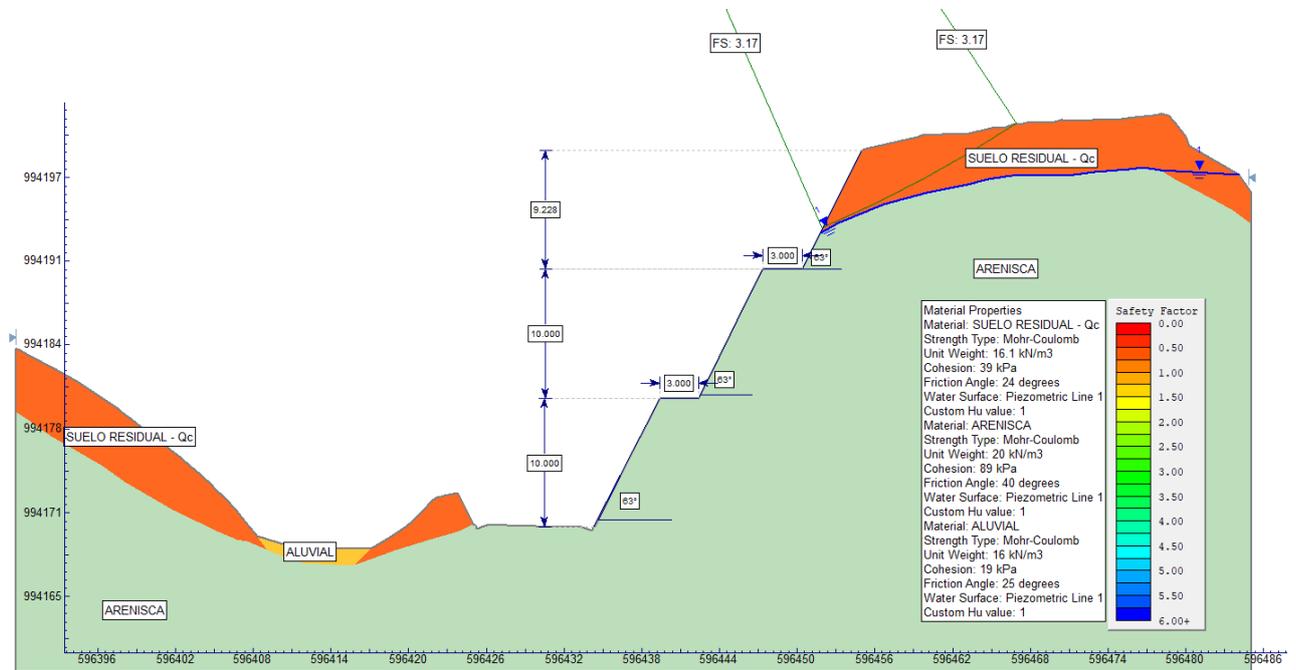


Figura 77. Análisis de estabilidad estático. Corte propuesto. Sección PF-T1-2+890

Tabla 57. Factores de seguridad del talud analizado. Sección PF-T1-2+270

Perfil de Análisis	FS. Condición Estática	FS. Condición Pseudo-estático	FS. Condición Iluvia extrema Ru = 0.20
Condición Actual	3.18	2.46	2.99
Diseño propuesto	2.94	2.70	2.76

Tabla 58. Factores de seguridad del talud analizado. Sección PF-T1-2+890

Perfil de Análisis	FS. Condición Estática	FS. Condición Pseudo-estático	FS. Condición Iluvia extrema Ru = 0.20
Condición Actual	1.87	1.49	1.69
Diseño propuesto	3.17	2.58	1.69

10.1.1.1.2. Tramo 2 (vía de uso Temporal)

Condición actual

Para el análisis de los cortes del Tramo 2 se consideró la sección PF-T2-1+630 y PF-T2-3+130, que de acuerdo al perfil estratigráfico interviene predominantemente suelos residuales arcillosos originados a partir de las arenisca tobáceas de la Formación Caimito con influencia coluvial, hacia la sub-base de la vía se encuentra la Formación rocosa Caimito con estratificación Plano Paralela (horizontal). El modelo geológico - geotécnico y las características estratigráficas de este perfil se construyeron con base en las observaciones, los datos estructurales tomados en campo, las perforaciones y líneas sísmicas más cercanas.

En la Figura 78 y Figura 79, se muestra el resultado del análisis de estabilidad para la condición estática del talud con su configuración actual de la sección PF-T2-1+630 y PF-T2-1+630. En el Anexo 19 se presenta el análisis estático y pseudo-estático de la sección generada para esta zona.

La sección PF-T2-1+630 y PF-T2-3+130 se realizaron por observación del terreno en campo, donde se estimó el espesor del suelo residual de acuerdo con lo observado y registros de perforación cercanos al sector y apique realizados. La secuencia litológica de la sección se dibuja de acuerdo con las secuencias identificadas en secciones cercanas, sus espesores son estimados ya que no se cuenta con registro de subsuelo en el sector.

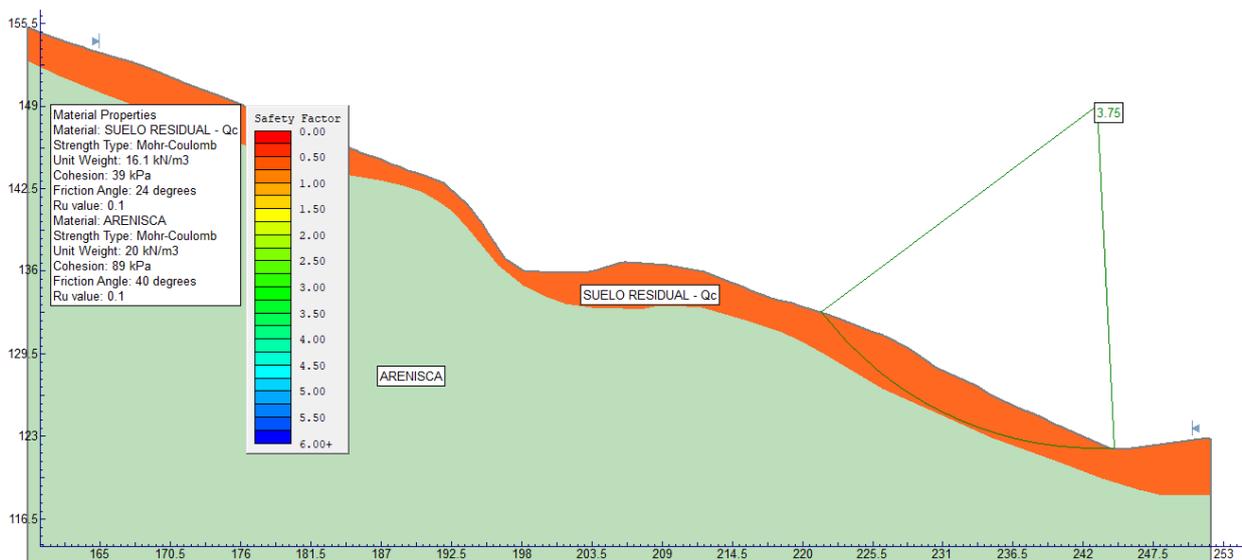


Figura 78. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual - Sección PF-T2-1+630

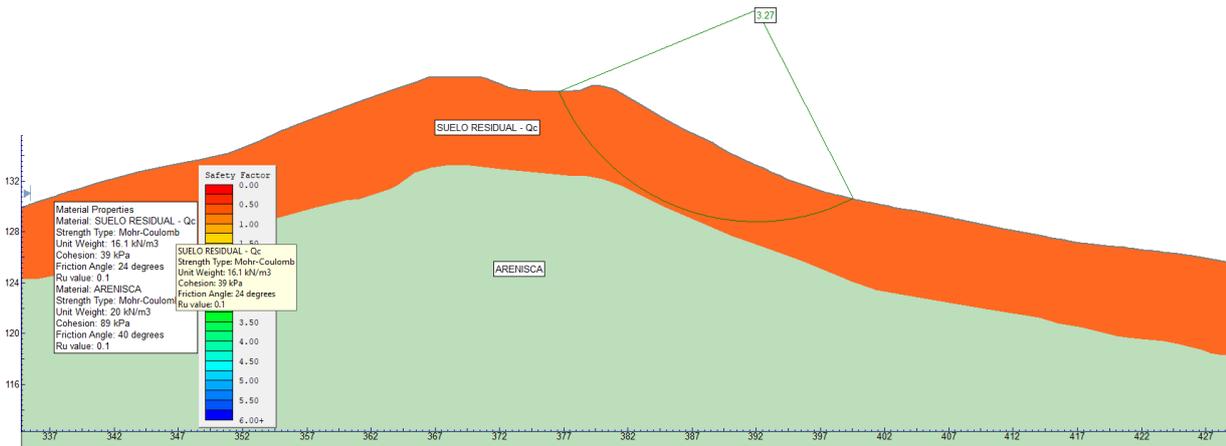


Figura 79. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual - Sección PF-T2-3+130

Propuesta de corte

En la Figura 80 y Figura 81 se presenta el resultado del análisis de estabilidad para la condición estática del corte propuesto. La excavación está conformada por taludes de 10 m de altura, con una inclinación 0,5H : 1,0V (63°) y bermas intermedias de 3.00 m. Se recomienda implementar una protección con un manto permanente para el control de erosión Landlok 300 o equivalente, un geotextil de filtración y una malla metálica en áreas expuestas de suelos residuales con influencia coluvial y en áreas donde se genere la exposición de areniscas y Lodolitas tobáceas meteorizadas de la Formación Caimito (ToCai) se plantea la conformación de una protección superficial conformada por concreto lanzado con un espesor de 0,1 m y malla electro soldada, tal como se especifica en el numeral 10.1.1.2. Los análisis pseudoestáticos se presentan en el Anexo 19 y los resultados del análisis con esta configuración se muestra en la Tabla 59 y Tabla 60. incluyendo lluvia extrema con un Ru = 0.20. Los análisis en la condición pseudo-estática se presentan en el Anexo 19.

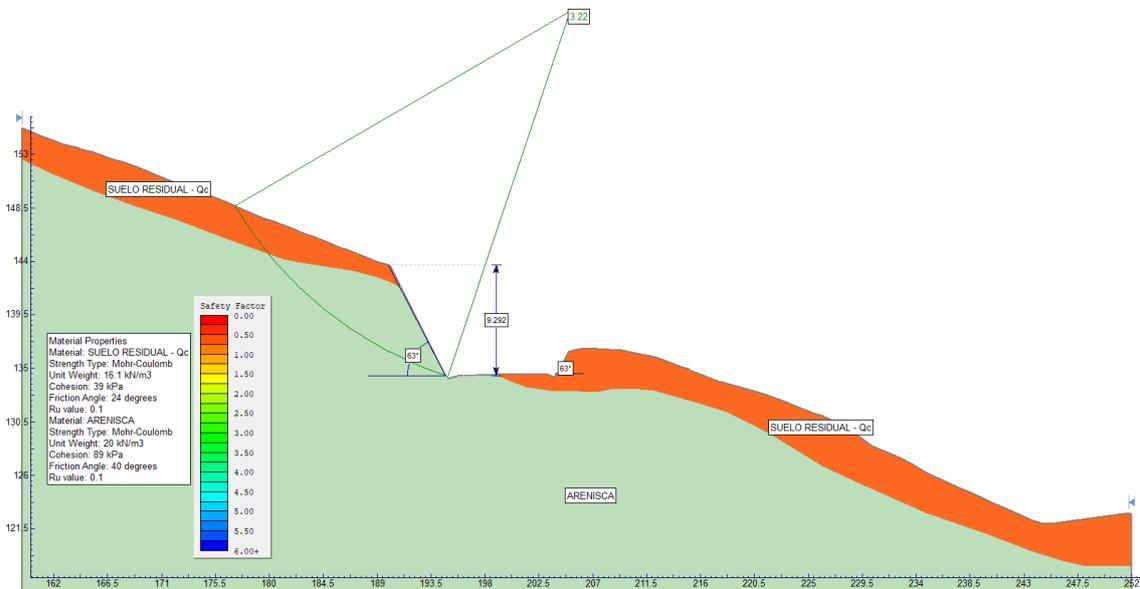


Figura 80. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto - Sección PF-T2-1+630

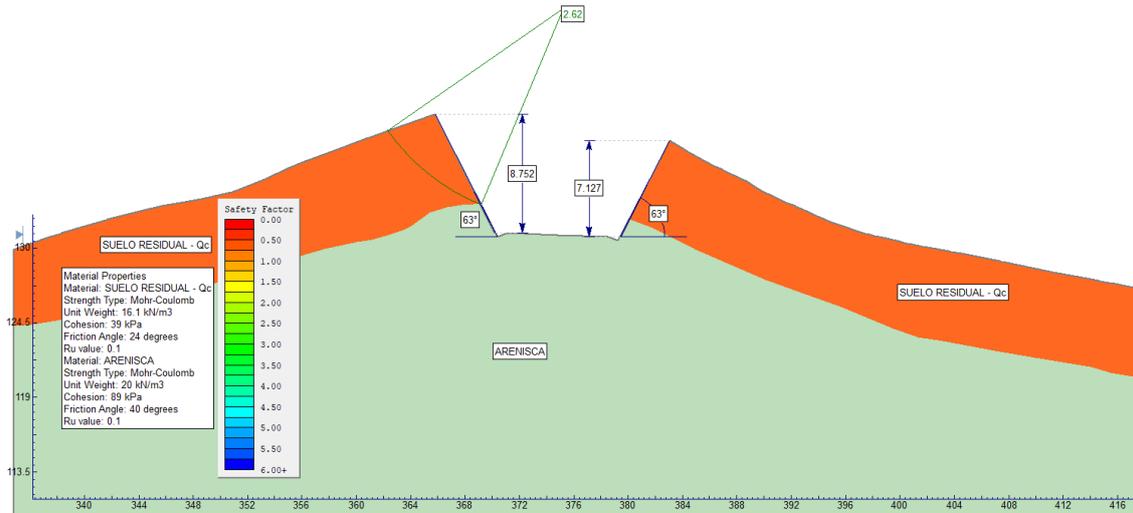


Figura 81. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto - Sección PF-T2-3+130

Tabla 59. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-T2-1+630

Perfil de Análisis	FS. Condición Estática	FS. Condición Pseudo-estático	FS. Condición lluvia extrema Ru = 0.20
Condición Actual	3.75	2.89	3.48
Diseño propuesto	3.22	2.76	3.03

Tabla 60. Factores de seguridad del talud analizado. Sección PF-T2-3+130

Perfil de Análisis	FS. Condición Estática	FS. Condición Pseudo-estático	FS. Condición lluvia extrema Ru = 0.20
Condición Actual	3.27	2.55	3.11
Diseño propuesto	2.62	2.46	2.53

10.1.1.1.3. Tramo 3 (vía de uso Permanente)

Condición actual

Para el análisis de los cortes del Tramo 3 se consideró la sección crítica PF-T3-7+350, PF-T3-10+250 y PF-T3-10+750 la cual está comprendida predominantemente por suelos residuales arcillosos originados a partir de las arenisca tobáceas de la Formación Caimito con influencia coluvial, hacia la sub-base de la vía se encuentra la Formación rocosa Caimito con estratificación Plano Paralela (horizontal). El modelo geológico - geotécnico y las características estratigráficas de los perfiles se construyeron con base en las observaciones y los datos estructurales tomados en campo y las perforaciones IND-T3-BH-02, IND-T3P-BH-02 y MD-BH-26. De la Figura 82 a la Figura 84. se muestran los resultados de los análisis de estabilidad para la condición estática del talud con su configuración actual, teniendo en cuenta los parámetros definidos en la Tabla 22. y la Tabla 23.

Para la elaboración del perfil PF-T3-7+350 se tiene en cuenta la información suministrada en la perforación IND-T3-BH-02, en donde se tiene un depósito de suelos residual con presencia coluvial (Qc) de 6,80 m aproximadamente, seguido de arenisca Tobaceas de la Formación Caimito, esta información es corroborada con información tomada en los reconocimientos de campo

La sección PF-T3-10+250 se realizó con observación del terreno en campo, donde se estimó el espesor del suelo residual de acuerdo con lo observado en terreno y registros de perforación

cercanos al sector y apique realizados. La secuencia litológica de la sección se dibuja de acuerdo con las secuencias identificadas en secciones cercanas, sus espesores son estimados ya que no se cuenta con registro de subsuelo en el sector.

La sección PF-T3-10+750 se realizó con observación del terreno en campo y con ayuda de la línea sísmica IND-T3-LRS-15 donde se estimó el espesor del suelo residual de acuerdo con lo observado en terreno y apiques realizados. La secuencia litológica de la sección se dibuja de acuerdo con las secuencias identificadas en secciones cercanas, sus espesores son estimados ya que no se cuenta con registro de subsuelo en el sector.

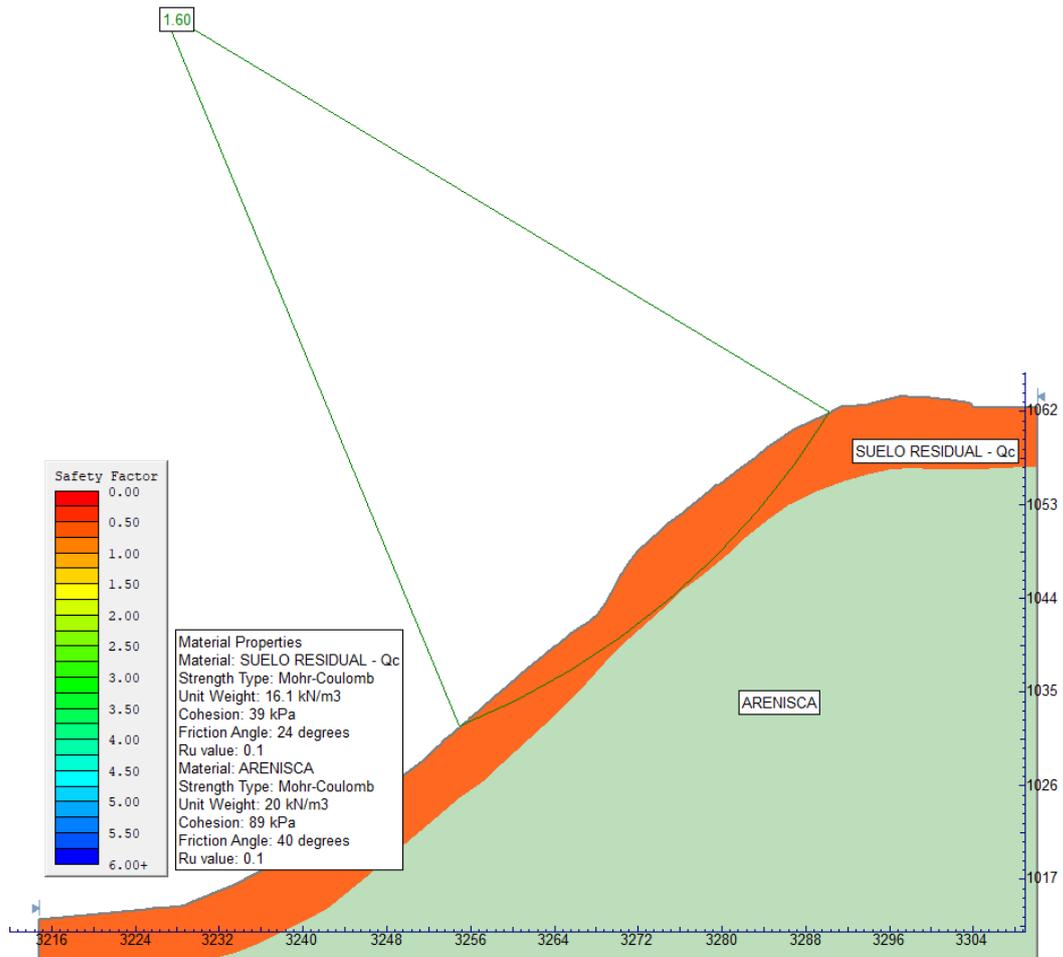


Figura 82. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-T3-7+350

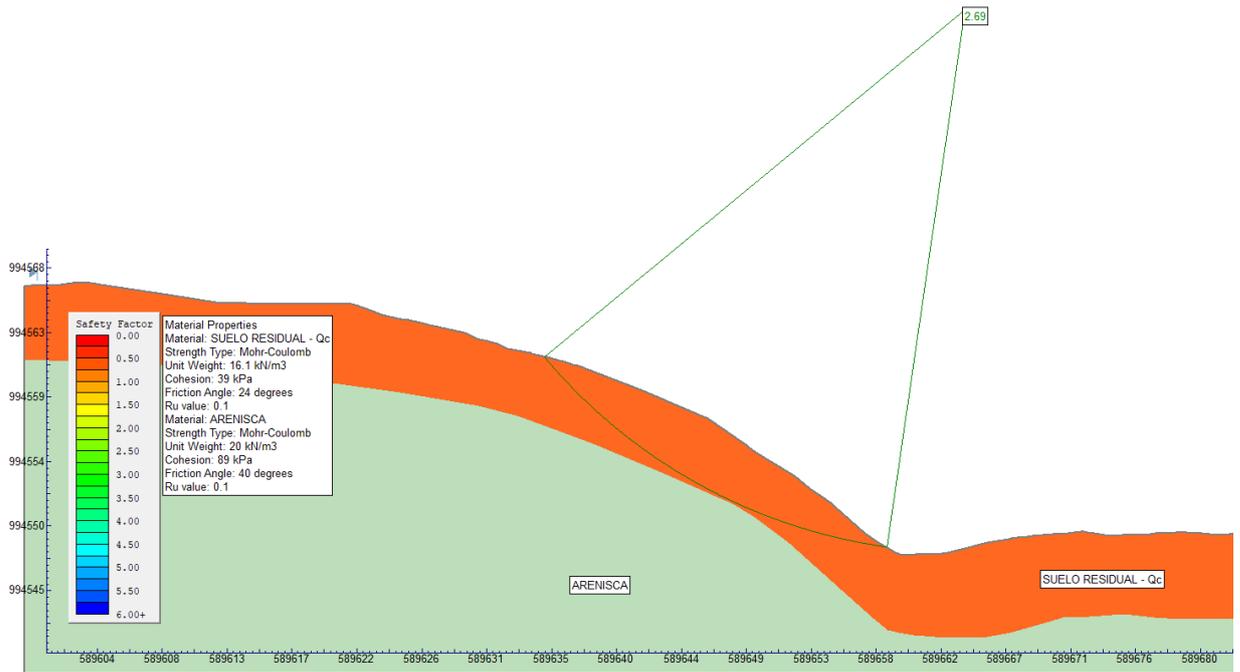


Figura 83. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-T3-10+250

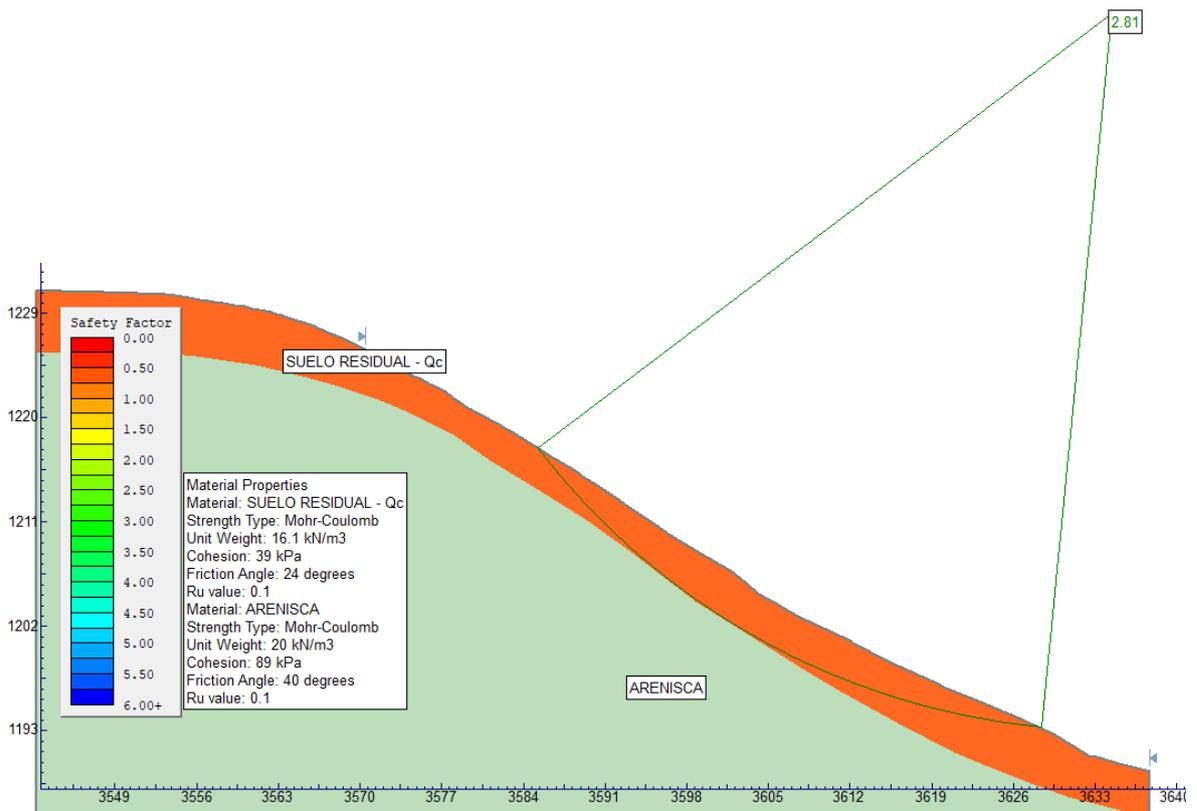
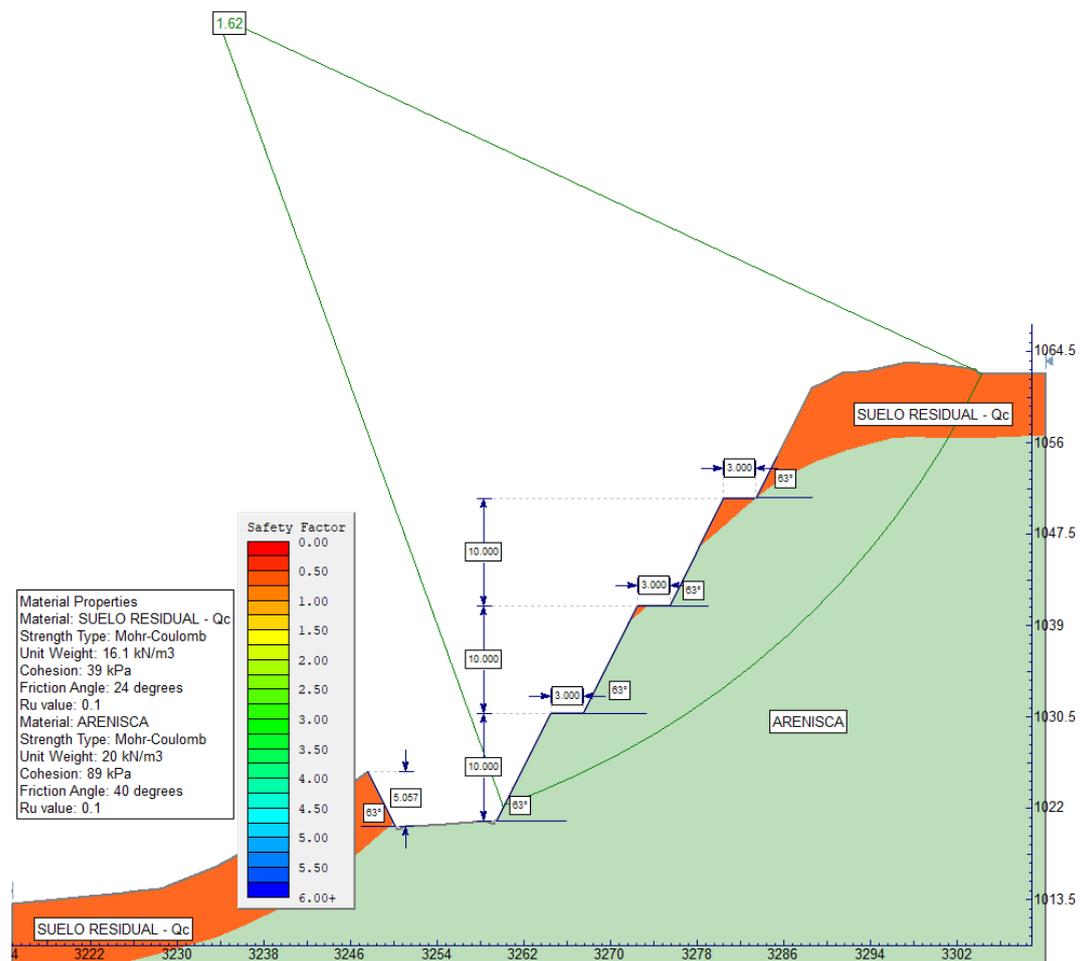


Figura 84. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-T3-10+750

Propuesta de corte

De la Figura 85 a la Figura 87, se presentan los resultados de los análisis de estabilidad para la condición estática del corte propuesto, teniendo en cuenta los parámetros definidos en la Tabla 22 y Tabla 23. La excavación está conformada por taludes de 10.00 m de altura, con una inclinación 0.5H : 1.0V (63°) y bermas intermedias de 3.00 m. Se recomienda implementar una protección con un manto permanente para el control de erosión Landlok 300 o equivalente, un geotextil de filtración y una malla metálica en áreas expuestas de suelos residuales con influencia coluvial y en áreas donde se genere la exposición de areniscas y Lodolitas tobáceas meteorizadas de la Formación Caimito (ToCai) se plantea la conformación de una protección superficial conformada por concreto lanzado con un espesor de 0.1 m y malla electro soldada, tal como se especifica en el numeral 10.1.1.2. Los análisis pseudo-estáticos se presentan en el Anexo 19 y los resultados de los análisis con esta configuración se muestran de la Tabla 61 a la Tabla 63, para las secciones analizadas incluyendo lluvia extrema con un $R_u = 0.20$.



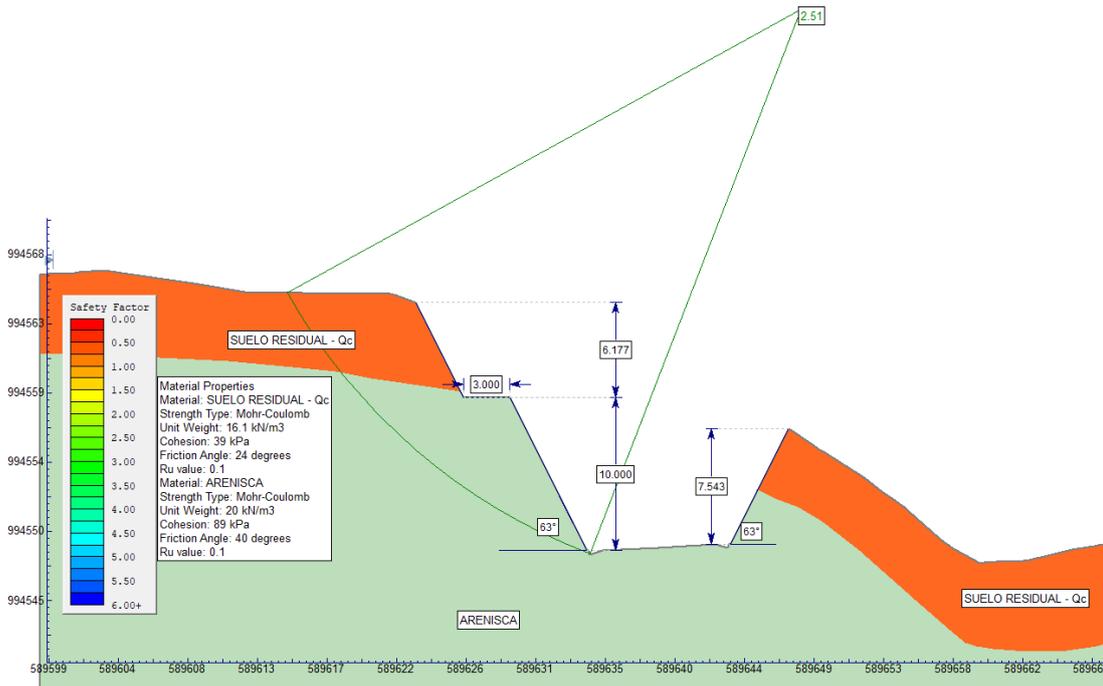


Figura 86. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-T3-10+250

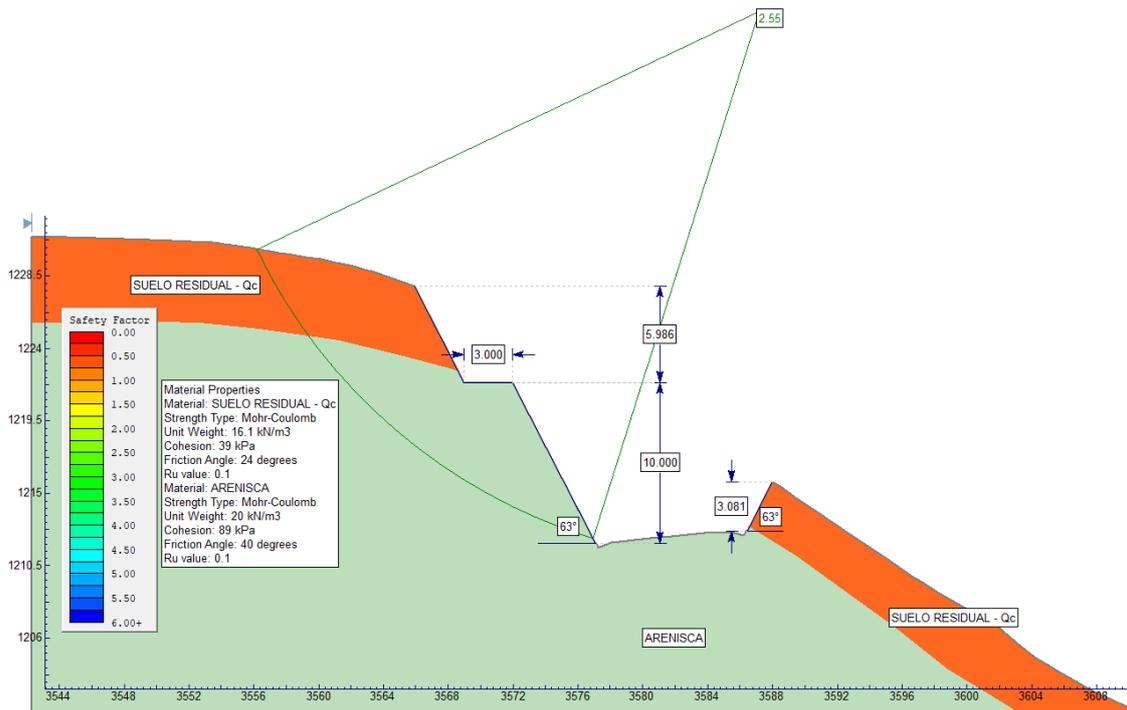


Figura 87. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-T3-10+750

Tabla 61. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-T3-7+350

Perfil de Análisis	FS. Condición Estática	FS. Condición Pseudo-estático	FS. Condición lluvia extrema Ru = 0.20
Condición Actual	1.60	1.38	1.51
Diseño propuesto	1.62	1.39	1.44

Tabla 62. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-T3-10+250

Perfil de Análisis	FS. Condición Estática	FS. Condición Pseudo-estático	FS. Condición lluvia extrema Ru = 0.20
Condición Actual	2.69	2.20	2.58
Diseño propuesto	2.51	2.17	2.34

Tabla 63. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-T3-10+750

Perfil de Análisis	FS. Condición Estática	FS. Condición Pseudo-estático	FS. Condición lluvia extrema Ru = 0.20
Condición Actual	2.81	2.30	2.64
Diseño propuesto	2.55	2.21	2.37

10.1.1.1.4. Tramo 4 (vía de uso Permanente)

Condición actual

Para el análisis de los cortes del Tramo 4 se consideraron las secciones críticas PF-T4-0+400 y PF-T4-0+450, las cuales permiten identificar los suelos residuales arcillosos originados a partir de las arenisca tobáceas de la Formación Caimito con influencia coluvial. Los modelos geológico - geotécnicos y las características estratigráficas de estos perfiles se construyeron con base en las observaciones y los datos estructurales tomados en campo. En la Figura 88 y en la Figura 89 se muestran los resultados de los análisis de estabilidad para la condición estática del talud con su configuración actual, teniendo en cuenta los parámetros definidos en la Tabla 22 y Tabla 23.

Para la elaboración del perfil PF-T4-0+400 Y PF-T4-0+450 se tiene en cuenta la información suministrada en la perforación IND-T4-BH-13 (proyectada), en donde se tiene un depósito de suelos residual con presencia coluvial (Qc) de 10.20 m aproximadamente, esta información es corroborada con información tomada en los reconocimientos de campo.

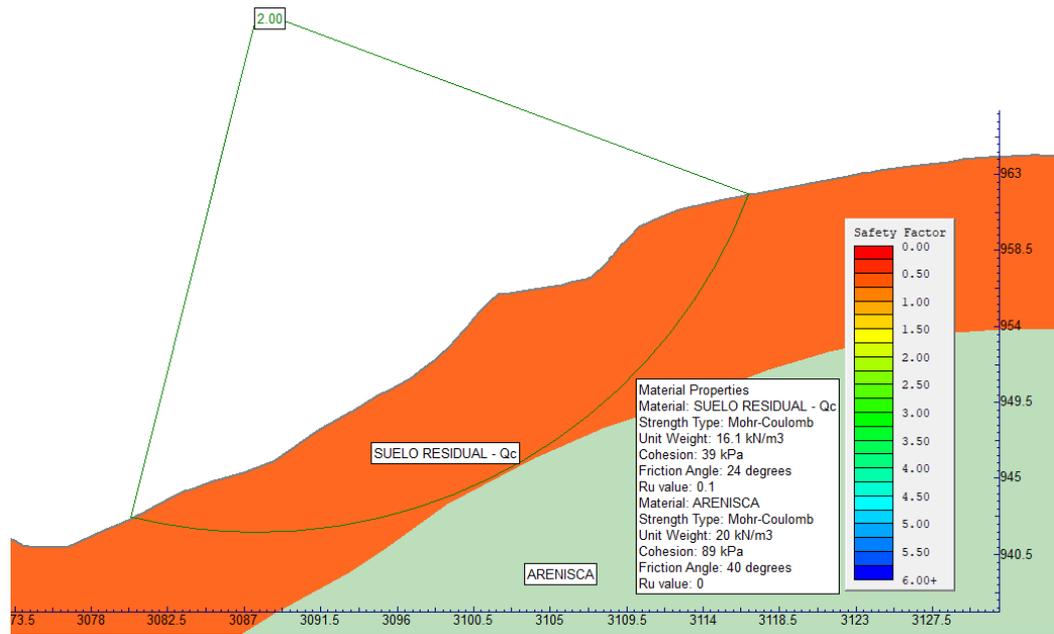


Figura 88. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-T4-0+400

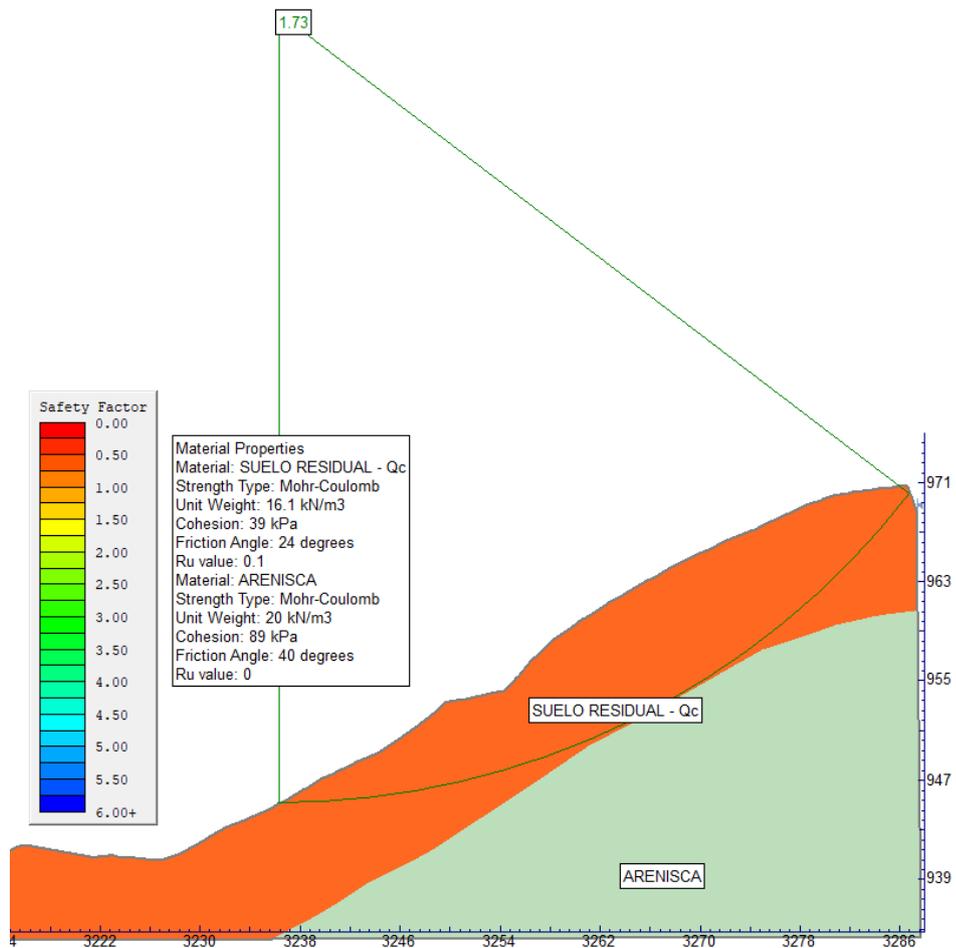


Figura 89. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-T4-0+450

Propuesta de corte

Para la sección PF-T4-0+400 y PF-T4-0+450, en la Figura 90 y Figura 91 se presentan los resultados de los análisis de estabilidad para la condición estática del corte propuesto, considerando los parámetros definidos en la Tabla 22. y Tabla 23 La excavación está conformada por taludes de 10.00 m de altura, con una inclinación 0.5H : 1.0V (63°) y bermas intermedias de 3.00 m. Se recomienda implementar una protección con un manto permanente para el control de erosión Landlok 300 o equivalente, un geotextil de filtración y una malla metálica en áreas expuestas de suelos residuales con influencia coluvial y en áreas donde se genere la exposición de areniscas y Lodolitas tobáceas meteorizadas de la Formación Caimito (ToCai) se plantea la conformación de una protección superficial conformada por concreto lanzado con un espesor de 0.1 m y malla electro soldada, tal como se especifica en el numeral 10.1.1.2. Los análisis pseudoestáticos se presentan en el Anexo 19 y los resultados de los análisis con esta configuración se muestran en la Tabla 64 y la Tabla 65 para las secciones analizadas incluyendo lluvia extrema con un $R_u = 0.20$.

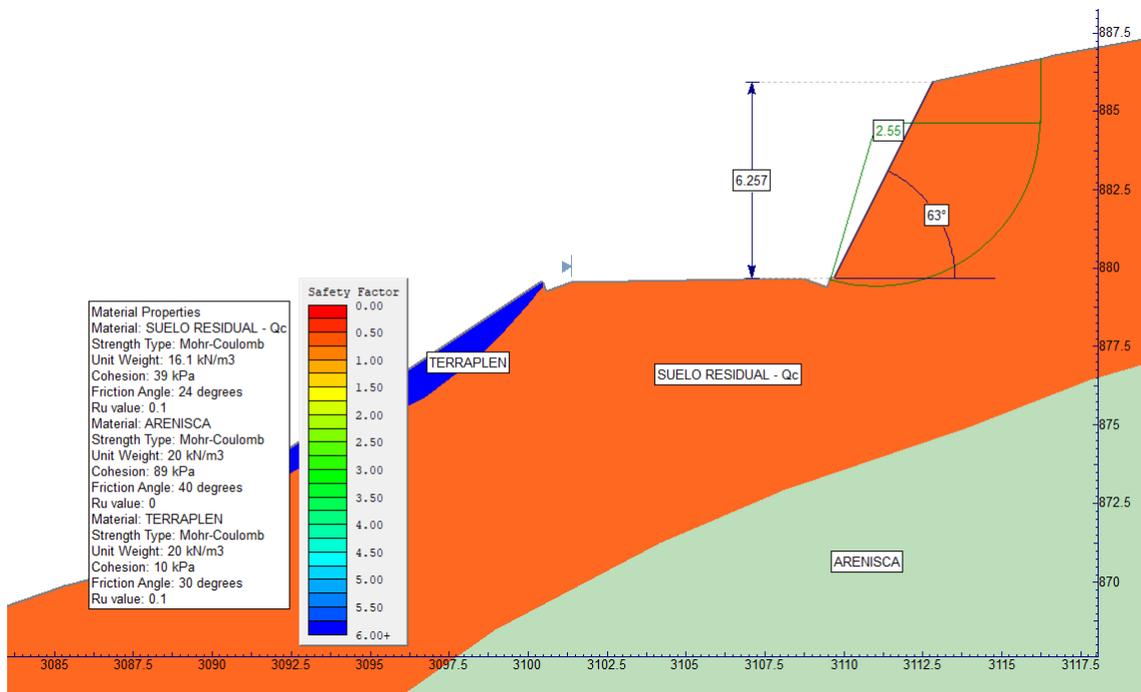


Figura 90. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-T4-0+400

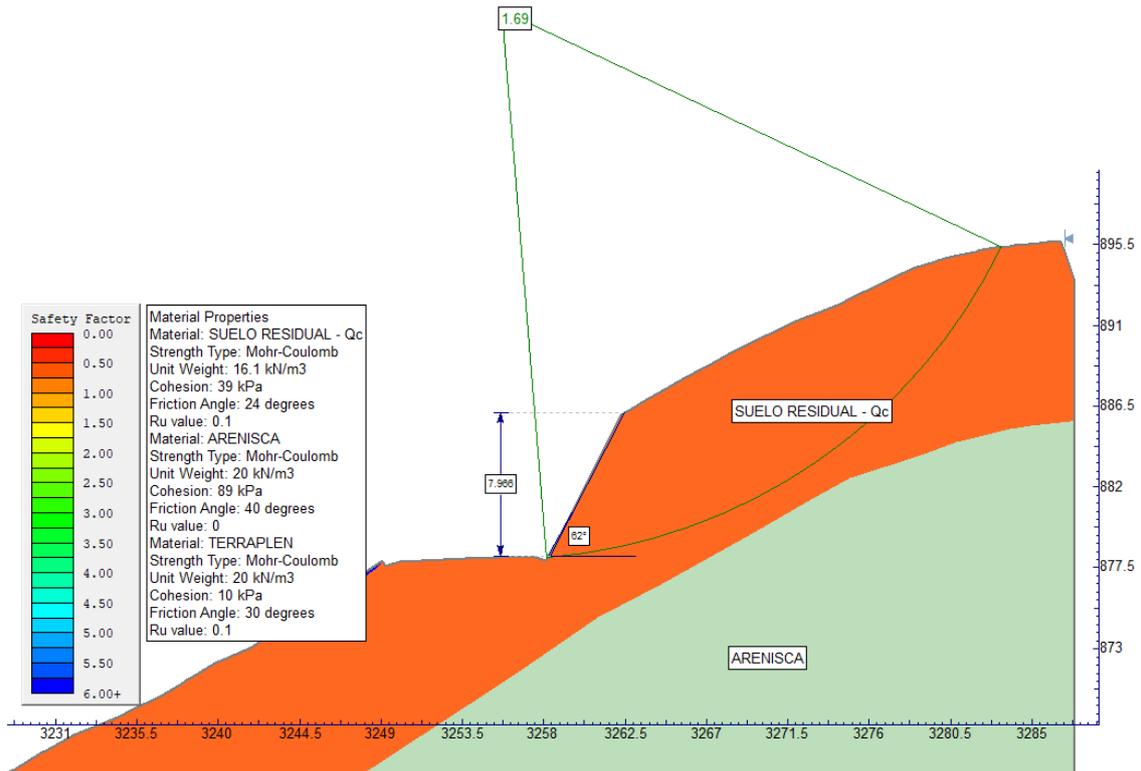


Figura 91. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-T4-0+450

Tabla 64. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-T4-0+400

Perfil de Análisis	FS. Condición Estática	FS. Condición Pseudo-estático	FS. Condición lluvia extrema Ru = 0.20
Condición Actual	2.00	1.61	1.87
Diseño propuesto	2.55	2.06	2.41

Tabla 65. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-T4-0+450

Perfil de Análisis	FS. Condición Estática	FS. Condición Pseudo-estático	FS. Condición lluvia extrema Ru = 0.20
Condición Actual	1.73	1.40	1.62
Diseño propuesto	1.69	1.45	1.60

10.1.1.1.5. Tramo 5 (vía de uso Temporal)

Condición actual

Para el análisis de los cortes del Tramo 5 se consideró la sección crítica PF-T5-0+230, la cual permite identificar los suelos residuales arcillosos originados a partir de las arenisca tobaceas de la Formación Caimito con influencia coluvial. El modelo geológico - geotécnico y las características estratigráficas de este perfil se construyeron con base en las observaciones y los datos estructurales tomados en campo. En la Figura 92. se muestra los resultados de los análisis de estabilidad para la condición estática del talud con su configuración actual, teniendo en cuenta los parámetros definidos en la Tabla 22 y Tabla 23

La sección PF-T5-0+230 se realizaron por observación del terreno en campo, donde se estimó el espesor del suelo residual de acuerdo con lo observado y registros de perforación cercanos al sector y apique realizados. La secuencia litológica de la sección se dibuja de acuerdo con las secuencias identificadas en secciones cercanas, sus espesores son estimados ya que no se cuenta con registro de subsuelo en el sector

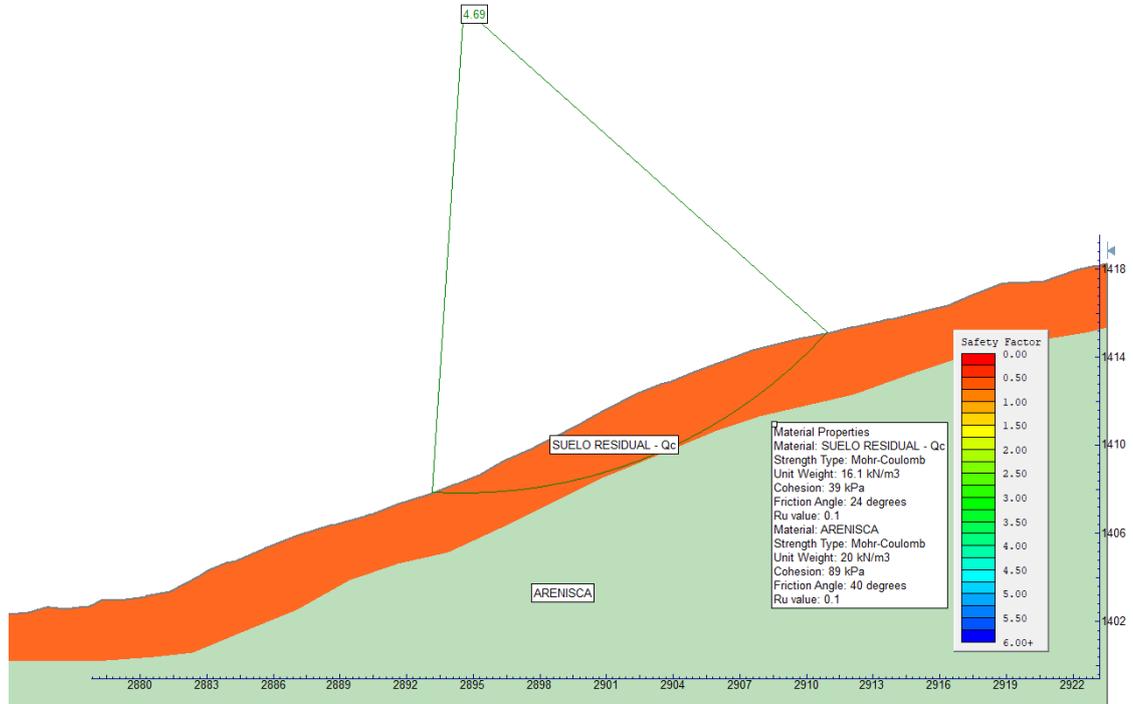


Figura 92. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-T5-0+230

Propuesta de corte

Para la sección PF-T5-0+230, en la Figura 93. se presentan los resultados de los análisis de estabilidad para la condición estática del corte propuesto, considerando los parámetros definidos en la Tabla 22 y Tabla 23. La excavación está conformada por taludes de 10.00 m de altura máxima, con una inclinación 0.5H : 1.0V (63°) y bermas intermedias de 3.00 m donde se requieran. Se recomienda implementar una protección con un manto permanente para el control de erosión Landlok 300 o equivalente, un geotextil de filtración y una malla metálica en áreas expuestas de suelos residuales con influencia coluvial y en áreas donde se genere la exposición de areniscas y Lodolitas tobáceas meteorizadas de la Formación Caimito (ToCai) se plantea la conformación de una protección superficial conformada por concreto lanzado con un espesor de 0.1 m y malla electro soldada, tal como se especifica en el numeral 10.1.1.2. Los análisis pseudoestáticos se presentan en el Anexo 19 y los resultados de los análisis con esta configuración se muestran en la Tabla 66, para las secciones analizadas incluyendo lluvia extrema con un $R_u = 0.20$.

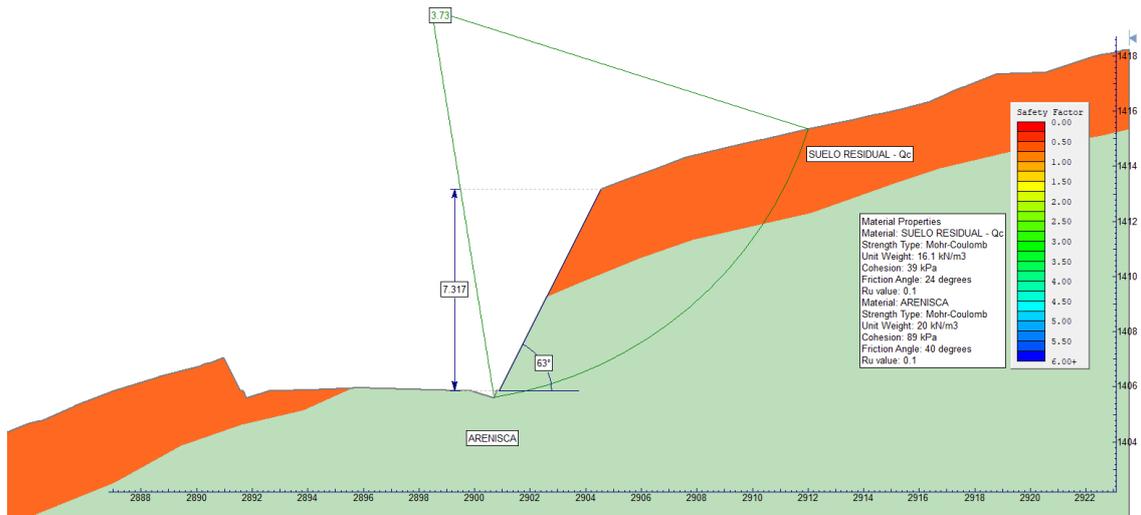


Figura 93. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-T5-0+230

Tabla 66. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-T5-0+230

Perfil de Análisis	FS. Condición Estática	FS. Condición Pseudo-estático	FS. Condición lluvia extrema Ru = 0.20
Condición Actual	4.69	3.70	4.56
Diseño propuesto	3.73	3.23	3.54

10.1.1.1.6. Tramo 6 (vía de uso Temporal)

Condición actual

Para el análisis de los cortes del Tramo 6 se consideró la sección crítica PF-T6-1+450 y PF-T6-1+490, la cual permite identificar los suelos residuales arcillosos originados a partir de las arenisca tobáceas de la Formación Caimito con influencia coluvial. Los modelos geológico - geotécnicos y las características estratigráficas de estos perfiles se construyeron con base en las observaciones y los datos estructurales tomados en campo. En la Figura 94 y Figura 95. se muestra los resultados de los análisis de estabilidad para la condición estática del talud con su configuración actual, teniendo en cuenta los parámetros definidos en la Tabla 22 y Tabla 23.

Para la elaboración del perfil PF-T6-1+450 y PF-T6-1+490 se tuvo en cuenta la información suministrada en la perforación IND-T6-TP-39 (proyectada), en donde se tiene un depósito de suelos residual con presencia coluvial (Qc) de 6.20 m aproximadamente, esta información es corroborada con información tomada en los reconocimientos de campo.

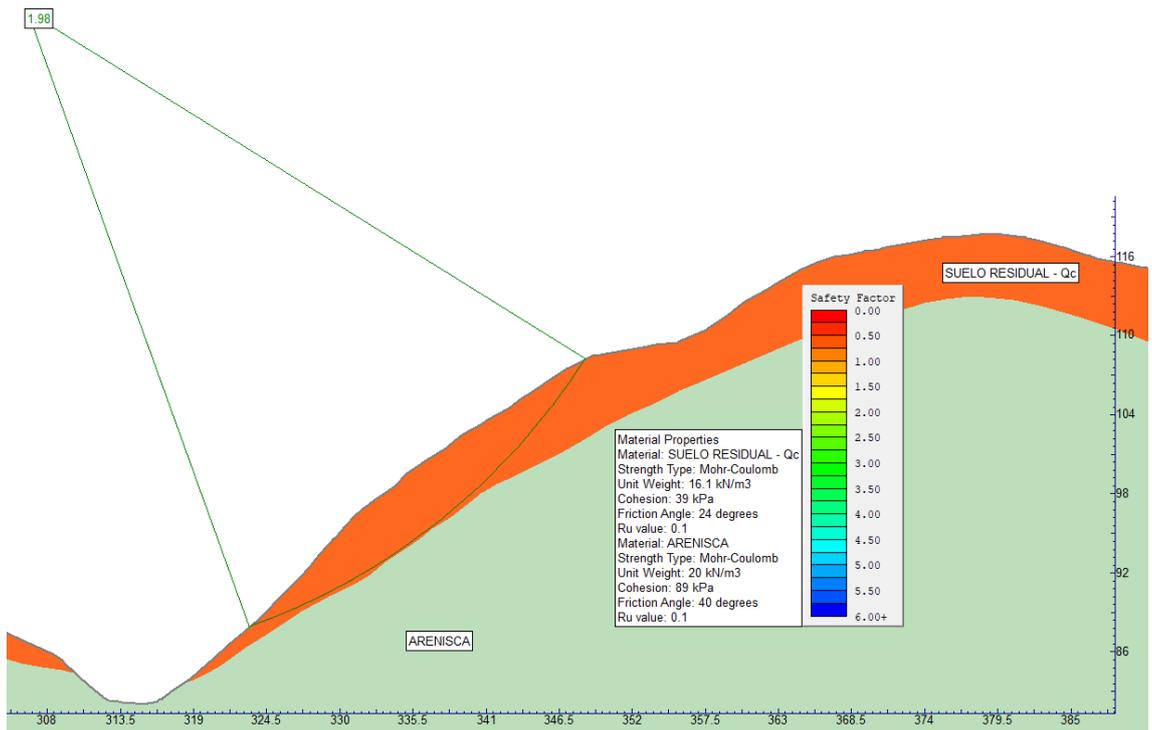


Figura 94. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-T6-1+450

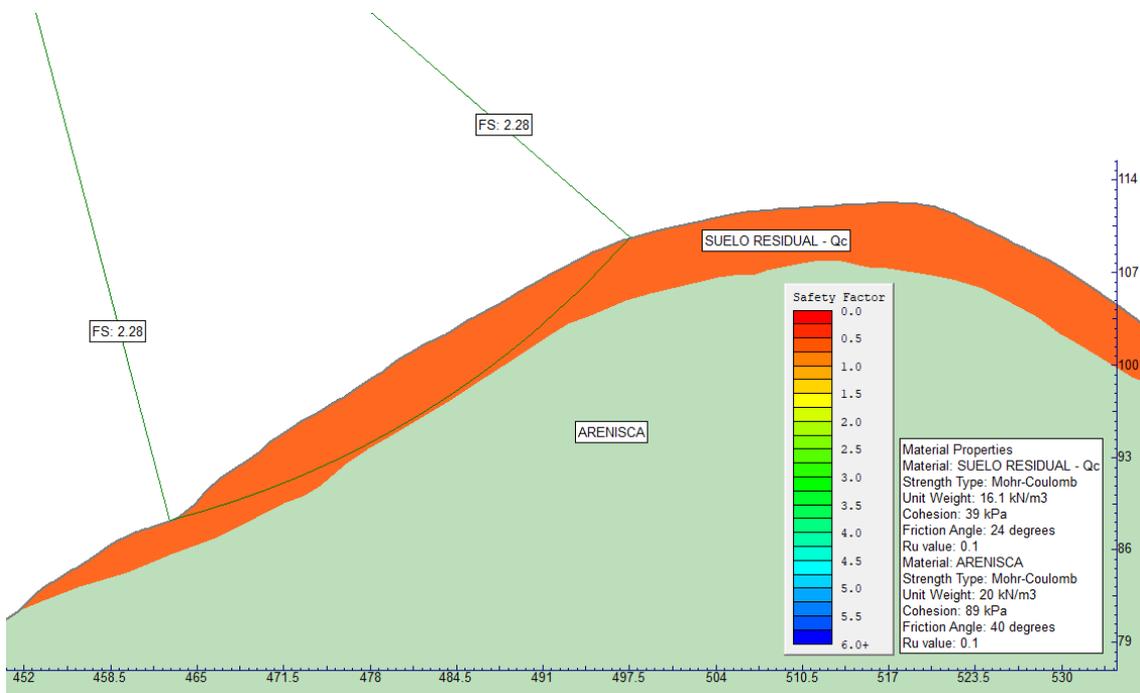


Figura 95. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-T6-1+490

Propuesta de corte

Para la sección PF-T6-1+450 y PF-T6-1+490, en la Figura 96 y Figura 97 se presentan los resultados de los análisis de estabilidad para la condición estática del corte propuesto, considerando los parámetros definidos en la Tabla 22 y Tabla 23. La excavación está conformada por taludes de 10,00 m de altura, con una inclinación 0.5H : 1.0V (63°) y bermas intermedias de 3.00 m. Se recomienda implementar una protección con un manto permanente para el control de erosión Landlok 300 o equivalente, un geotextil de filtración y una malla metálica en áreas expuestas de suelos residuales con influencia coluvial y en áreas donde se genere la exposición de areniscas y Lodolitas tobáceas meteorizadas de la Formación Caimito (ToCai) se plantea la conformación de una protección superficial conformada por concreto lanzado con un espesor de 0.1 m y malla electro soldada, tal como se especifica en el numeral 10.1.1.2. Los análisis pseudoestáticos se presentan en el Anexo 19 y los resultados de los análisis con esta configuración se muestran en la Tabla 67 y Tabla 68. para las secciones analizadas incluyendo lluvia extrema con un $R_u = 0.20$.

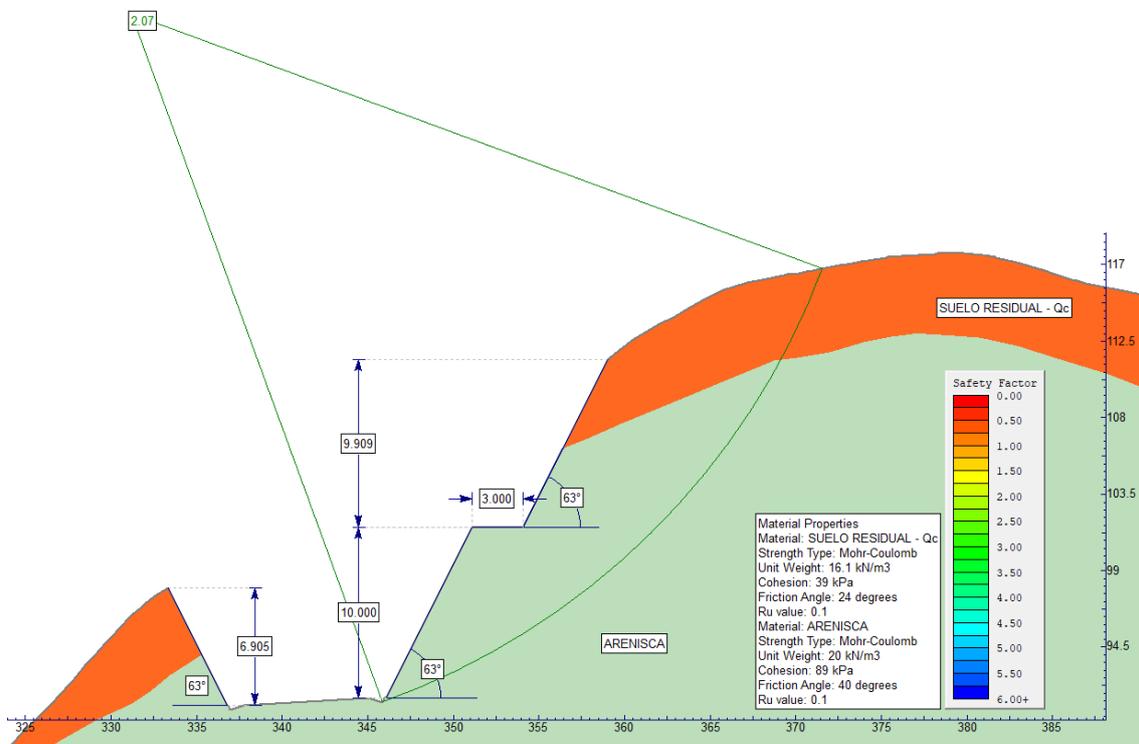


Figura 96. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-T6-1+450

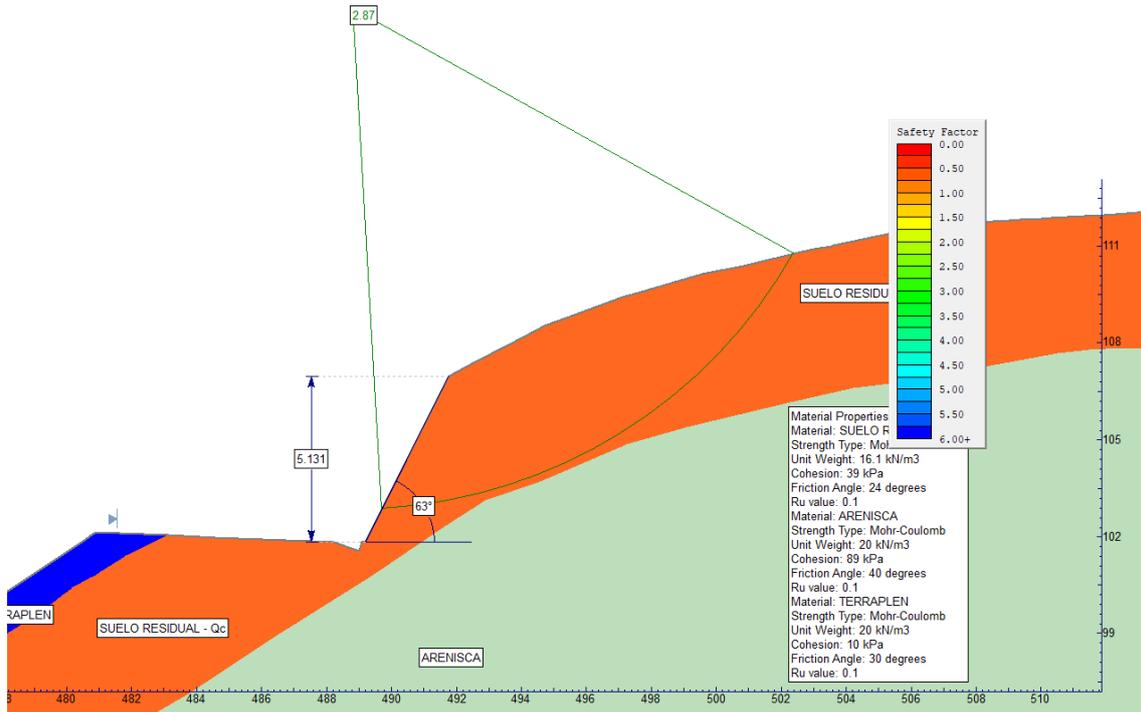


Figura 97. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-T6-1+490

Tabla 67. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-T6-1+450

Perfil de Análisis	FS. Condición Estática	FS. Condición Pseudo-estático	FS. Condición lluvia extrema Ru = 0.20
Condición Actual	1.98	1.69	1.88
Diseño propuesto	2.07	1.83	1.95

Tabla 68. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-T6-1+490

Perfil de Análisis	FS. Condición Estática	FS. Condición Pseudo-estático	FS. Condición lluvia extrema Ru = 0.20
Condición Actual	2.28	1.90	2.18
Diseño propuesto	2.87	2.14	2.78

10.1.1.1.7. Tramo 7 (vía de uso Temporal - Permanente tramo final)

Condición actual

Para el análisis de los cortes del Tramo 7 se consideró la sección crítica PF-T7-2+000, la cual permite identificar los suelos residuales arcillosos originados a partir de las arenisca tobáceas de la Formación Caimito con influencia coluvial. El modelos geológico - geotécnico y las características estratigráficas de este perfil se construyeron con base en las observaciones y los datos estructurales tomados en campo. En la Figura 98. se muestra los resultados de los análisis de estabilidad para la condición estática del talud con su configuración actual, teniendo en cuenta los parámetros definidos en la Tabla 22. y Tabla 23.

Para la elaboración del perfil PF-T7-2+000 se tuvo en cuenta la información suministrada en la perforación DT-BH-03 (proyectada), en donde se tiene un depósito de suelos residual con

presencia coluvial (Qc) de 3.75 m aproximadamente, esta información es corroborada con información tomada en los reconocimientos de campo.

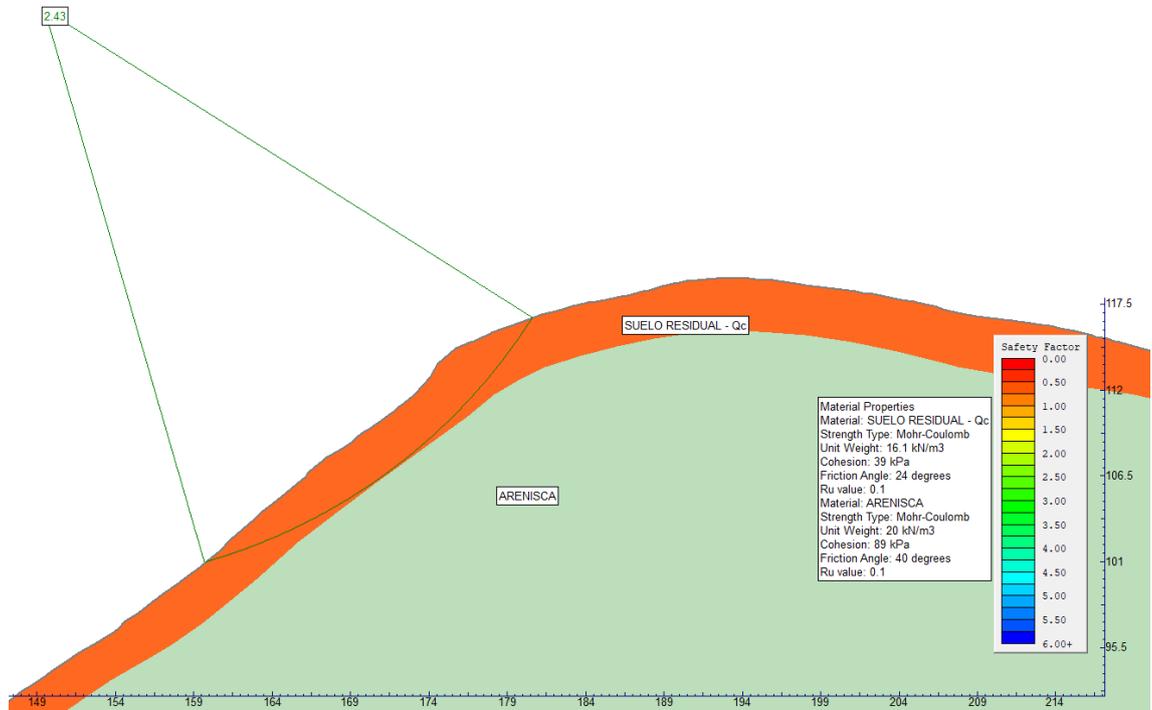


Figura 98. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-T7-2+000

Propuesta de corte

Para la sección PF-T7-2+000, en la Figura 99 se presentan los resultados de los análisis de estabilidad para la condición estática del corte propuesto, considerando los parámetros definidos en la Tabla 69. La excavación está conformada por taludes de 10.00 m de altura, con una inclinación 0.5H : 1.0V (63°) y bermas intermedias de 3.00 m. Se recomienda implementar una protección con un manto permanente para el control de erosión Landlok 300 o equivalente, un geotextil de filtración y una malla metálica en áreas expuestas de suelos residuales con influencia coluvial y en áreas donde se genere la exposición de areniscas y lodolitas tobáceas meteorizadas de la Formación Caimito (ToCai) se plantea la conformación de una protección superficial conformada por concreto lanzado con un espesor de 0.1 m y malla electro soldada, tal como se especifica en el numeral 10.1.1.2 Los análisis pseudoestáticos se presentan en el Anexo 19 y los resultados de los análisis con esta configuración se muestran en la Tabla 69, para las secciones analizadas incluyendo lluvia extrema con un $Ru = 0.20$.

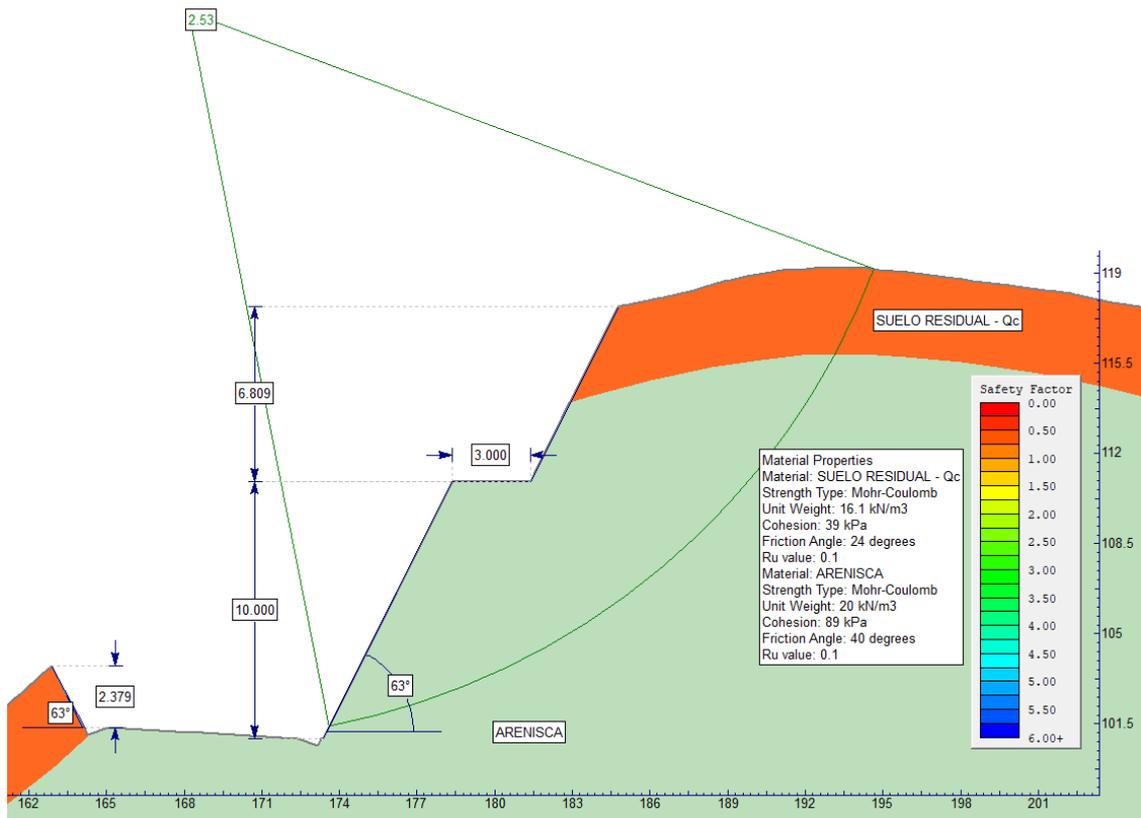


Figura 99. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-T7-2+000

Tabla 69. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-T7-2+000

Perfil de Análisis	FS. Condición Estática	FS. Condición Pseudo-estático	FS. Condición lluvia extrema Ru = 0.20
Condición Actual	2.43	2.09	2.26
Diseño propuesto	2.53	2.21	2.35

10.1.1.1.8. Acceso a Ventana 2 (vía de uso Permanente)

Condición actual

Para el análisis de los cortes del acceso a la Ventana 2 del Túnel de Transferencia se consideró la sección crítica PF-V2-0+160, la cual permite identificar los suelos residuales arcillosos originados a partir de las arenisca tobaceas de la Formación Caimito con influencia coluvial. El modelo geológico - geotécnico y las características estratigráficas de este perfil se construyó con base en las observaciones y los datos estructurales tomados en campo. En la Figura 100. se muestra los resultados de los análisis de estabilidad para la condición estática del talud con su configuración actual, teniendo en cuenta los parámetros definidos en la Tabla 22 y Tabla 23.

La sección PF-V2-0+160 se realizaron por observación del terreno en campo, donde se estimó el espesor del suelo residual de acuerdo con lo observado y registros de perforación cercanos al sector y apique realizados. La secuencia litológica de la sección se dibuja de acuerdo con las

secuencias identificadas en secciones cercanas, sus espesores son estimados ya que no se cuenta con registro de subsuelo en el sector

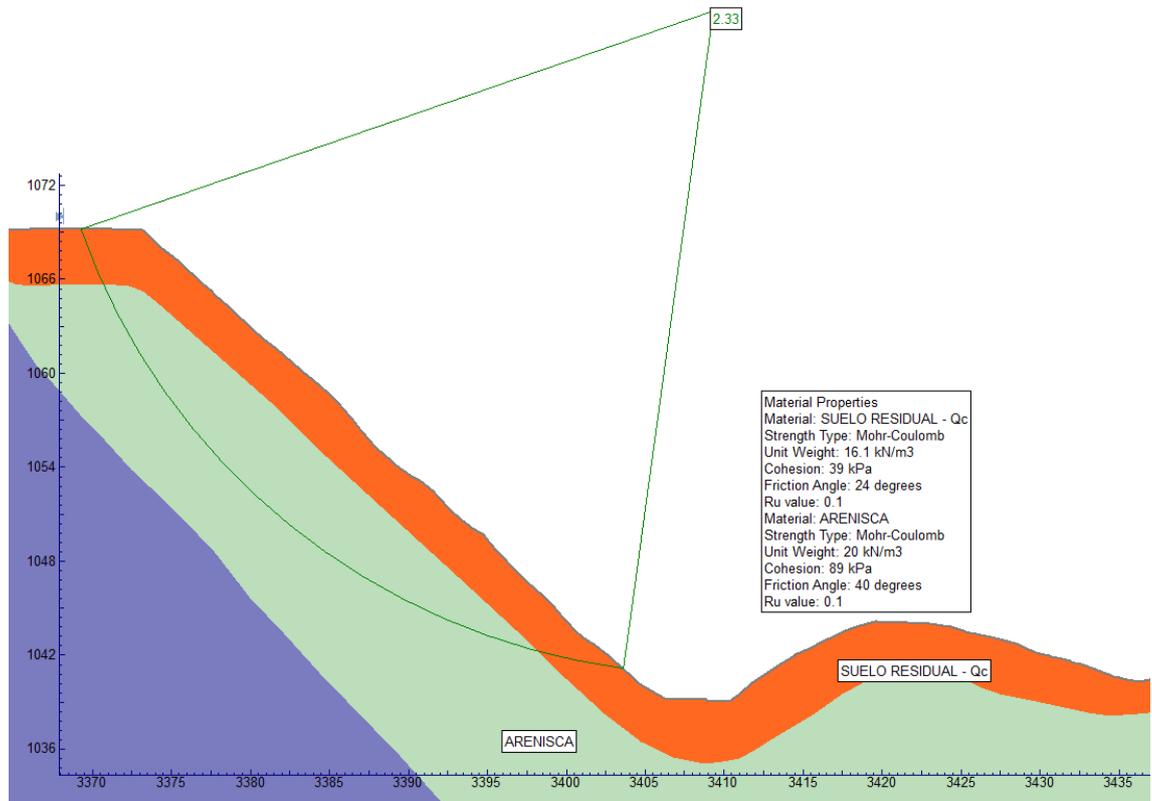


Figura 100. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-V2-0+160

Propuesta de corte

Para la sección PF-V2-0+160, en la Figura 101 se presentan los resultados de los análisis de estabilidad para la condición estática del corte propuesto, considerando los parámetros definidos en la Tabla 22 y Tabla 23. La excavación está conformada por taludes de 10.00 m de altura, con una inclinación 0.5H : 1.0V (63°) y bermas intermedias de 3.00 m. Se recomienda implementar una protección con un manto permanente para el control de erosión Landlok 300 o equivalente, un geotextil de filtración y una malla metálica en áreas expuestas de suelos residuales con influencia coluvial y en áreas donde se genere la exposición de areniscas y Lodolitas tobáceas meteorizadas de la Formación Caimito (ToCai) se plantea la conformación de una protección superficial conformada por concreto lanzado con un espesor de 0.1 m y malla electro soldada, tal como se especifica en el numeral 10.1.1.2. Los análisis pseudoestáticos se presentan en el Anexo 19 y los resultados de los análisis con esta configuración se muestran en la Tabla 70, para la sección analizada incluyendo lluvia extrema con un $R_u = 0.20$.

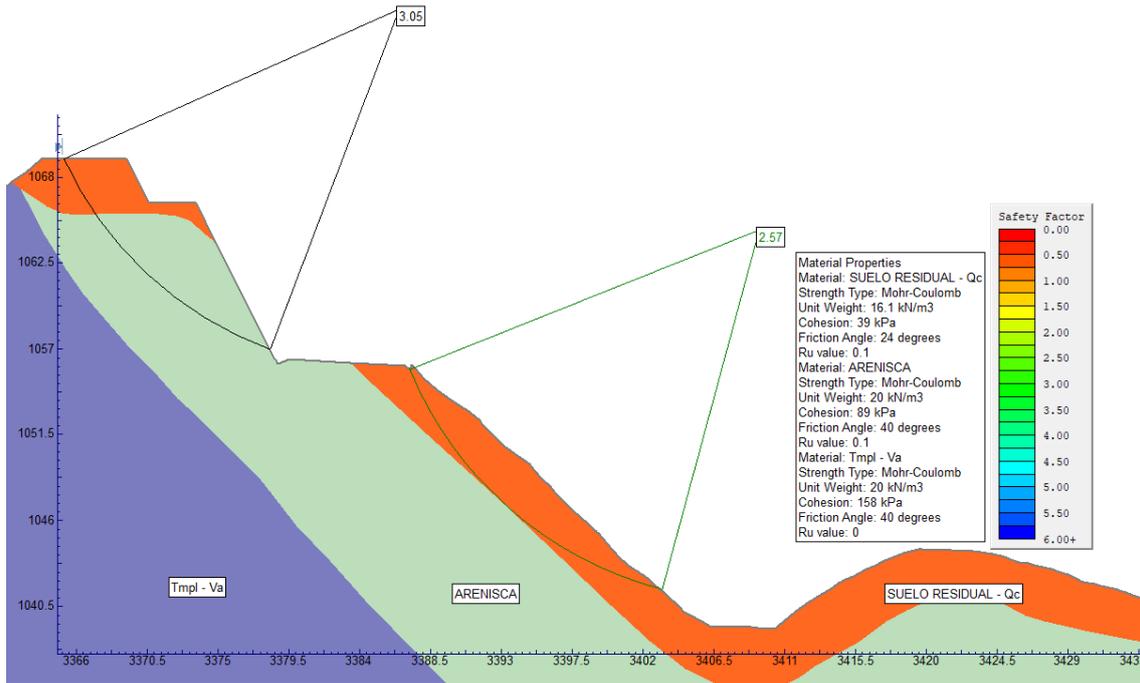


Figura 101. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-V2-0+160

Tabla 70. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-V2-0+160

Perfil de Análisis	FS. Condición Estática	FS. Condición Pseudo-estático	FS. Condición lluvia extrema Ru = 0.20
Condición Actual	2.33	2.04	2.07
Diseño propuesto	3.05	2.86	2.38

10.1.1.1.9. Acceso Ataguía (vía de uso Temporal)

Condición actual

Para el análisis de los cortes del tramo a la Ataguía y entrada al túnel de desvío se consideró la sección crítica PF-AT-0+080, la cual permite identificar los suelos residuales arcillosos originados a partir de las arenisca tobaceas de la Formación Caimito con influencia coluvial. El modelo geológico - geotécnico y las características estratigráficas de este perfil se construyeron con base en las observaciones y los datos estructurales tomados en campo. En la Figura 102. se muestra los resultados de los análisis de estabilidad para la condición estática del talud con su configuración actual, teniendo en cuenta los parámetros definidos en la Tabla 22. y Tabla 23.

Para la elaboración del perfil PF-AT-0+080 se tuvo en cuenta la información suministrada en la perforación DT-BH-01 (proyectada), en donde se tiene un depósito de suelos residual con presencia coluvial (Qc) de 4.00 m aproximadamente, esta información es corroborada con información tomada en los reconocimientos de campo.

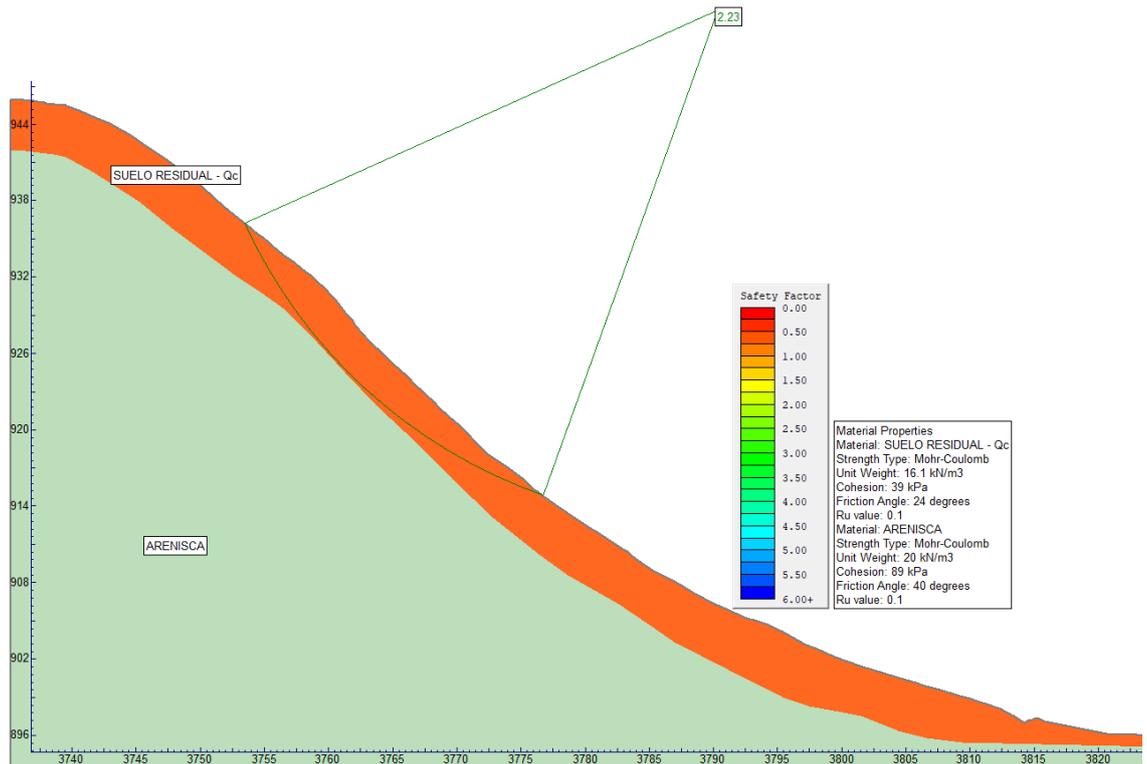


Figura 102. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-AT-0+080

Propuesta de corte

Para la sección PF-AT-0+080, en la Figura 103, se presentan los resultados de los análisis de estabilidad para la condición estática del corte propuesto, considerando los parámetros definidos en la Tabla 22 y Tabla 23. La excavación está conformada por taludes de 10.00 m de altura, con una inclinación 0.5H : 1.0V (63°) y bermas intermedias de 3.00 m. Se recomienda implementar una protección con un manto permanente para el control de erosión Landlok 300 o equivalente, un geotextil de filtración y una malla metálica en áreas expuestas de suelos residuales con influencia coluvial y en áreas donde se genere la exposición de areniscas y Lodolitas tobaceas meteorizadas de la Formación Caimito (ToCai) se plantea la conformación de una protección superficial conformada por concreto lanzado con un espesor de 0.1 m y malla electro soldada, tal como se especifica en el numeral 10.1.1.2. Los análisis pseudoestáticos se presentan en el Anexo 19 y los resultados de los análisis con esta configuración se muestran en la Tabla 71., para la sección analizada incluyendo lluvia extrema con un $R_u = 0.20$.

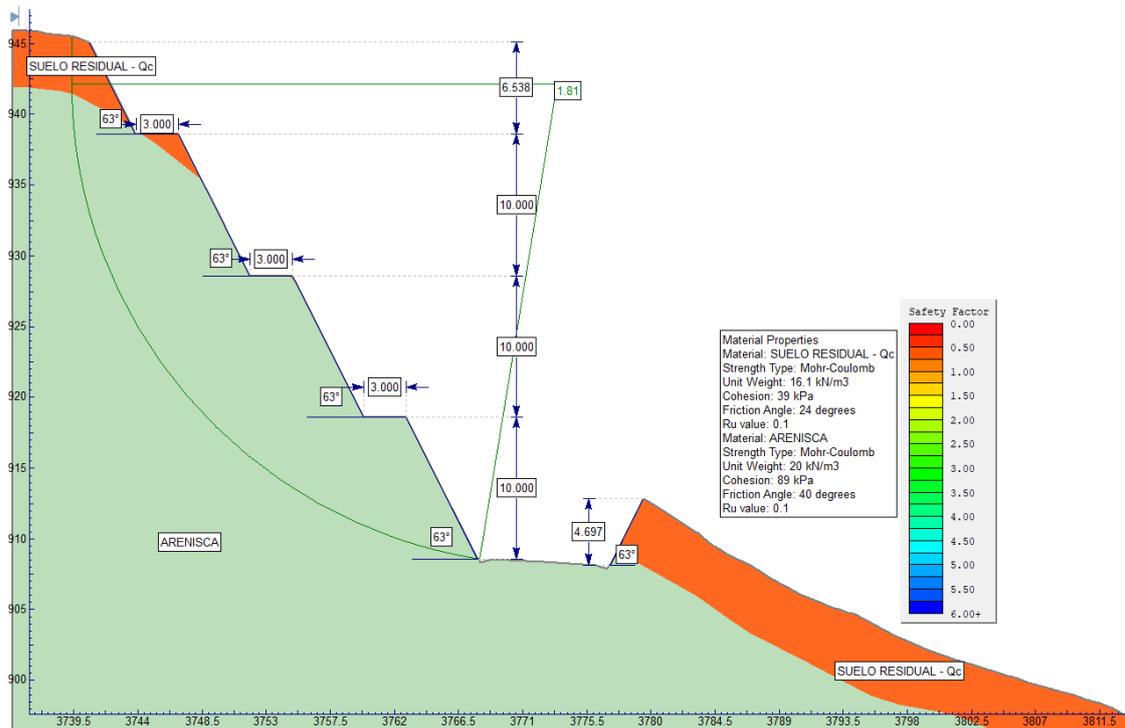


Figura 103. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-AT-0+080

Tabla 71. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-AT-0+080

Perfil de Análisis	FS. Condición Estática	FS. Condición Pseudo-estático	FS. Condición lluvia extrema Ru = 0.20
Condición Actual	2.24	1.97	2.06
Diseño propuesto	1.81	1.71	1.62



10.1.1.1.10. Acceso contraataguía y vertedero (vía de uso Temporal)

Condición actual

Para el análisis de los cortes del tramo a la Contraataguía y Verterdero se consideró la sección crítica PF-CATYV-2+500, la cual permite identificar los suelos residuales arcillosos originados a partir de las arenisca tobáceas de la Formación Caimito con influencia coluvial. El modelo geológico - geotécnicos y las características estratigráficas de este perfil se construyó con base en las observaciones y los datos estructurales tomados en campo. En la Figura 104. se muestra los resultados de los análisis de estabilidad para la condición estática del talud con su configuración actual, teniendo en cuenta los parámetros definidos en la Tabla 22 y Tabla 23.

Para la elaboración del perfil PF-CATYV-2+500 se tuvo en cuenta la información suministrada en la perforación TT-BH-26 (proyectada), en donde se tiene un depósito de suelos residual con presencia coluvial (Qc) de 9.00 m aproximadamente, esta información es corroborada con información tomada en los reconocimientos de campo.

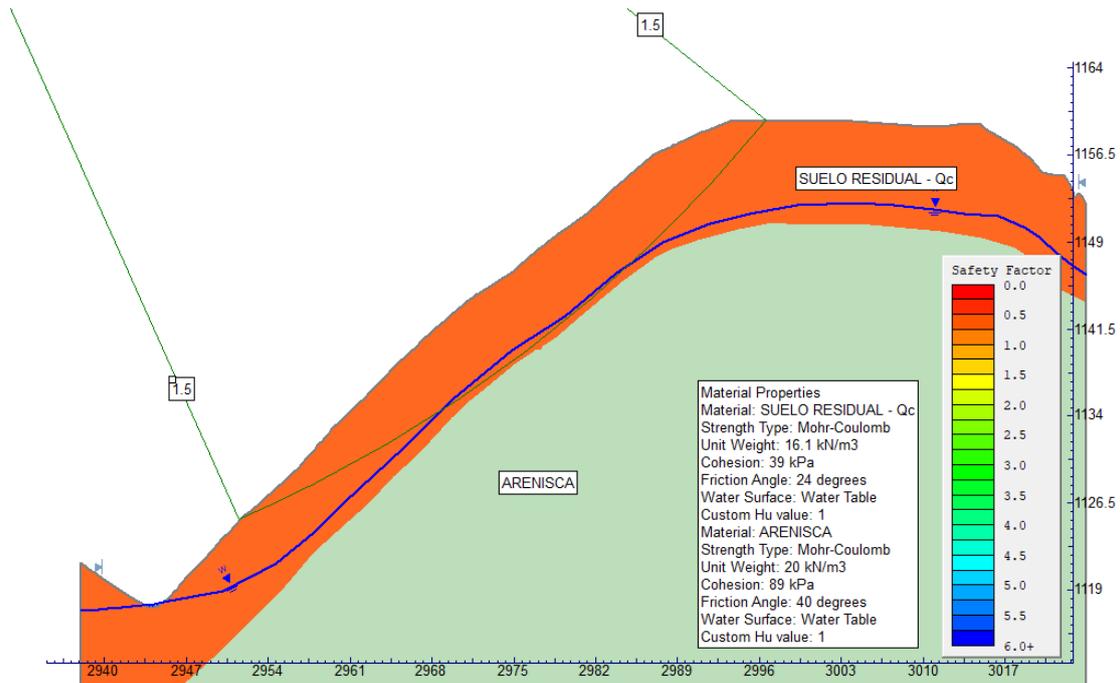


Figura 104. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-CATYV-2+500

Propuesta de corte

Para la sección PF-CATYV-2+500, en la Figura 105. se presentan los resultados de los análisis de estabilidad para la condición estática del corte propuesto, considerando los parámetros definidos en la Tabla 22. y Tabla 23. La excavación está conformada por taludes de 10.00 m de altura, con una inclinación 0.5H : 1.0V (63°) y bermas intermedias de 3.00 m. Se recomienda implementar una protección con un manto permanente para el control de erosión Landlok 300 o equivalente, un geotextil de filtración y una malla metálica en áreas expuestas de suelos residuales con influencia coluvial y en áreas donde se genere la exposición de areniscas y Lodolitas tobáceas meteorizadas de la Formación Caimito (ToCai) se plantea la conformación de una protección superficial conformada por concreto lanzado con un espesor de 0.1 m y malla electro soldada, tal como se especifica en el numeral 10.1.1.2 Los análisis pseudoestáticos se presentan en el Anexo 19 y los resultados de los análisis con esta configuración se muestran en la Tabla 72. para la sección analizada incluyendo lluvia extrema con un $R_u = 0.20$.

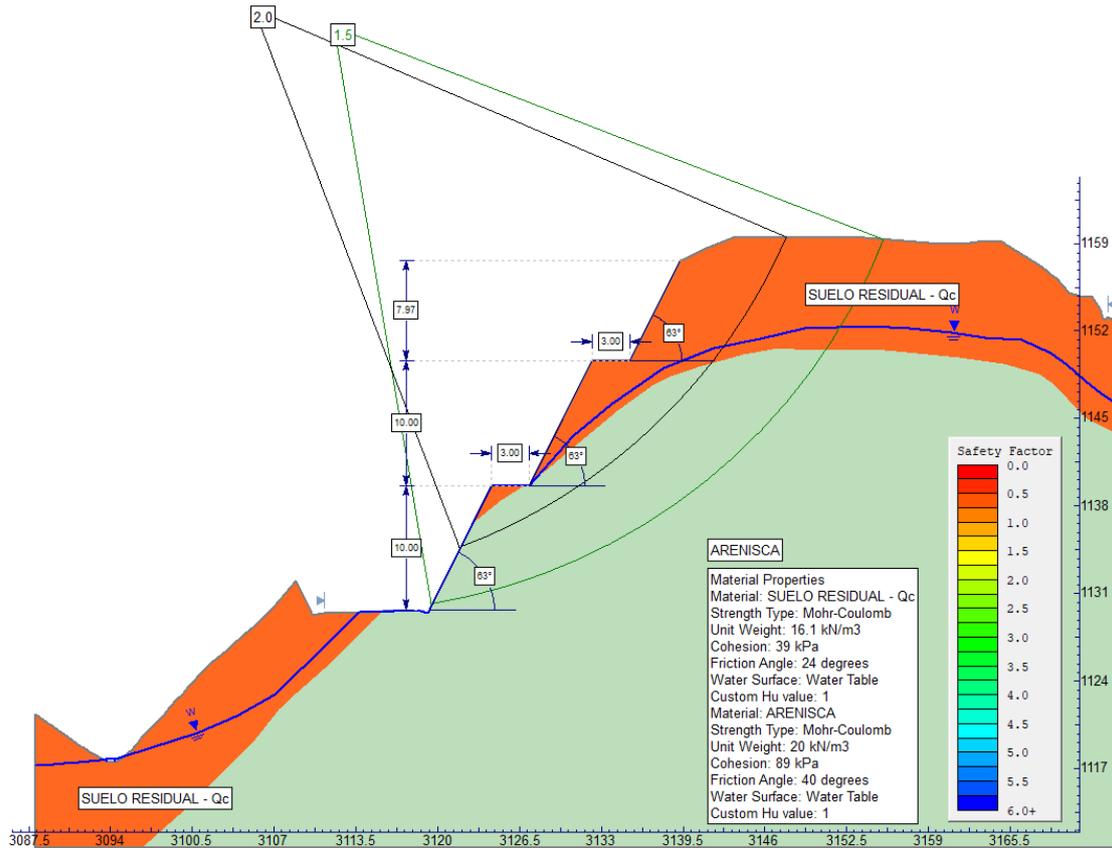


Figura 105. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-CATYV-2+500

Tabla 72. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-CATYV-2+500

Perfil de Análisis	FS. Condición Estática	FS. Condición Pseudo-estático	FS. Condición lluvia extrema Ru = 0.20
Condición Actual	1.5	1.2	1.2
Diseño propuesto	1.5	1.3	1.5

10.1.1.1.11. Acceso a Portal Entrada galería de Acceso (vía de uso Permanente)

Condición actual

Para el análisis de los cortes del acceso a Portal Entrada galería de Acceso se consideró la sección crítica PF-PEGA-0+255, la cual permite identificar los suelos residuales arcillosos originados a partir de las arenisca tobáceas de la Formación Caimito con influencia coluvial. Los modelos geológico - geotécnicos y las características estratigráficas de estos perfiles se construyeron con base en las observaciones y los datos estructurales tomados en campo. En la Figura 106. se muestra los resultados de los análisis de estabilidad para la condición estática del talud con su configuración actual, teniendo en cuenta los parámetros definidos en la Tabla 22. y Tabla 23.

La sección PF-PEGA-0+255 se realizaron por observación del terreno en campo, donde se estimó el espesor del suelo residual de acuerdo con lo observado y registros de perforación cercanos al sector y apique realizados. La secuencia litológica de la sección se dibuja de

acuerdo con las secuencias identificadas en secciones cercanas, sus espesores son estimados ya que no se cuenta con registro de subsuelo en el sector

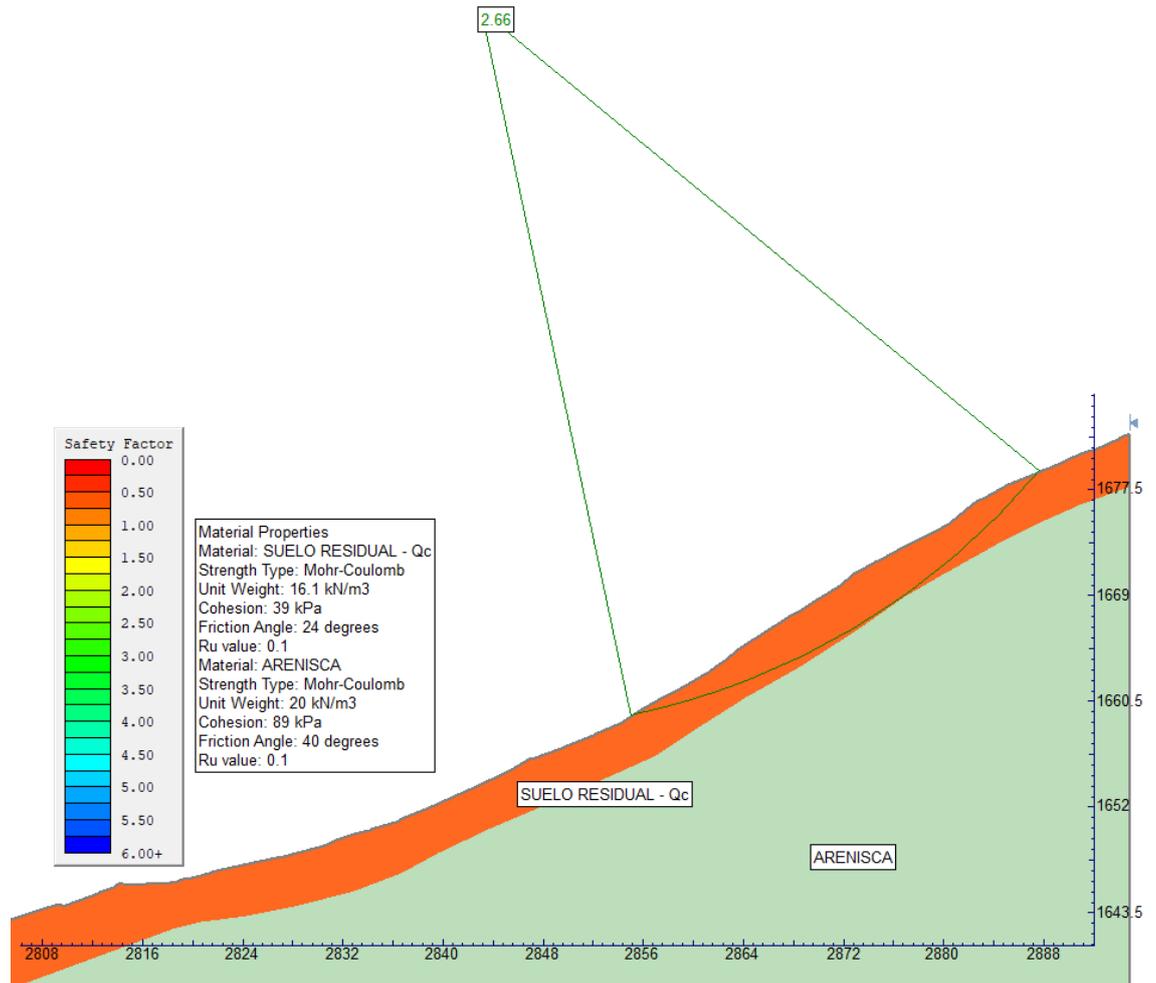


Figura 106. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-PEGA-0+255

Propuesta de corte

Para la sección PF-PEGA-0+255, en la Figura 107. se presentan los resultados de los análisis de estabilidad para la condición estática del corte propuesto, considerando los parámetros definidos en la Tabla 22 y la Tabla 23 La excavación está conformada por taludes de 10.00 m de altura, con una inclinación 0.5H : 1.0V (63°) y bermas intermedias de 3.00 m. Se recomienda implementar una protección con un manto permanente para el control de erosión Landlok 300 o equivalente, un geotextil de filtración y una malla metálica en áreas expuestas de suelos residuales con influencia coluvial y en áreas donde se genere la exposición de areniscas y Lodolitas tobáceas meteorizadas de la Formación Caimito (ToCai) se plantea la conformación de una protección superficial conformada por concreto lanzado con un espesor de 0.1 m y malla electro soldada, tal como se especifica en el numeral 10.1.1.2. Los análisis pseudoestáticos se presentan en el Anexo 19 y los resultados de los análisis con esta configuración se muestran en la Tabla 73, para la sección analizada incluyendo lluvia extrema con un Ru = 0.20.

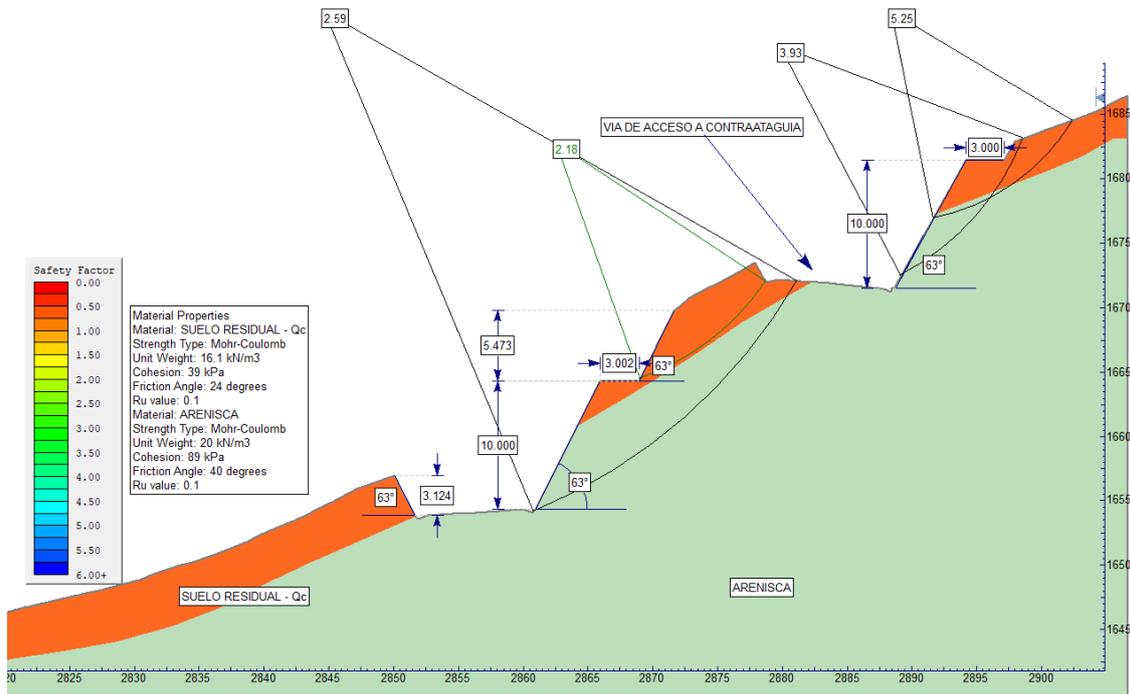


Figura 107. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-PEGA-0+255

Tabla 73. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-PEGA-0+255

Perfil de Análisis	FS. Condición Estática	FS. Condición Pseudo-estático	FS. Condición lluvia extrema Ru = 0.20
Condición Actual	2.66	2.21	2.55
Diseño propuesto	2.18	2.13	2.09

10.1.1.1.12. Acceso a Pozo de Compuertas Túnel Traslase (vía de uso Permanente)

Condición actual

Para el análisis de los cortes del Pozo de Compuertas Túnel Traslase se consideró la sección crítica PF-PCTT-0+280, la cual permite identificar los suelos residuales arcillosos originados a partir de las arenisca tobaceas de la Formación Caimito con influencia coluvial. Los modelos geológico - geotécnicos y las características estratigráficas de estos perfiles se construyeron con base en las observaciones y los datos estructurales tomados en campo. En la Figura 108. se muestra los resultados de los análisis de estabilidad para la condición estática del talud con su configuración actual, teniendo en cuenta los parámetros definidos en la Tabla 22. y la Tabla 23.

La sección PF-PCTT-0+280 se realizaron por observación del terreno en campo, donde se estimó el espesor del suelo residual de acuerdo con lo observado y registros de perforación cercanos al sector y apique realizados. La secuencia litológica de la sección se dibuja de acuerdo con las secuencias identificadas en secciones cercanas, sus espesores son estimados ya que no se cuenta con registro se subsuelo en el sector

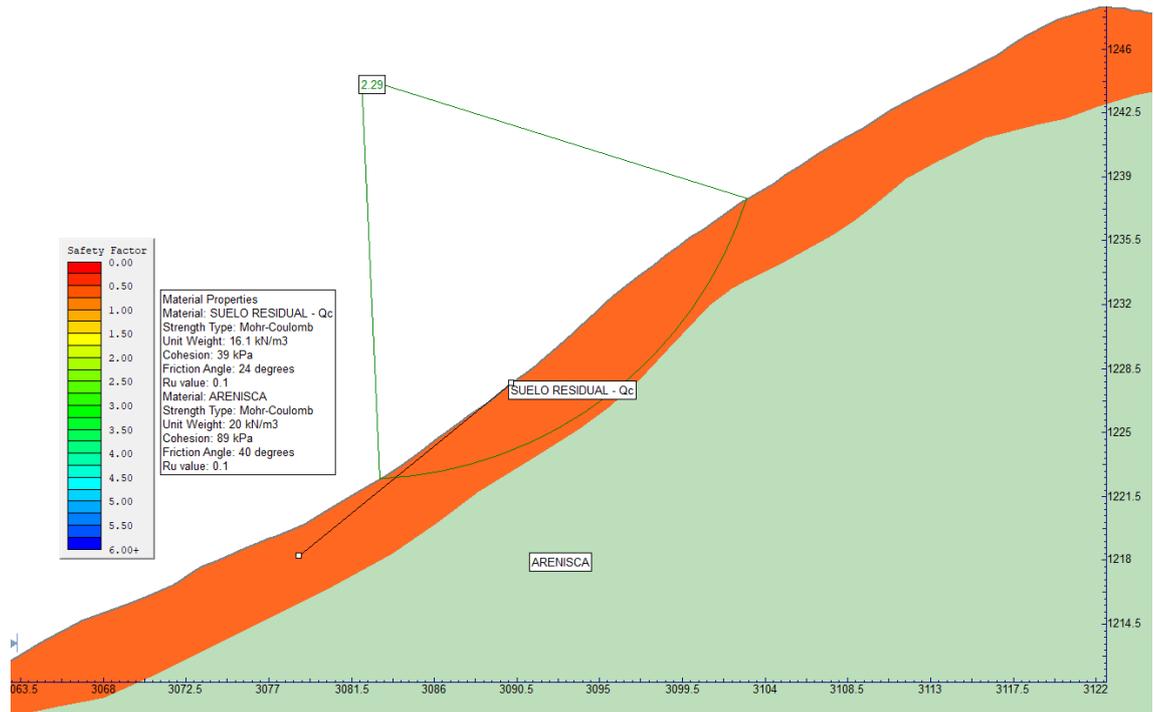


Figura 108. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-PCTT-0+280

Propuesta de corte

Para la sección PF-PCTT-0+280, en la Figura 109, se presentan los resultados de los análisis de estabilidad para la condición estática del corte propuesto, considerando los parámetros definidos en la Tabla 22, y Tabla 23. La excavación está conformada por taludes de 10.00 m de altura, con una inclinación 0.5H : 1.0V (63°) y bermas intermedias de 3.00 m. Se recomienda implementar una protección con un manto permanente para el control de erosión Landlok 300 o equivalente, un geotextil de filtración y una malla metálica en áreas expuestas de suelos residuales con influencia coluvial y en áreas donde se genere la exposición de areniscas y Lodolitas tobáceas meteorizadas de la Formación Caimito (ToCai) se plantea la conformación de una protección superficial conformada por concreto lanzado con un espesor de 0.1 m y malla electro soldada, tal como se especifica en el numeral 10.1.1.2. Los análisis pseudoestáticos se presentan en el Anexo 19 y los resultados de los análisis con esta configuración se muestran en la Tabla 74, para las secciones analizadas incluyendo lluvia extrema con un $R_u = 0.20$.

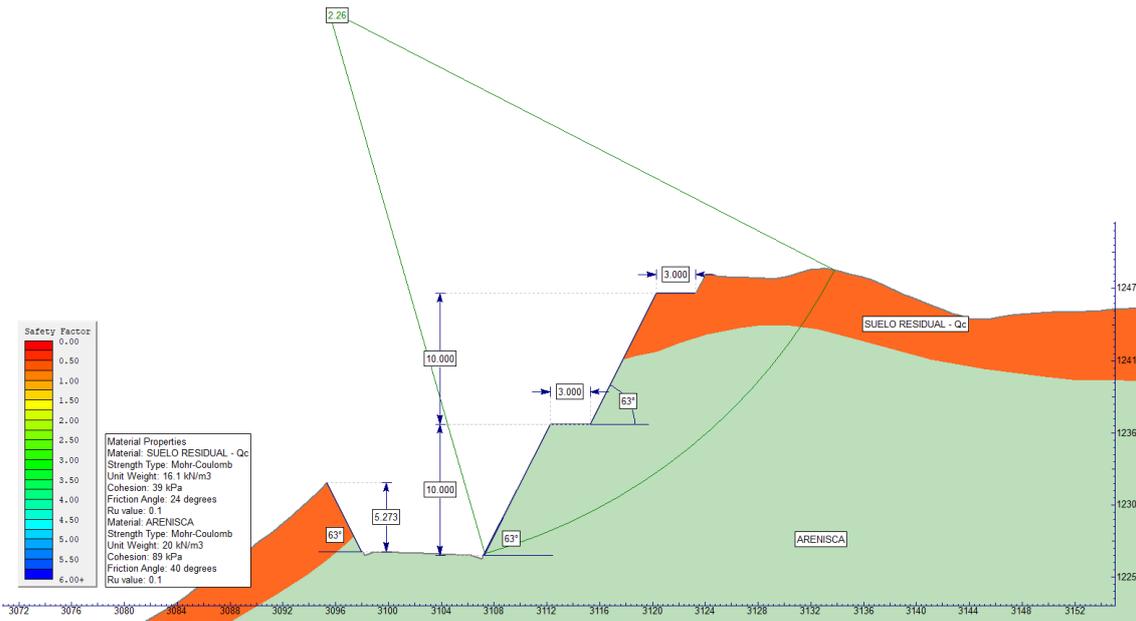


Figura 109. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-PCTT-0+280

Tabla 74. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-PCTT-0+280

Perfil de Análisis	FS. Condición Estática	FS. Condición Pseudo-estático	FS. Condición lluvia extrema Ru = 0.20
Condición Actual	2.29	1.93	2.18
Diseño propuesto	2.26	1.97	2.08

10.1.1.1.13. Ramal Acceso a Presa (vía de uso Permanente)

Este ramal corresponde a una extensión del tramo 7 y dada la homogeneidad de la zona los análisis de estabilidad presentados para este tramo aplican en cuanto a estabilidad y propiedades de los materiales se refiere.

Propuesta de corte

La excavación está conformada por taludes de 10.00 m de altura, con una inclinación 0.5H : 1.0V (63°) y bermas intermedias de 3.00 m. Se recomienda implementar una protección con un manto permanente para el control de erosión Landlok 300 o equivalente, un geotextil de filtración y una malla metálica en áreas expuestas de suelos residuales con influencia coluvial y en áreas donde se genere la exposición de areniscas y Lodolitas tobaceas meteorizadas de la Formación Caimito (ToCai) se plantea la conformación de una protección superficial conformada por concreto lanzado con un espesor de 0.1 m y malla electro soldada, tal como se especifica en el numeral 10.1.1.2. Los análisis pseudoestáticos se presentan en el Anexo 19.



10.1.1.1.14. Tramo Norte (vía de uso Permanente)

Condición actual

Para el análisis de los cortes del Tramo Norte se consideró la sección crítica PF-TN-6+790, la cual está comprendida predominantemente por suelos residuales arcillosos originados a partir de

las arenisca tobáceas de la Formación Caimito con influencia coluvial, hacia la sub-base de la vía se encuentra la Formación rocosa Caimito con estratificación Plano Paralela (horizontal). El modelo geológico - geotécnico y las características estratigráficas del perfil se construyó con base en las observaciones y los datos estructurales tomados en campo. En la Figura 110. se muestran los resultados de los análisis de estabilidad para la condición estática del talud con su configuración actual, teniendo en cuenta los parámetros definidos en la Tabla 22. y la Tabla 23.

Para la elaboración del perfil PF-TN-+690 se tiene en cuenta la información suministrada en la perforación TT-BH-07 Y TT-BH-08, en donde se tiene un depósito de suelos residual con presencia coluvial (Qc) de 4,20 m aproximadamente, seguido de arenisca Tobaceas de la Formación Caimito, esta información es corroborada con información tomada en los reconocimientos de campo.

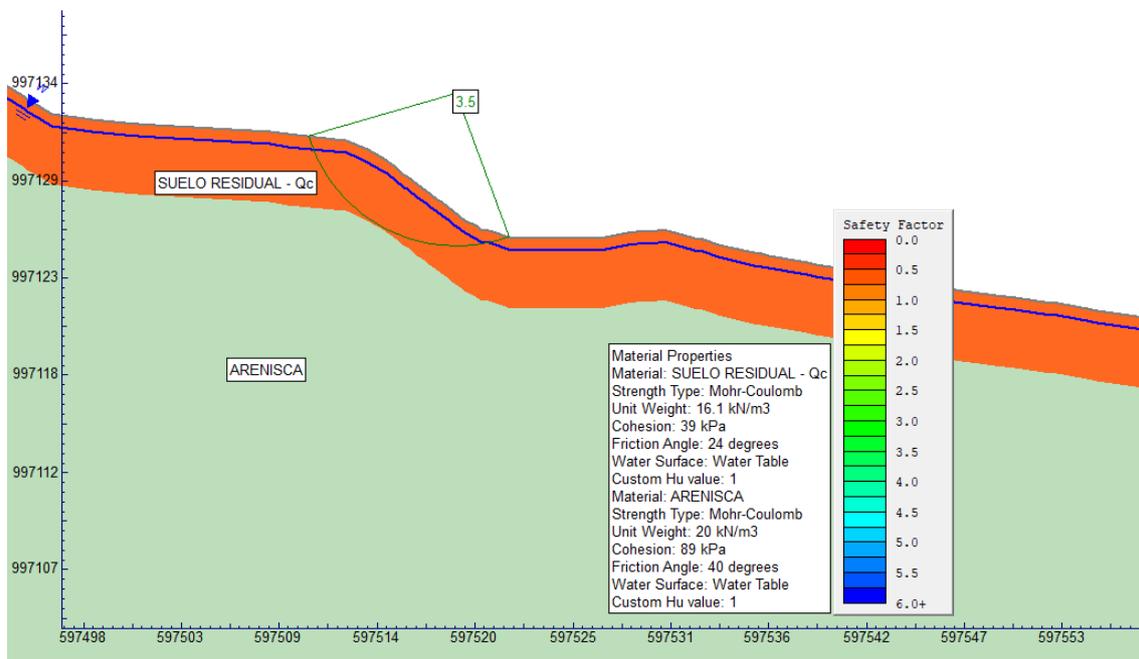


Figura 110. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-TN-6+790

Propuesta de corte

En la Figura 111, se presenta el resultados del análisis de estabilidad para la condición estática del corte propuesto, teniendo en cuenta los parámetros definidos en la Tabla 22 y Tabla 23. La excavación está conformada por taludes de 10.00 m de altura máxima, con una inclinación 0.5H : 1.0V (63°) y bermas intermedias de 3.00 m de ser necesario. Se recomienda implementar una protección con un manto permanente para el control de erosión Landlok 300 o equivalente, un geotextil de filtración y una malla metálica en áreas expuestas de suelos residuales con influencia coluvial y en áreas donde se genere la exposición de areniscas y Lodolitas tobáceas meteorizadas de la Formación Caimito (ToCai) se plantea la conformación de una protección superficial conformada por concreto lanzado con un espesor de 0.1 m y malla electro soldada, tal como se especifica en el numeral 10.1.1.2. Los análisis pseudo-

estáticos se presentan en el Anexo 19 y los resultados de los análisis con esta configuración se muestran de la Tabla 75, para la sección analizada incluyendo lluvia extrema con un $R_u = 0.20$.

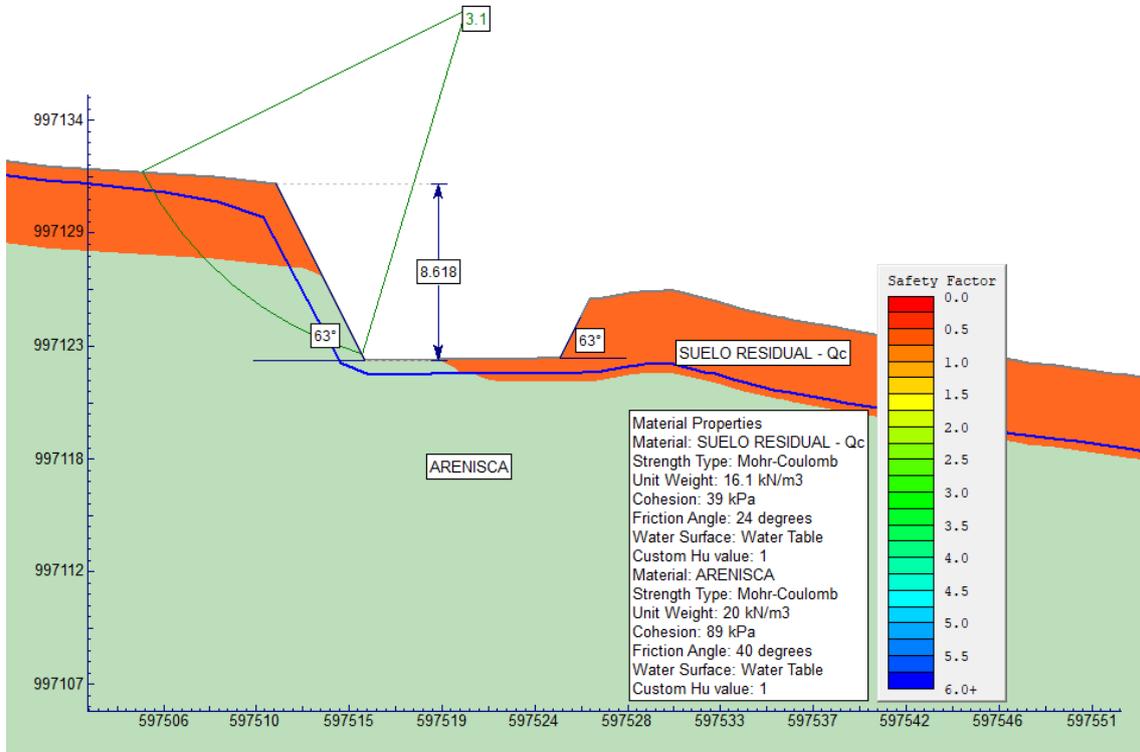


Figura 111. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-TN-6+790

Tabla 75. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-TN-6+790

Perfil de Análisis	FS. Condición Estática	FS. Condición Pseudo-estático	FS. Condición lluvia extrema $R_u = 0.20$
Condición Actual	3.5	2.9	3.4
Diseño propuesto	3.1	2.9	3.1



10.1.1.1.15. Tramo Sur (vía de uso Permanente)

Condición actual

Para el análisis de los cortes del Tramo Norte se consideró la sección crítica PF-TS-1+560, la cual está comprendida predominantemente por suelos residuales arcillosos originados a partir de las arenisca tobáceas de la Formación Caimito con influencia coluvial, hacia la sub-base de la vía se encuentra la Formación rocosa Caimito con estratificación Plano Paralela (horizontal). El modelo geológico - geotécnico y las características estratigráficas del perfil se construyó con

base en las observaciones y los datos estructurales tomados en campo. En la Figura 112. se muestran los resultados de los análisis de estabilidad para la condición estática del talud con su configuración actual, teniendo en cuenta los parámetros definidos en la Tabla 22. y la Tabla 23.

La sección PF-TS-1+560 se realizó con observación del terreno en campo y con ayuda de la línea sísmica IND-TN2-LRS-11 donde se estimó el espesor del suelo residual de acuerdo con lo observado en terreno y apiques realizados. La secuencia litológica de la sección se dibuja de acuerdo con las secuencias identificadas en secciones cercanas, sus espesores son estimados ya que no se cuenta con registro de subsuelo en el sector.

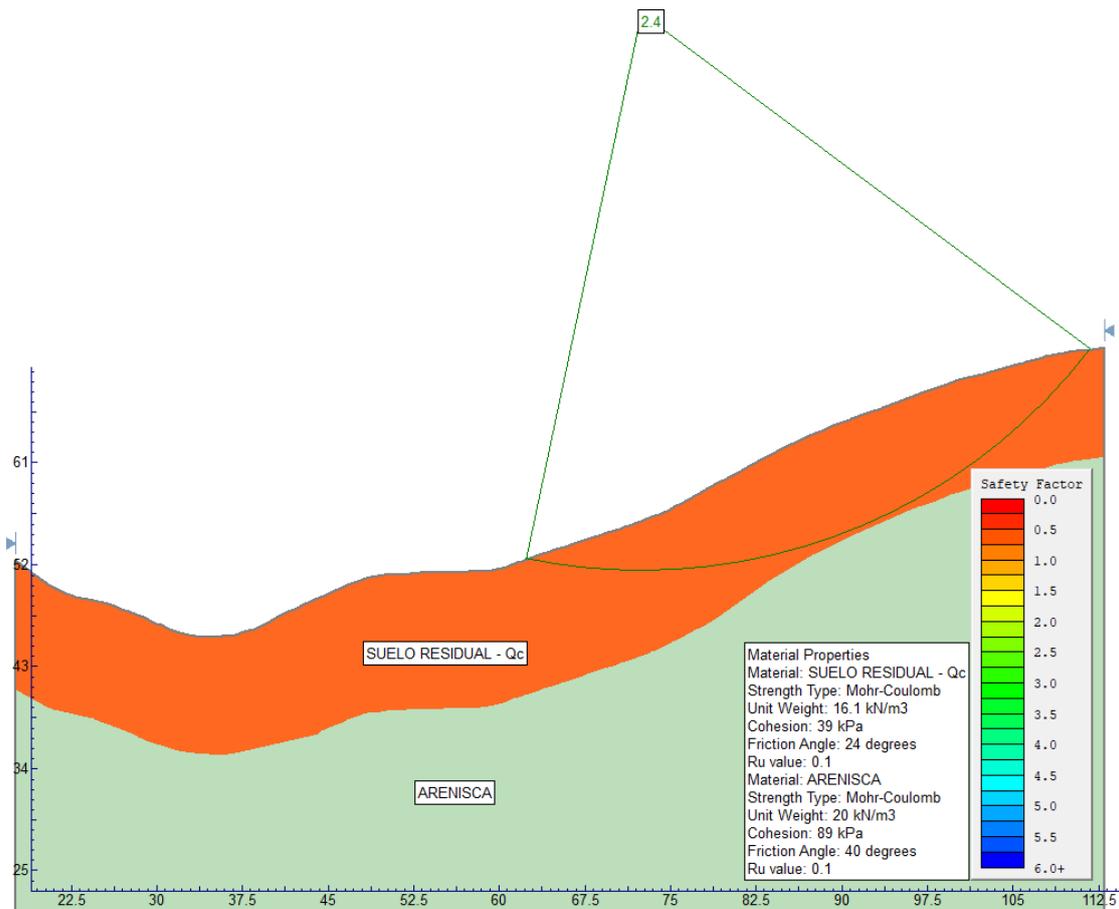


Figura 112. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-TS-1+560

Propuesta de corte

En la Figura 113, se presenta el resultados del análisis de estabilidad para la condición estática del corte propuesto, teniendo en cuenta los parámetros definidos en la Tabla 22 y Tabla 23. La excavación está conformada por taludes de 10.00 m de altura máxima, con una inclinación 0.5H : 1.0V (63°) y bermas intermedias de 3.00 m de ser necesario. Se recomienda implementar una protección con un manto permanente para el control de erosión Landlok 300 o equivalente, un geotextil de filtración y una malla metálica en áreas expuestas de suelos residuales con influencia coluvial y en áreas donde se genere la exposición de areniscas y

Lodolitas tobáceas meteorizadas de la Formación Caimito (ToCai) se plantea la conformación de una protección superficial conformada por concreto lanzado con un espesor de 0.1 m y malla electro soldada, tal como se especifica en el numeral 10.1.1.2. Los análisis pseudo-estáticos se presentan en el Anexo 19 y los resultados de los análisis con esta configuración se muestran de la Tabla 76, para la sección analizada incluyendo lluvia extrema con un $R_u = 0.20$.

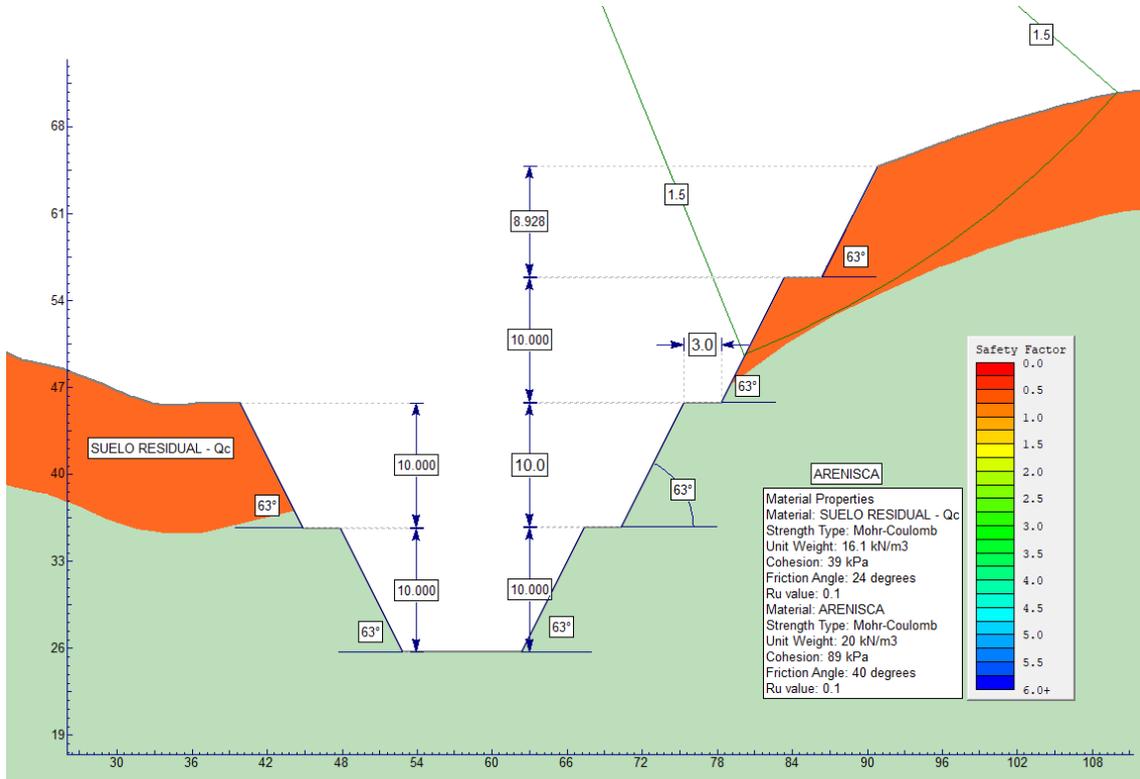


Figura 113. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-TS-1+560

Tabla 76. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-TS-1+560

Perfil de Análisis	FS. Condición Estática	FS. Condición Pseudo-estático	FS. Condición lluvia extrema $R_u = 0.20$
Condición Actual	2.4	1.9	2.3
Diseño propuesto	1.5	1.3	1.4



10.1.1.1.16. Tramo Acceso a Portal Salida Túnel de Transferencia (vía de uso Permanente)

Condición actual

Para el análisis de los cortes del Tramo de acceso a portal salida túnel de transferencia se consideró la sección crítica PF-PSTT-0+230, la cual está comprendida predominantemente por suelos residuales arcillosos originados a partir de las arenisca tobáceas de la Formación Caimito con influencia coluvial, hacia la sub-base de la vía se encuentra la Formación rocosa Caimito con estratificación Plano Paralela (horizontal). El modelo geológico - geotécnico y las características estratigráficas del perfil se construyó con base en las observaciones y los datos

estructurales tomados en campo. En la Figura 114. se muestran los resultados de los análisis de estabilidad para la condición estática del talud con su configuración actual, teniendo en cuenta los parámetros definidos en la Tabla 22. y la Tabla 23.

La sección PF-PSTT-0+230 se realizó con observación del terreno en campo, donde se estimó el espesor del suelo residual de acuerdo con lo observado en terreno y registros de perforación cercanos al sector y apique realizados. La secuencia litológica de la sección se dibuja de acuerdo con las secuencias identificadas en secciones cercanas, sus espesores son estimados ya que no se cuenta con registro de subsuelo en el sector.

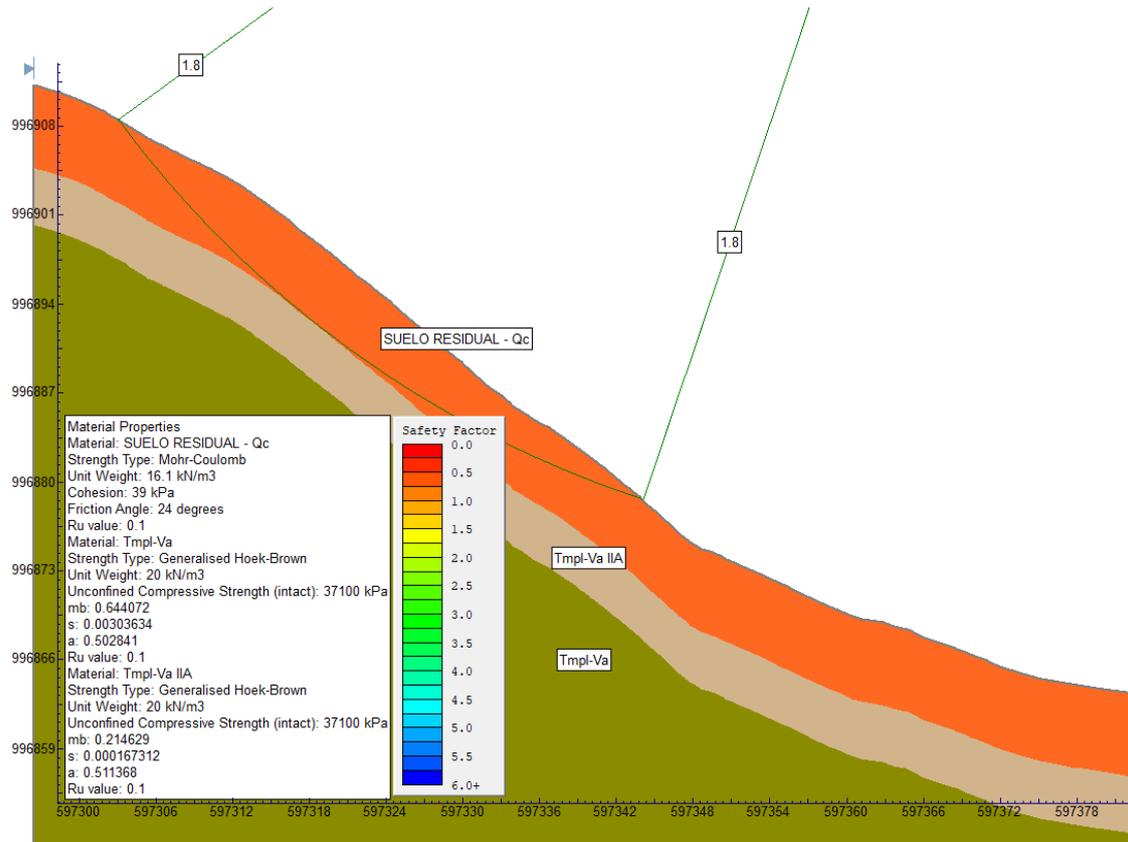


Figura 114. Análisis de estabilidad condición estática. Condición actual. Sección PF-PSTT-0+230

Propuesta de corte

En la Figura 115, se presenta el resultados del análisis de estabilidad para la condición estática del corte propuesto, teniendo en cuenta los parámetros definidos en la Tabla 22 y Tabla 23. La excavación está conformada por taludes de 10.00 m de altura máxima, con una inclinación 0.5H : 1.0V (63°) y bermas intermedias de 3.00 m de ser necesario. Se recomienda implementar una protección con un manto permanente para el control de erosión Landlok 300 o equivalente, un geotextil de filtración y una malla metálica en áreas expuestas de suelos residuales con influencia coluvial y en áreas donde se genere la exposición de areniscas y Lodolitas tobáceas meteorizadas de la Formación Caimito (ToCai) se plantea la conformación de una protección superficial conformada por concreto lanzado con un espesor de 0.1 m y

mallas electro soldadas, tal como se especifica en el numeral 10.1.1.2. Los análisis pseudo-estáticos se presentan en el Anexo 19 y los resultados de los análisis con esta configuración se muestran de la Tabla 77, para la sección analizada incluyendo lluvia extrema con un $R_u = 0.20$.

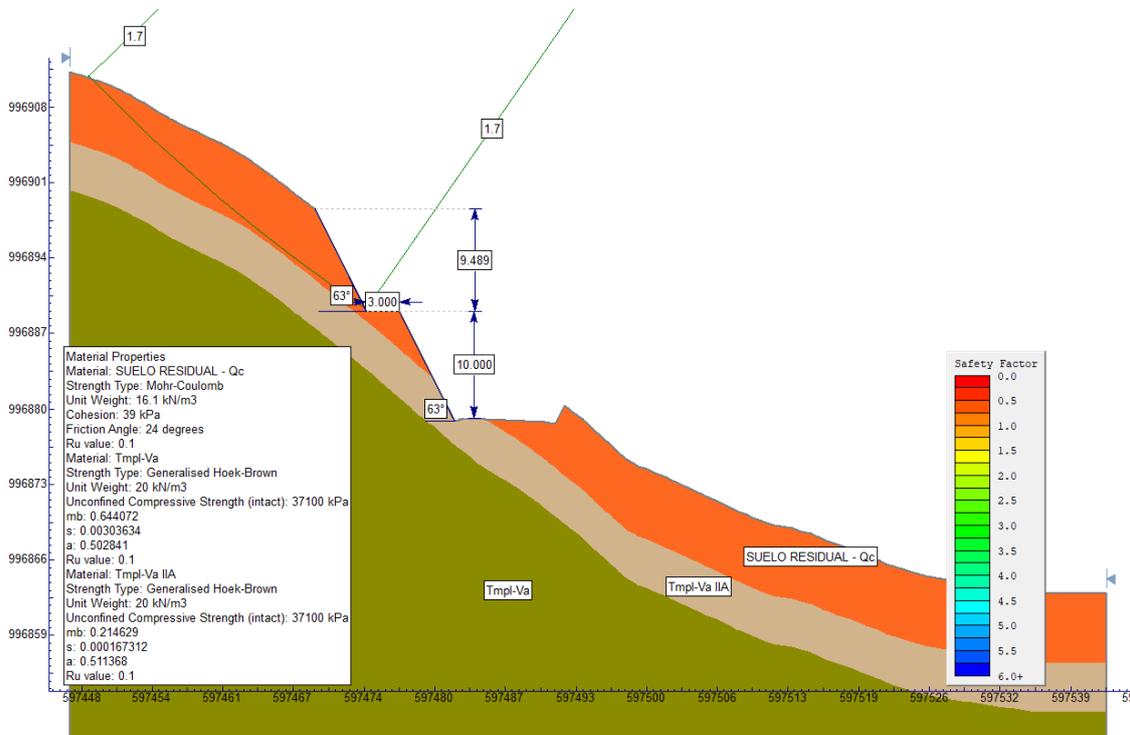


Figura 115. Análisis de estabilidad condición estática. Corte propuesto. Sección PF-PSTT-0+230

Tabla 77. Factores de seguridad de las condiciones analizadas. Sección PF-PSTT-0+230

Perfil de Análisis	FS. Condición Estática	FS. Condición Pseudo-estático	FS. Condición lluvia extrema $R_u = 0.20$
Condición Actual	1.8	1.5	1.7
Diseño propuesto	1.7	1.4	1.6

10.1.1.2. Geometría y medidas de Protección y/o Refuerzo

A partir de los análisis de la condición actual de los taludes y considerando la geometría del trazado, se evaluó la estabilidad de los perfiles considerados y se planteó la geometría de dichos cortes para cumplir los criterios definidos anteriormente y proporcionar un nivel adecuado de seguridad frente a las propiedades erosivas de los distintos materiales. De la Tabla 79 a la Tabla 93 se presentan las soluciones propuestas a partir de las observaciones en campo y los análisis de estabilidad para las secciones críticas de los tramos mencionados.

Considerando que los taludes propuestos presentan inclinaciones de 63° y considerando la susceptibilidad del suelo residual a la erosión, se recomienda implementar una protección con un manto permanente para el control de erosión Landlock 300 o equivalente, un geotextil de filtración y una malla metálica (tensión

longitudinal $\approx 30 - 50 \text{ kN/m}$) sujetos al talud, que permita proteger de la erosión superficial y retener el material degradado y los eventuales bloques susceptibles a desprendimiento. Se recomienda un geotextil no tejido que retenga el material fino que es susceptible al lavado a través de las demás capas de protección, la solución anteriormente descrita aplicará en las zonas donde quedará expuesto el suelo residual con influencia coluvial.

Para el predimensionamiento del sistema de protección con malla metálica se consideraron inestabilidades superficiales de 1.0 m de espesor horizontal, el ángulo de fricción interna y el peso unitario caracterizados en el capítulo 8.1. para los suelos residuales con influencia coluvial. En los análisis efectuados no se considera la cohesión para evaluar el caso más crítico. En la Figura 116. se presenta la configuración de malla anclada para los taludes de corte. En la Tabla 78. se presentan los parámetros usados para la modelación y las características de la malla y los respectivos anclajes necesarios para el funcionamiento del sistema de protección.

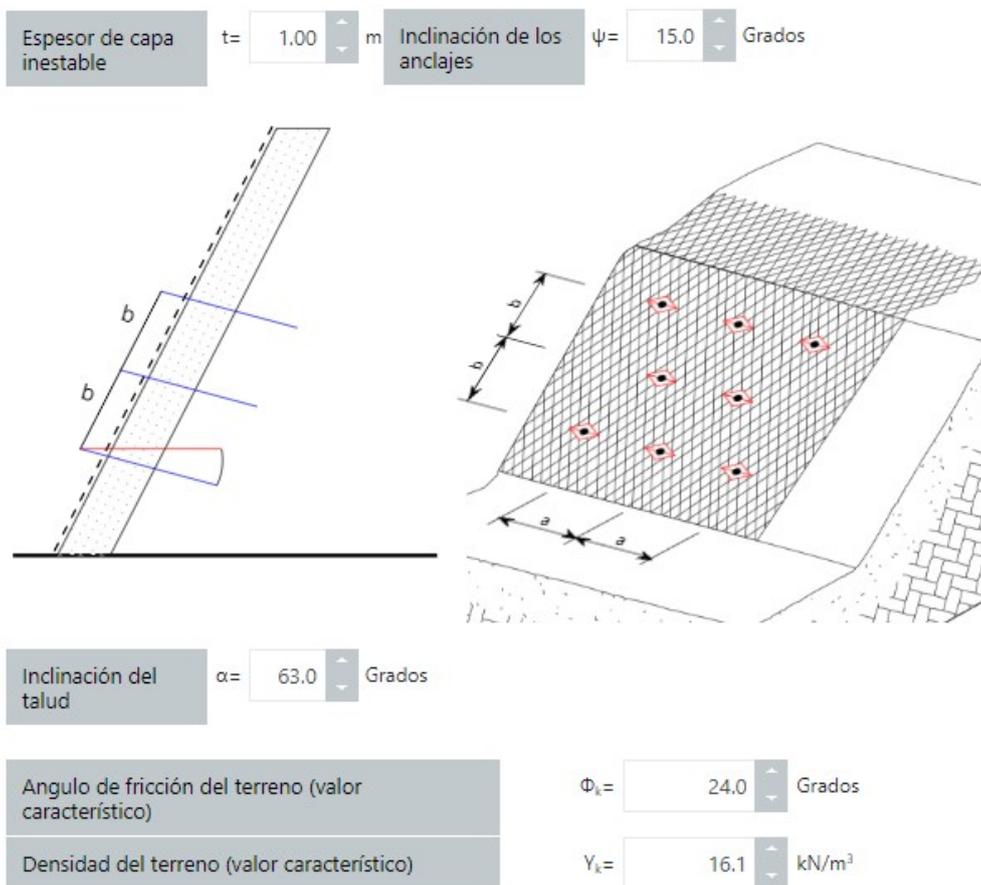


Figura 116. Configuración de mallas ancladas. Talud de corte en suelos residuales.

Tabla 78. Parámetros de diseño y características de la malla. Talud de corte en suelos residuales.

Parámetros de diseño	
Inclinación del talud (α)	63°
Espesor de la capa (t)	1.00 m
Ángulo de Fricción del Material (Φ_k)	24°

Peso unitario del Material (γ_k)	16.10 kN/m ³
Inclinación del anclaje con la horizontal (Ψ)	15°
Distancia horizontal del anclaje (a)	2.40
Distancia del anclaje en línea con el talud (b)	2.40
Elementos del sistema	
Resistencia de la malla a la tensión paralela al talud (Z_R)	30 kN
Resistencia de la malla al esfuerzo de presión en la dirección del anclaje (D_R)	180 kN
Resistencia de la malla al corte en la dirección del anclaje (P_R)	90 kN
Resistencia del anclaje a la tensión (T_{Rred})	173 kN
Resistencia del anclaje al esfuerzo cortante (S_{Rred})	100 kN
Sección transversal del anclaje aplicado (A_{red})	346 mm ²
Diámetro del anclaje	1" (25mm)
Longitud de empotramiento	9.00 m
Resistencia mínima en el anclaje para inestabilidades superficiales	
Fuerza de tracción equivalente estática en el anclaje para determinar la longitud del mismo (T_a)	115.3 kN

Considerando que en algunos tramos de las vías proyectadas se generará la exposición de areniscas y Lodolitas tobáceas meteorizadas de la Formación Caimito (ToCai) se plantea la conformación de una protección superficial para estas rocas conformada por concreto lanzado con un espesor de 0.1 m y malla electro soldada, sujetado al talud mediante varillas de acero corrugado con resistencia a la rotura de 420 MPa, de 1.0 pulgadas de diámetro y 6.0 m de longitud al tres-bolillo con espaciamiento horizontal y vertical de 2.0 m., el concreto lanzado debe ir acompañado de lloraderos de 0.5 m de profundidad y 2 pulgadas de diámetro espaciados cada 2.0 m en ambas direcciones. Esta solución se plantea con el fin de proteger la roca expuesta a los agentes causantes del fenómeno de meteorización y deterioro del material expuesto.

Tabla 79. Taludes de corte Tramo 1. Geometría propuesta.

Tramo	Calzada	Abscis a Inicio	Abscisa Final	Tipo	Geometría	
					Suelo Residual con influencia coluvial	Areniscas y Lodolitas tobáceas
1	Derecha	K00+53 0	K00+67 0	Corte	Taludes con berma de 3.00 m en 0.5 H : 1.0V (63°), altura de 10 m. Protección con manto permanente para el control de erosión Landlok 300 o equivalente, geotextil y malla metálica.	Taludes con berma de 3.00 m en 0.5 H : 1.0V (63°), altura de 10 m. Concreto lanzado e = 0.1 m y malla electro soldada, pernos de 1.0" de diámetro y L = 6.0 m al tresbolillo con espaciamiento horizontal y vertical de 2.0 m, lloraderos de 0.5 m de profundidad y 2.0" de diámetro espaciados cada 2.0 m en ambas direcciones
	Derecha	K00+70 0	K00+88 0	Corte		
	Derecha	K02+18 0	K02+30 0	Corte		
	Derecha	K02+35 0	K02+61 0	Corte		
	Derecha	K02+22 0	K03+61 0	Corte		
	Izquierda	K02+73 0	K03+60 0	Corte		
	Izquierda	K05+41 0	K06+06 0	Corte		

Tabla 80. Taludes de corte Tramo 2. Geometría propuesta.

Tramo	Calzada	Abscis a Inicio	Abscisa Final	Tipo
-------	---------	-----------------	---------------	------

2	Derecha	K02+980	K03+250	Corte
	Izquierda	K01+280	K01+390	Corte
	Izquierda	K01+430	K01+920	Corte
	Izquierda	K02+850	K02+910	Corte
	Izquierda	K03+010	K03+310	Corte

Considerando que el tramo 2 corresponde a una vía de uso Temporal las recomendaciones de las medidas de protección propuestas solo aplicarían en caso de ser necesarias a criterio del constructor según el grado de importancia de este corredor durante la etapa constructiva.

Tabla 81. Taludes de corte Tramo 3. Geometría propuesta.

Tramo	Calzada	Abscisa Inicio	Abscisa Final	Tipo	Geometría	
					Suelo Residual con influencia coluvial	Areniscas y Lodolitas tobáceas
3	Derecha	K01+570	K01+750	Corte	Taludes con berma de 3,00 m en 0.5 H : 1.0V (63°), altura de 10 m. Protección con manto permanente para el control de erosión Landlok 300 o equivalente, geotextil y malla metálica.	Taludes con berma de 3.00 m en 0.5 H : 1.0V (63°), altura de 10 m. Concreto lanzado e = 0.1 m y malla electro soldada, pernos de 1.0" de diámetro y L = 6.0 m al tresbolillo con espaciamiento horizontal y vertical de 2.0 m, lloraderos de 0.5 m de profundidad y 2.0" de diámetro espaciados cada 2.0 m en ambas direcciones.
	Derecha	K02+190	K02+770	Corte		
	Derecha	K04+560	K04+660	Corte		
	Derecha	K04+940	K05+170	Corte		
	Derecha	K05+210	K05+490	Corte		
	Derecha	K05+520	K05+980	Corte		
	Derecha	K06+010	K06+120	Corte		
	Derecha	K06+260	K06+855	Corte		
	Derecha	K06+890	K07+370	Corte		
	Derecha	K07+800	K08+130	Corte		
	Derecha	K08+630	K09+410	Corte		
	Derecha	K09+430	K09+900	Corte		
	Derecha	K10+160	K10+270	Corte		
	Derecha	K10+950	K11+140	Corte		
	Izquierda	K00+290	K00+320	Corte		
	Izquierda	K03+290	K04+120	Corte		
	Izquierda	K04+290	K04+630	Corte		
Izquierda	K04+790	K05+020	Corte			
Izquierda	K07+94	K08+30	Corte			

	a	0	0		
	Izquierda	K08+320	K08+680	Corte	
	Izquierda	K10+160	K10+500	Corte	
	Izquierda	K10+720	K11+120	Corte	

Tabla 82. Taludes de corte Tramo 4. Geometría propuesta.

Tramo	Calzada	Abscisa Inicio	Abscisa Final	Tipo	Geometría
					Suelo Residual con influencia coluvial
4	Derecha	K00+285	K00+640	Corte	Taludes con berma de 3.00 m en 0.5 H : 1.0V (63°), altura de 10 m. Protección con manto permanente para el control de erosión Landlok 300 o equivalente, geotextil y malla metálica.

Tabla 83. Taludes de corte Tramo 5. Geometría propuesta.

Tramo	Calzada	Abscisa Inicio	Abscisa Final	Tipo
5	Derecha	K00+140	K00+240	Corte

Considerando que los tramos 5 y 6 corresponde a vías de uso Temporal, las recomendaciones de las medidas de protección propuestas solo aplicarían en caso de ser necesarias a criterio del constructor según el grado de importancia de este corredor durante la etapa constructiva.

Tabla 84. Taludes de corte Tramo 6. Geometría propuesta.

Tramo	Calzada	Abscisa Inicio	Abscisa Final	Tipo
6	Derecha	K00+700	K01+480	Corte
	Derecha	K01+500	K02+020	Corte

Tabla 85. Taludes de corte Tramo 7. Geometría propuesta.

Tramo	Calzada	Abscisa Inicio	Abscisa Final	Tipo	Geometría	
					Suelo Residual con influencia coluvial	Areniscas y Lodolitas tobáceas
7	Derecha	K00+450	K00+590	Corte	Taludes con berma de 3,00 m en 0.5 H: 1.0V (63°), altura de 10 m. Protección con manto permanente para el control de	Taludes con berma de 3.00 m en 0.5 H: 1.0V (63°), altura de 10 m. Concreto lanzado e = 0.1 m y malla electro soldada, pernos de 1.0" de

Derecha	K01+79 0	K02+12 0	Corte	erosión Landlok 300 o equivalente, geotextil y malla metálica.	diámetro y L = 6.0 m al tresbolillo con espaciamento horizontal y vertical de 2.0 m, lloraderos de 0.5 m de profundidad y 2.0" de diámetro espaciados cada 2.0 m en ambas direcciones.
Izquierda	K00+70 0	K02+12 0	Corte		

Tabla 86. Taludes de corte Ventana 2. Geometría propuesta.

Tramo	Calzada	Abscisa Inicio	Abscisa Final	Tipo	Geometría	
					Suelo Residual con influencia coluvial	Areniscas y Lodolitas tobáceas
Ventana 2	Derecha	K00+05 0	K00+63 4	Corte	Taludes con berma de 3,00 m en 0.5 H: 1.0V (63°), altura de 10 m. Protección con manto permanente para el control de erosión Landlok 300 o equivalente, geotextil y malla metálica.	Taludes con berma de 3.00 m en 0.5 H: 1.0V (63°), altura de 10 m. Concreto lanzado e = 0.1 m y malla electro soldada, pernos de 1.0" de diámetro y L = 6.0 m al tresbolillo con espaciamento horizontal y vertical de 2.0 m, lloraderos de 0.5 m de profundidad y 2.0" de diámetro espaciados cada 2.0 m en ambas direcciones.
	Izquierda	K00+00 0	K00+61 0	Corte		

Tabla 87. Taludes de corte Pozo de Compuertas Túnel Transversal. Geometría propuesta.

Tramo	Calzada	Abscisa Inicio	Abscisa Final	Tipo	Geometría	
					Suelo Residual con influencia coluvial	Areniscas y Lodolitas tobáceas
Pozo de compuertas	Derecha	K00+00 0	K00+770	Corte	Taludes con berma de 3,00 m en 0.5 H : 1.0V (63°), altura de 10 m. Protección con manto permanente para el control de erosión Landlok 300 o equivalente, geotextil y malla metálica.	Taludes con berma de 3.00 m en 0.5 H : 1.0V (63°), altura de 10 m. Concreto lanzado e = 0.1 m y malla electro soldada, pernos de 1.0" de diámetro y L = 6.0 m al tresbolillo con espaciamento horizontal y vertical de 2.0 m, lloraderos de 0.5 m de profundidad y 2.0" de diámetro espaciados cada 2.0 m en ambas direcciones.

Tabla 88. Taludes de corte Galería De Acceso. Geometría propuesta.

Tramo	Calzada	Abscisa Inicio	Abscisa Final	Tipo	Geometría	
					Suelo Residual con influencia coluvial	Areniscas y Lodolitas tobáceas

Galería de acceso	Izquierda	K00+00	K00+42	Corte	Taludes con berma de 3.00 m en 0.5 H : 1.0V (63°), altura de 10 m. Protección con manto permanente para el control de erosión Landlok 300 o equivalente, geotextil y malla metálica.	Taludes con berma de 3.00 m en 0.5 H: 1.0V (63°), altura de 10 m. Concreto lanzado e = 0.1 m y malla electro soldada, pernos de 1.0" de diámetro y L = 6.0 m al tres-bolillo con espaciado horizontal y vertical de 2.0 m, lloraderos de 0.5 m de profundidad y 2.0" de diámetro espaciados cada 2.0 m en ambas direcciones.
-------------------	-----------	--------	--------	-------	--	--

Tabla 89. Taludes de corte Acceso Ataguía. Geometría propuesta.

Tramo	Calzada	Abscisa Inicio	Abscisa Final	Tipo
Ataguía	Izquierda	K00+00	K00+26	Corte



Tabla 90. Taludes de corte Acceso Contraataguía y Vertedero. Geometría propuesta.

Tramo	Calzada	Abscisa Inicio	Abscisa Final	Tipo	Geometría	
					Suelo Residual con influencia coluvial	Areniscas y Lodolitas tobaceas
Acceso Contraataguía y Vertedero	Derecha	K00+00	K00+01	Corte	Taludes con berma de 3,00 m en 0,5 H: 1,0V (63°), altura de 10 m. Protección con manto permanente para el control de erosión Pyramat o equivalente, geotextil y malla metálica.	Taludes con berma de 3,00 m en 0,5 H: 1,0V (63°), altura de 10 m. Concreto lanzado e = 0,1 m y malla electro soldada, pernos de 1.0" de diámetro y L = 6.0 m al tres-bolillo con espaciado horizontal y vertical de 2,0 m, lloraderos de 0,5 m de profundidad y 2.0" de diámetro espaciados cada 2,0 m en ambas direcciones.
	Derecha	K00+03	K00+04	Corte		
	Derecha	K00+05	K00+12	Corte		
	Derecha	K00+14	K00+20	Corte		
	Derecha	K00+43	K00+44	Corte		
	Derecha	K00+45	K00+51	Corte		
	Derecha	K00+59	K00+67	Corte		
	Derecha	K00+93	K01+00	Corte		
	Derecha	K01+01	K01+07	Corte		
	Derecha	K01+13	K01+16	Corte		
	Derecha	K01+17	K01+24	Corte		
	Derecha	K01+25	K01+39	Corte		
	Derecha	K01+56	K01+59	Corte		
Derecha	K01+61	K01+63	Corte			

		8	0	e		
Derecha	K01+84	0	K01+88	0	Corte	
Derecha	K01+90	3	K02+58	0	Corte	
Derecha	K02+59	7	K02+61	4	Corte	
Izquierda	K00+00	0	K00+52	3	Corte	
Izquierda	K00+60	2	K00+66	8	Corte	
Izquierda	K00+91	2	K01+06	2	Corte	
Izquierda	K01+09	6	K01+27	0	Corte	
Izquierda	K01+27	5	K01+59	4	Corte	
Izquierda	K01+61	3	K01+64	7	Corte	
Izquierda	K01+68	4	K01+70	0	Corte	
Izquierda	K01+77	6	K01+79	5	Corte	
Izquierda	K01+90	2	K01+92	8	Corte	
Izquierda	K01+93	6	K02+21	8	Corte	
Izquierda	K02+22	5	K02+26	0	Corte	
Izquierda	K02+26	4	K02+28	8	Corte	
Izquierda	K02+29	4	K02+51	0	Corte	
Izquierda	K02+52	0	K02+57	6	Corte	
Izquierda	K02+61	0	K02+64	1	Corte	



Tabla 91. Taludes de corte Acceso Norte. Geometría propuesta.

Tramo	Calzada	Abscisa Inicio	Abscisa Final	Tipo	Geometría	
					Suelo Residual con influencia coluvial	Areniscas y Lodolitas tobaceas
Tramo Norte	Derecha	K06+73	K06+80	Corte	Taludes con berma de 3,00 m en 0,5 H: 1,0V (63°), altura de 10 m. Protección con manto permanente para el control de erosión Pyramat o equivalente, geotextil y malla metálica.	Taludes con berma de 3,00 m en 0,5 H: 1,0V (63°), altura de 10 m. Concreto lanzado e = 0,1 m y malla electro soldada, pernos de 1.0" de diámetro y L = 6.0 m al tres-bolillo con espaciamiento horizontal y vertical de 2,0 m, lloraderos de 0,5 m de profundidad y 2.0" de diámetro espaciados cada 2,0 m en ambas direcciones.
	Derecha	K06+81	K06+88	Relleno		
	Derecha	K06+89	K06+90	Corte		
	Derecha	K06+91	K06+92	Relleno		
	Derecha	K06+93	K06+95	Corte		
	Derecha	K06+96	K06+97	Relleno		

	Derecha	K06+98 0	K07+08 0	Corte		
	Izquierda	K06+73 0	K06+80 0	Corte		
	Izquierda	K06+96 0	K07+08 0	Corte		

Tabla 92. Taludes de corte Acceso Sur. Geometría propuesta.



Tramo	Calzada	Abscisa Inicio	Abscisa Final	Tipo	Geometría	
					Suelo Residual con influencia coluvial	Areniscas y Lodolitas tobaceas
Tramo sur	Derecha	K00+04 0	K00+08 0	Corte	Taludes con berma de 3,00 m en 0,5 H: 1,0V (63°), altura de 10 m. Protección con manto permanente para el control de erosión Pyramat o equivalente, geotextil y malla metálica.	Taludes con berma de 3,00 m en 0,5 H: 1,0V (63°), altura de 10 m. Concreto lanzado e = 0,1 m y malla electro soldada, pernos de 1.0" de diámetro y L = 6.0 m al tres-bolillo con espaciamiento horizontal y vertical de 2,0 m, lloraderos de 0,5 m de profundidad y 2.0" de diámetro espaciados cada 2,0 m en ambas direcciones.
	Derecha	K00+12 0	K00+16 0	Corte		
	Derecha	K00+91 0	K00+99 0	Corte		
	Derecha	K01+07 0	K01+83 0	Corte		
	Derecha	K01+84 0	K01+87 0	Corte		
	Derecha	K01+88 0	K02+55 0	Corte		
	Derecha	K02+61 0	K02+81 0	Corte		
	Derecha	K02+84 0	K03+04 0	Corte		
	Derecha	K03+09 0	K03+61 0	Corte		
	Derecha	K03+68 0	K03+69 0	Corte		
	Derecha	K03+76 0	K03+83 0	Corte		
	Derecha	K03+87 0	K03+95 0	Corte		
	Derecha	K04+25 0	K04+32 0	Corte		
	Derecha	K04+42 0	K04+63 0	Corte		
	Derecha	K04+68 0	K04+73 0	Corte		
	Derecha	K04+83 0	K05+01 0	Corte		
	Derecha	K05+06 0	K05+10 0	Corte		
	Derecha	K05+22 0	K05+41 0	Corte		
	Derecha	K05+46 0	K05+52 0	Corte		
	Izquierda	K00+00 0	K00+15 0	Corte		
Izquierda	K00+18 0	K00+21 0	Corte			
Izquierda	K00+31 0	K00+35 0	Corte			
Izquierda	K00+91 0	K00+99 0	Corte			

Izquierda	K01+08 0	K01+83 0	Corte
Izquierda	K02+09 0	K02+47 0	Corte
Izquierda	K02+61 0	K02+76 0	Corte
Izquierda	K02+85 0	K02+92 0	Corte
Izquierda	K03+00 0	K03+02 0	Corte
Izquierda	K03+10 0	K03+61 0	Corte
Izquierda	K03+66 0	K03+73 0	Corte
Izquierda	K03+76 0	K03+83 0	Corte
Izquierda	K03+90 0	K03+94 0	Corte
Izquierda	K04+16 0	K04+17 0	Corte
Izquierda	K04+22 0	K04+33 0	Corte
Izquierda	K04+43 0	K04+61 0	Corte
Izquierda	K04+69 0	K04+73 0	Corte
Izquierda	K04+82 0	K04+96 0	Corte
Izquierda	K05+00 0	K05+08 0	Corte
Izquierda	K05+23 0	K05+37 0	Corte
Izquierda	K05+44 0	K05+57 0	Corte
Izquierda	K05+60 0	K05+69 0	Corte



Tabla 93. Taludes de corte Acceso a Portal Salida Túnel de Transferencia. Geometría propuesta.

	Calzada	Abscisa Inicio	Abscisa Final	Tipo	Material	Geometría	
						Suelo Residual con influencia coluvial	Areniscas y Lodolitas tobaceas
Portal Salida Túnel de Transferencia	Izquierda	K00+000	K00+740	Corte	Sr-Tmpl-va	Taludes con berma de 3,00 m en 0,5 H: 1,0V (63°), altura de 10 m. Protección con manto permanente para el control de erosión Pyramat o	Taludes con berma de 3,00 m en 0,5 H: 1,0V (63°), altura de 10 m. Concreto lanzado e = 0,1 m y malla electro soldada, pernos de 1.0" de diámetro y L = 6.0 m al
Tramo							

						equivalente, geotextil y malla metálica. tres-bolillo con espaciament o horizontal y vertical de 2,0 m, lloraderos de 0,5 m de profundidad y 2.0" de diámetro espaciados cada 2,0 m en ambas direcciones.
Izquierda	K00+780	K00+870	Corte	Sr-Tmpl-va		
Izquierda	K00+890	K01+070	Corte	Sr-Tmpl-va		
Izquierda	K01+097	K01+251	Corte	Sr-Tmpl-va		
Izquierda	K01+260	K01+685	Corte	Sr-Tmpl-va		
Izquierda	K01+695	K01+839	Corte	Sr-Tmpl-va		
Izquierda	K01+850	K01+854	Corte	Sr-Tmpl-va		
Derecha	K00+007	K00+076	Corte	Sr-Tmpl-va		
Derecha	K00+102	K00+158	Corte	Sr-Tmpl-va		
Derecha	K00+186	K00+207	Corte	Sr-Tmpl-va		
Derecha	K00+222	K00+295	Corte	Sr-Tmpl-va		
Derecha	K00+306	K00+363	Corte	Sr-Tmpl-va		
Derecha	K00+378	K00+427	Corte	Sr-Tmpl-va		
Derecha	K00+438	K00+592	Corte	Sr-Tmpl-va		
Derecha	K00+642	K00+725	Corte	Sr-Tmpl-va		
Derecha	K00+780	K00+870	Corte	Sr-Tmpl-va		
Derecha	K00+909	K00+925	Corte	Sr-Tmpl-va		
Derecha	K01+005	K01+063	Corte	Sr-Tmpl-va		
Derecha	K01+107	K01+130	Corte	Sr-Tmpl-va		
Derecha	K01+152	K01+249	Corte	Sr-Tmpl-va		
Derecha	K01+265	K01+273	Corte	Sr-Tmpl-va		
Derecha	K01+298	K01+571	Corte	Sr-Tmpl-va		
Derecha	K01+585	K01+650	Corte	Sr-Tmpl-va		
Derecha	K01+712	K01+735	Corte	Sr-Tmpl-va		
Derecha	K01+763	K01+790	Corte	Sr-Tmpl-va		

10.1.2. Terraplenes

Dentro de las actividades para la conformación de la vía se generan terraplenes de alturas variables que alcanzan una altura máxima de 16 m. De la Tabla 94 a la Tabla 107 se consignan los terraplenes propuestos en el diseño geométrico junto con su altura máxima de cada uno de los tramos. Basados en la caracterización de los materiales realizada en el Numeral 8.1.1.6 y los modelos geológico - geotécnicos elaborados a partir de la información relacionada en el Capítulo 10.1.1, se realizaron los análisis para evaluar la estabilidad global de los terraplenes de relleno. En dichos análisis se utilizaron seis secciones críticas seleccionadas en función de las alturas máximas mayores a 10.00 m y de los materiales que servirán de soporte a los terraplenes.

Tabla 94. Terraplenes proyectados para la ejecución de la vía Tramo 1

TRAMO 1					
Abscisa	Carril Izquierdo		Carril derecho		Material
	H. Terraplén	Angulo Terraplén	H. Terraplén	Angulo Terraplén	

K00+000	2.90	34			Sr-ToCai
K00+690	5.60	34			Sr-ToCai
K01+710	1.70	34			Sr-ToCai
K01+850	1.20	34			Sr-ToCai
K01+950	0.90	34			Sr-ToCai
K02+320	2.30	34	3.50	34	Sr-ToCai
K04+190	2.30	34	0.70	34	Sr-ToCai
K04+540	1.30	34			Sr-ToCai
K04+680	2.10	34			Sr-ToCai
K04+740	2.00	34			Sr-ToCai
K05+000	2.40	34			Sr-ToCai
K05+180	12.80	34	1.90	34	Sr-ToCai
K05+610			8.00	34	Sr-ToCai
K05+730			3.40	34	Sr-ToCai
K05+770			4.80	34	Sr-ToCai
K05+930			0.30	34	Sr-ToCai
K06+250	1.30	34	2.40	34	Sr-ToCai
K06+460			1.10	34	Sr-ToCai
K06+500	0.80	34	1.30	34	Sr-ToCai

Tabla 95. Terraplenes proyectados para la ejecución de la vía Tramo 2

Tramo 2					
Abscisa	Carril izquierdo		Carril derecho		Material
	H. Terraplén	Angulo Terraplén	H. Terraplén	Angulo Terraplén	
K00+450	0.80	34			Sr-ToCai
K00+540	0.30	34	3.10	34	Sr-ToCai
K01+010	1.30	34	1.20	34	Sr-ToCai
K01+160	1.20	34	1.00	34	Sr-ToCai
K00+800	1.20	34	4.00	34	Sr-ToCai
K01+410	0.70	34	4.00	34	Sr-ToCai
K01+540			1.90	34	Sr-ToCai
K01+580			3.50	34	Sr-ToCai
K01+890			0.80	34	Sr-ToCai
K01+940	1.00	34	0.40	34	Sr-ToCai
K02+170			0.40	34	Sr-ToCai
K02+300	0.60	34	1.40	34	Sr-ToCai
K02+940	1.70	34	0.60	34	Sr-ToCai
K02+990	0.70	34			Sr-ToCai
K03+410	1.40	34	1.00	34	Sr-ToCai
K03+460	1.20	34	1.10	34	Sr-ToCai

K03+540	1.00	34	1.10	34	Sr-ToCai
K03+640	1.90	34	2.50	34	Sr-ToCai
K03+660	5.20	34	4.00	34	Sr-ToCai
K03+700			1.00	34	Sr-ToCai

Tabla 96. Terraplenes proyectados para la ejecución de la vía Tramo 3

Tramo 3					
Abscisa	Carril Izquierdo		Carril derecho		Material
	H. Terraplén	Angulo Terraplén	H. Terraplén	Angulo Terraplén	
K00+040	1.52	34.00			Sr-ToCai
K00+460			0.87	34.00	Sr-ToCai
K00+500	0.56	34.00	1.32	34.00	Sr-ToCai
K00+530	2.20	34.00	3.18	34.00	Sr-ToCai
K01+120	0.58	34.00	0.29	34.00	Sr-ToCai
K01+350	1.11	34.00	0.90	34.00	Sr-ToCai
K01+800	1.16	34.00	0.92	34.00	Sr-ToCai
K01+870	4.60	34.00			Sr-ToCai
K02+090	3.10	34.00			Sr-ToCai
K02+160	9.40	34.00			Sr-ToCai
K02+280	1.43	34.00			Sr-ToCai
K02+320	5.23	34.00			Sr-ToCai
K02+800	11.04	34.00	10.06	34.00	Sr-ToCai
K02+850	9.30	34.00	17.90	34.00	Sr-ToCai
K02+900	7.39	34.00	13.11	34.00	Sr-ToCai
K02+950	5.78	34.00	10.39	34.00	Sr-ToCai
K03+000	1.41	34.00	5.38	34.00	Sr-ToCai
K03+050	1.93	34.00	4.16	34.00	Sr-ToCai
K03+100	9.69	34.00	5.82	34.00	Sr-ToCai
K03+150	11.94	34.00	10.83	34.00	Sr-ToCai
K03+200	7.30	34.00	7.55	34.00	Sr-ToCai
K03+240	1.24	34.00	1.78	34.00	Sr-ToCai
K03+290			7.51	34.00	Sr-ToCai
K03+350			2.43	34.00	Sr-ToCai
K03+500			0.88	34.00	Sr-ToCai
K03+550			1.44	34.00	Sr-ToCai
K04+150	15.54	34.00	13.21	34.00	Sr-ToCai
K04+200	18.22	34.00	2.19	34.00	Sr-ToCai
K04+250	9.82	34.00	3.46	34.00	Sr-ToCai
K05+190	2.27	34.00	1.45	34.00	Sr-ToCai
K06+140	1.17	34.00	0.81	34.00	Sr-ToCai
K06+300	6.37	34.00			Sr-ToCai
K06+500	7.67	34.00			Sr-ToCai

K06+700	0.78	34.00			Sr-ToCai
K07+400	1.89	34.00	3.69	34.00	Sr-ToCai
K07+530	5.17	34.00	1.89	34.00	Sr-ToCai
K08+150			2.42	34.00	Sr-ToCai
K10+110	5.56	34.00			Sr-ToCai
K10+530	1.75	34.00	2.08	34.00	Sr-ToCai
K10+610			9.25	34.00	Sr-ToCai
K10+700	1.51	34.00	3.00	34.00	Sr-ToCai

Tabla 97. Terraplenes proyectados para la ejecución de la vía Tramo 4

Tramo 4					
Abscisa	Carril izquierdo		Carril derecho		Material
	H. Terraplén	Angulo Terraplén	H. Terraplén	Angulo Terraplén	
K00+100	1.50	34.00			Sr-ToCai
K00+200			0.92	34.00	Sr-ToCai
K00+400	9.45	34.00			Sr-ToCai
K00+450	4.67	34.00			Sr-ToCai
K00+500	0.79	34.00			Sr-ToCai
K00+650			0.98	34.00	Sr-ToCai
K00+750	0.39	34.00			Sr-ToCai

Tabla 98. Terraplenes proyectados para la ejecución de la vía Tramo 5

Tramo 5					
Abscisa	Carril izquierdo		Carril derecho		Material
	H. Terraplén	Angulo Terraplén	H. Terraplén	Angulo Terraplén	
K00+140	0.88	34.00			Sr-ToCai
K00+150	0.21	34.00			Sr-ToCai
K00+240	2.90	34.00			Sr-ToCai
K00+247			0.83	34.00	Sr-ToCai

Tabla 99. Terraplenes proyectados para la ejecución de la vía Tramo 6

Tramo 6					
Abscisa	Carril izquierdo		Carril derecho		Material
	H. Terraplén	Angulo Terraplén	H. Terraplén	Angulo Terraplén	
K00+050	0.38	34.00			Sr-ToCai
K00+450	0.62	34.00	0.31	34.00	Sr-ToCai
K00+500	0.38	34.00	1.07	34.00	Sr-ToCai
K00+550	0.13	34.00	0.83	34.00	Sr-ToCai

Tabla 100. Terraplenes proyectados para la ejecución de la vía Tramo 7

Tramo 7					
Abscisa	Carril izquierdo		Carril derecho		Material
	H. Terraplén	Angulo Terraplén	H. Terraplén	Angulo Terraplén	
K00+520	2.43	34			Sr-ToCai
K00+620			2.00	34	Sr-ToCai
K01+290			1.76	34	Sr-ToCai

Tabla 101. Terraplenes proyectados para la ejecución de la vía Tramo Ventana 2

Ventana 2					
Abscisa	Carril izquierdo		Carril derecho		Material
	H. Terraplén	Angulo Terraplén	H. Terraplén	Angulo Terraplén	
K00+634	0.79	34.00			Sr-ToCai



Tabla 102. Terraplenes proyectados para la ejecución de la vía Tramo Acceso Contraatagüa y Vertedero

Acceso a Contraatagüa y Vertedero					
Abscisa	Carril izquierdo		Carril derecho		Material
	H. Terraplén	Angulo Terraplén	H. Terraplén	Angulo Terraplén	
K00+140			3.1	33.69	Sr-ToCai
K00+250			0.98	33.69	Sr-ToCai
K00+290			3.05	33.69	Sr-ToCai
K00+360			3.48	33.69	Sr-ToCai
K00+540	6.52	33.69	1.95	33.69	Sr-ToCai
K00+580	1.67	33.69	0.85	33.69	Sr-ToCai
K00+690	5.48	33.69	5.23	33.69	Sr-ToCai
K00+910			2.41	33.69	Sr-ToCai
K01+070	3.28	33.69			Sr-ToCai
K01+120			4.19	33.69	Sr-ToCai
K01+250			0.07	33.69	Sr-ToCai
K01+400			1.35	33.69	Sr-ToCai
K01+500			2.2	33.69	Sr-ToCai
K01+550			1.03	33.69	Sr-ToCai
K01+600	1.83	33.69	1.58	33.69	Sr-ToCai
K01+650	0.38	33.69	2.29	33.69	Sr-ToCai
K01+700	0.63	33.69	2.73	33.69	Sr-ToCai

K01+750	1.12	33.69	1.93	33.69	Sr-ToCai
K01+800	2	33.69	2.18	33.69	Sr-ToCai
K01+850	3.24	33.69			Sr-ToCai
K01+890	2.14	33.69	1.42	33.69	Sr-ToCai
K02+590	15.05	33.69	2.47	33.69	Sr-ToCai

Tabla 103. Terraplenes proyectados para la ejecución de la vía Tramo Acceso a Portal Entrada Galería de Acceso

Acceso A Portal Entrada Galería de Acceso					
Abscisa	Carril Izquierdo		Carril derecho		Material
	H. Terraplén	Angulo Terraplén	H. Terraplén	Angulo Terraplén	
K00+005			1.18	34	Sr-ToCai
K00+030			14.66	34	Sr-ToCai
K00+055			5.24	34	Sr-ToCai
K00+440			2.49	34	Sr-ToCai
K00+465	1.04	34.00	5.25	34	Sr-ToCai

Tabla 104. Terraplenes proyectados para la ejecución de la vía Tramo Acceso Pozo de Compuertas Túnel Traslase

Acceso Pozo de Compuertas Túnel Traslase					
ABSCISA	Carril Izquierdo		Carril derecho		Material
	H. Terraplén	Angulo Terraplén	H. Terraplén	Angulo Terraplén	
K00+770	2.80	34			Sr-ToCai
K00+820			1.72	34	Sr-ToCai
K00+840	1.43	34	4.10	34	Sr-ToCai

*Alturas tomadas a partir del diseño geométrico



Tabla 105. Terraplenes proyectados para la ejecución de la vía Tramo Acceso Norte

Tramo Norte					
Abscisa	Carril Izquierdo		Carril derecho		Material
	H. Terraplén	Angulo Terraplén	H. Terraplén	Angulo Terraplén	
K06+820	2.2	33.69	1.69	33.69	Sr-ToCai
K06+850	3.86	33.69	3.42	33.69	Sr-ToCai
K06+880	2.77	33.69	2.07	33.69	Sr-ToCai
K06+910	1.56	33.69	0.79	33.69	Sr-ToCai
K06+940	0.59	33.69			Sr-ToCai
K06+970			0.42	33.69	Sr-ToCai



Tabla 106. Terraplenes proyectados para la ejecución de la vía Tramo Acceso Sur

Tramo Sur					
Abscisa	Carril izquierdo		Carril derecho		Material
	H. Terraplén	Angulo Terraplén	H. Terraplén	Angulo Terraplén	
K00+100			0.15	33.69	Sr-ToCai
K00+340			0.45	33.69	Sr-ToCai
K00+390	0.17	33.69	0.76	33.69	Sr-ToCai
K00+460	0.32	33.69	1.05	33.69	Sr-ToCai
K00+510	0.69	33.69	0.61	33.69	Sr-ToCai
K00+560	1.62	33.69	1.63	33.69	Sr-ToCai
K00+610	0.48	33.69	0.47	33.69	Sr-ToCai
K00+770	1.24	33.69	0.33	33.69	Sr-ToCai
K00+800	3.12	33.69	2.09	33.69	Sr-ToCai
K00+840	8.96	33.69	4.46	33.69	Sr-ToCai
K00+880	2.02	33.69	3.5	33.69	Sr-ToCai
K01+010	1.8	33.69	1.66	33.69	Sr-ToCai
K01+040	1.96	33.69	2.06	33.69	Sr-ToCai
K01+860	3.43	33.69	1.38	33.69	Sr-ToCai
K01+940	5.42	33.69			Sr-ToCai
K01+960	2.94	33.69	0.56	33.69	Sr-ToCai
K02+060	1.94	33.69			Sr-ToCai
K02+570	3.24	33.69	1.86	33.69	Sr-ToCai
K02+580	3.95	33.69	2.1	33.69	Sr-ToCai
K02+800	0.67	33.69			Sr-ToCai
K02+830	5.22	33.69	0.28	33.69	Sr-ToCai
K02+990	0.38	33.69			Sr-ToCai
K03+050	6.26	33.69	1.25	33.69	Sr-ToCai
K03+070	3.84	33.69	2.53	33.69	Sr-ToCai
K03+700			4.05	33.69	Sr-ToCai
K03+850	0.64	33.69	0.64	33.69	Sr-ToCai
K04+010	2.56	33.69	2.87	33.69	Sr-ToCai
K04+060	2.63	33.69	1.68	33.69	Sr-ToCai
K04+140	0.9	33.69	2.11	33.69	Sr-ToCai
K04+200	1.08	33.69	0.47	33.69	Sr-ToCai
K04+370	3.57	33.69	2.08	33.69	Sr-ToCai
K04+400	2.14	33.69	4.17	33.69	Sr-ToCai
K04+650	1.5	33.69	1.26	33.69	Sr-ToCai
K04+760	1.79	33.69	1.88	33.69	Sr-ToCai
K05+030			3.21	33.69	Sr-ToCai
K05+100	0.44	33.69			Sr-ToCai
K05+190	0.5	33.69	2.88	33.69	Sr-ToCai
K05+420	1.31	33.69	0.25	33.69	Sr-ToCai

K05+570			1.9	33.69	Sr-ToCai
K05+630			0.21	33.69	Sr-ToCai
K05+706	2.28	33.69	0.2	33.69	Sr-ToCai



Tabla 107. Terraplenes proyectados para la ejecución de la vía Tramo Acceso a Portal Salida Túnel de Transferencia

Acceso Portal Salida Túnel					
Abscisa	Carril izquierdo		Carril derecho		Material
	H. Terraplén	Angulo Terraplén	H. Terraplén	Angulo Terraplén	
K00+000			0.54	33.69	Sr-Tmpl-va
K00+100			0.01	33.69	Sr-Tmpl-va
K00+160			0.78	33.69	Sr-Tmpl-va
K00+300			4.88	33.69	Sr-Tmpl-va
K00+610			2.66	33.69	Sr-Tmpl-va
K00+730			0.03	33.69	Sr-Tmpl-va
K00+760	3.53	33.69	3.09	33.69	Sr-Tmpl-va
K00+880	1.57	33.69	3.31	33.69	Sr-Tmpl-va
K00+900			3.79	33.69	Sr-Tmpl-va
K00+950			4.34	33.69	Sr-Tmpl-va
K00+980			2.82	33.69	Sr-Tmpl-va
K01+080	2.41	33.69	3.14	33.69	Sr-Tmpl-va
K01+100			2.24	33.69	Sr-Tmpl-va
K01+280			2.4	33.69	Sr-Tmpl-va
K01+680			3.37	33.69	Sr-Tmpl-va
K01+750			3.21	33.69	Sr-Tmpl-va
K01+800			0.6	33.69	Sr-Tmpl-va
K01+840	0.32	33.69	1.47	33.69	Sr-Tmpl-va

Los terraplenes recomendados a partir de los análisis de estabilidad que se presentan en este capítulo tienen un factor de seguridad mínimo de 1.50 bajo condiciones estáticas y de 1.20 bajo condiciones pseudo-estáticas. Se utilizó una aceleración de 0.11 g que corresponde al 50% [Hynes-Griffin y Franklin (1984), Stewart et al. (2003), Bray y Travarasarou (2011)] de la aceleración pico efectiva en la zona de acuerdo con los Mapas de aceleración presentados en la REP-2014. Para la construcción del relleno se deberá realizar previamente la remoción de material suelto del talud y efectuar un escalonamiento del terreno que permita su adecuada compactación, tal como se muestra en los planos geotécnicos de los rellenos.

Para los materiales que conformarán los terraplenes fueron utilizados los parámetros presentados en la Tabla 108. En el caso de los pedraplenes se incorporó la envolvente de resistencia mostrada en la Tabla 109.

Tabla 108. Parámetros geomecánicos de los materiales de conformación de los terraplenes

c' (kPa)	φ' (°)	γ (kN/ m³)
--------------------	------------------	-----------------------------

10	30	20
----	----	----

Tabla 109. Envoltente de resistencia de los materiales de conformación de los pedraplenes

σ_n (kPa)	τ (kPa)
10	24
20	40
50	79
100	133
200	223
500	444
1000	747
2000	1256
3000	1703

Adicionalmente, como medida de protección para evitar el desarrollo de procesos erosivos en la superficie de los taludes por acción de la escorrentía, se recomienda implementar una protección con material vegetal retirado y recuperado de las obras de corte de taludes y descapote, o en las zonas donde no se cuente con este material vegetal, podrá emplearse hidrosiembra con un manto degradable fijado por ganchos al talud.

10.1.2.1. Resultados de los Análisis de Estabilidad

De la Figura 117 a la Figura 121. se presentan los resultados de los análisis de estabilidad de la implantación de los terraplenes (en secciones críticas) ubicados en las abscisas, K5+160 Tramo 1, K3+660 Tramo 2, K2+160 tramo 3, K0+240 tramo 5 y K1+490 tramo 6; los cuales fueron propuestos en el diseño geométrico. Estos perfiles se construyeron con base en las observaciones, los datos estructurales tomados en campo, perforaciones y las líneas sísmicas cercanas a los mismos.

La sección PF-T1-5+160 se realizaron por observación del terreno en campo, donde se estimó el espesor del suelo residual de acuerdo con lo observado y registros de perforación cercanos al sector y apique realizados. La secuencia litológica de la sección se dibuja de acuerdo con las secuencias identificadas en secciones cercanas, sus espesores son estimados ya que no se cuenta con registro de subsuelo en el sector

La sección PF-T2-3+660 se realizó por observación del terreno en campo, donde se estimó el espesor del suelo residual de acuerdo con lo observado y registros de perforación cercanos al sector y apique realizados. La secuencia litológica de la sección se dibuja de acuerdo con las secuencias identificadas en secciones cercanas, sus espesores son estimados ya que no se cuenta con registro de subsuelo en el sector

El perfil PF-T3-2+160 se realizó por observación del terreno en campo, donde se estimó el espesor del suelo residual de acuerdo con lo observado y registros de perforación cercanos al sector y apique realizados. La secuencia litológica de la sección se dibuja de acuerdo con las secuencias identificadas en secciones cercanas, sus espesores son estimados ya que no se cuenta con registro de subsuelo en el sector.

La sección PF-T5-0+240 se realizaron por observación del terreno en campo, donde se estimó el espesor del suelo residual de acuerdo con lo observado y registros de perforación cercanos al sector y apique realizados. La secuencia litológica de la sección se dibuja de acuerdo con las secuencias identificadas en secciones cercanas, sus espesores son estimados ya que no se cuenta con registro de subsuelo en el sector

La sección PF-T6-1+490 se realizaron por observación del terreno en campo, donde se estimó el espesor del suelo residual de acuerdo con lo observado y registros de perforación cercanos

al sector y apique realizados. La secuencia litológica de la sección se dibuja de acuerdo con las secuencias identificadas en secciones cercanas, sus espesores son estimados ya que no se cuenta con registro de subsuelo en el sector

Se contempla la conformación de terraplenes con una inclinación de 1.5H : 1.0V, bermas de 3.00 m de ancho y 10.00 m de altura. Los factores de seguridad calculados en los análisis de estabilidad de taludes se resumen en la Tabla 111 incluyendo lluvia extrema con un $R_u = 0.20$.

Como muestran los resultados, la geometría de los rellenos con taludes de 1.5H : 1.0V resultan ser estables para los terraplenes contemplados. Se considera que la geometría es adecuada teniendo en cuenta los taludes presentes en la zona y la susceptibilidad de la zona a procesos erosivos.

Se identifica sectores en el tramo 6 tal como se muestra en la sección PF-T6-1+490 donde se propone la conformación de un terraplén cerca de cuerpos de agua o drenajes existentes.

Debido a que estos cuerpos de agua pueden poner en riesgo la estabilidad de la vía, se recomienda conservar los mismos y generar un mejoramiento del material de fundación mediante la disposición de un material con menor susceptibilidad a la alteración por contacto con agua. Por lo tanto, se recomienda la implementación de pedraplenes en la base de los rellenos hasta 1.0 m por encima del nivel del agua y de materiales granulares tipo rajón de 1.0 m de espesor por debajo del nivel del terreno natural. En la parte superior se podrá configurar terraplenes con material adecuado y proteger sus taludes con rajón hasta un metro por encima del nivel del agua, y de ahí hacia arriba con cobertura vegetal nativa.

Se debe colocar un geotextil de separación sobre el terreno natural, el terraplén y el pedraplén, con el propósito de mitigar la migración de finos a través del pedraplén. Así mismo, en la cara del pedraplén y del rajón se debe usar un material de sello y un geotextil de separación para evitar el lavado de material.

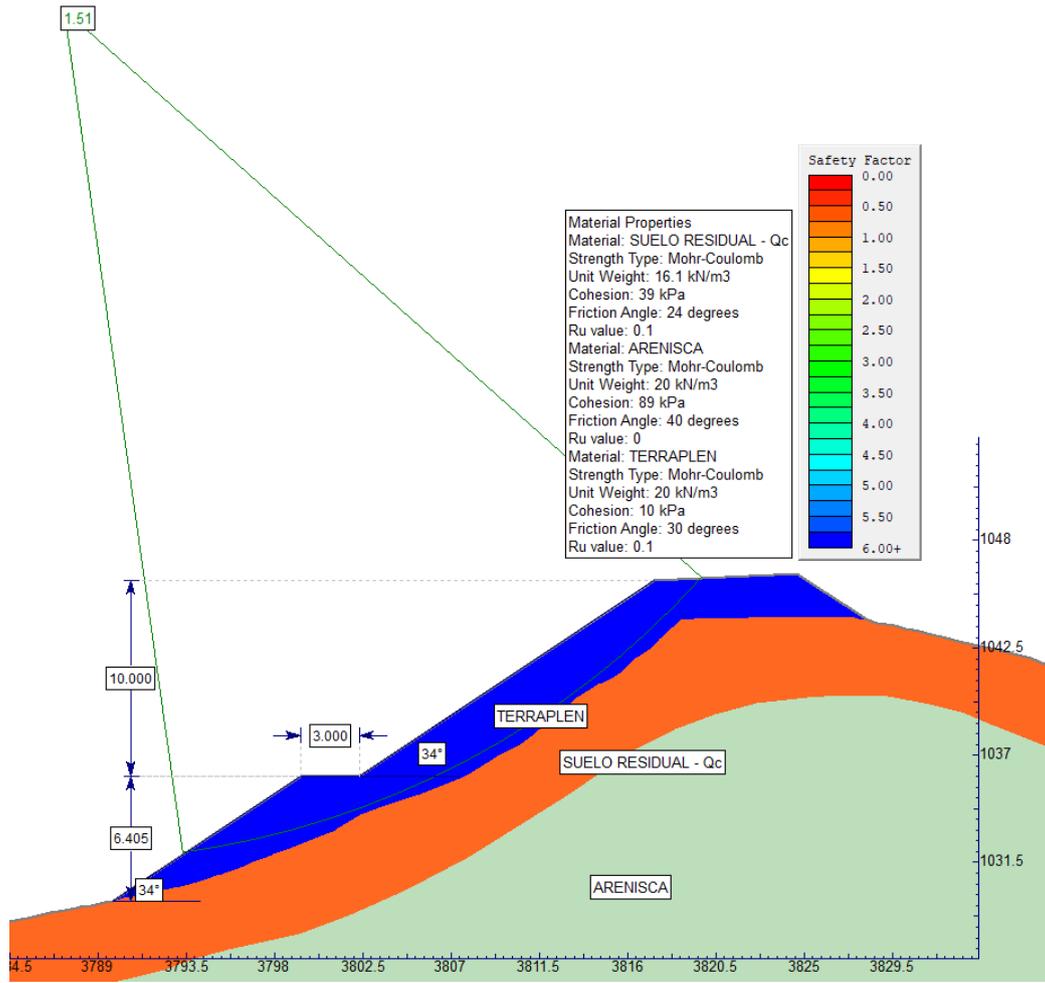


Figura 117. Análisis de estabilidad Estático. Terraplén – Sección PF-T1- K5+160.

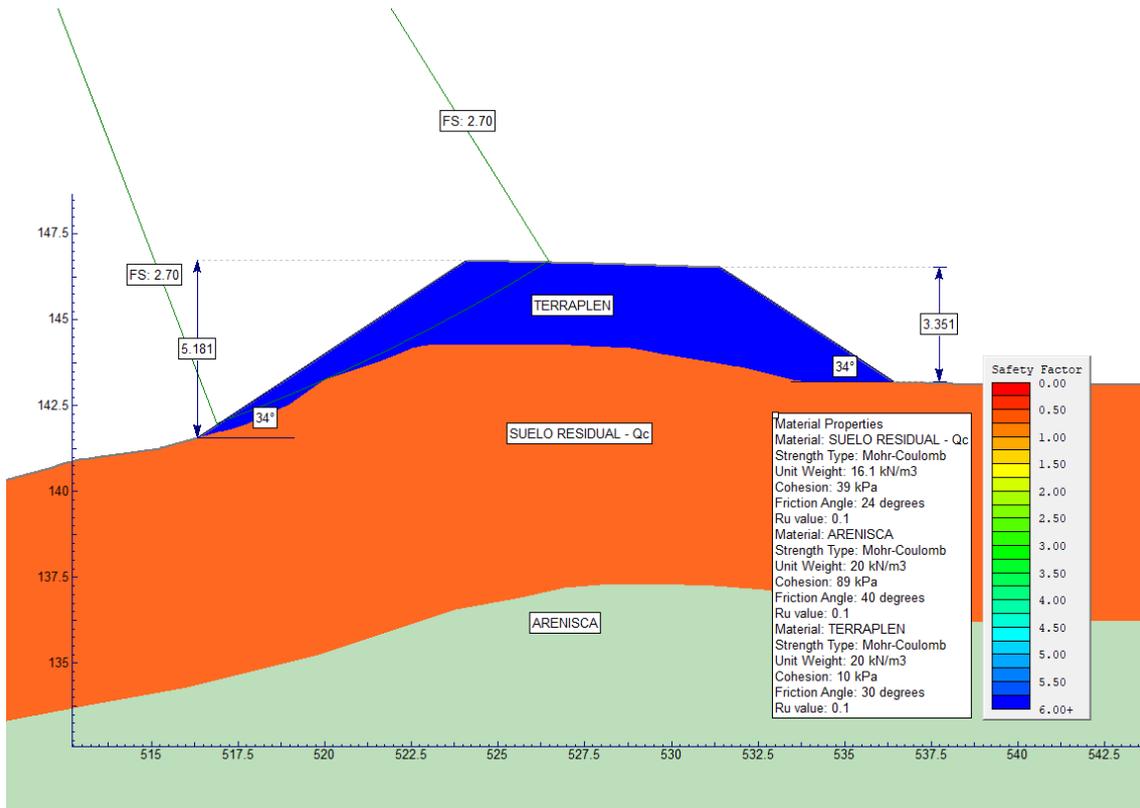


Figura 118. Análisis de estabilidad Estático. Terraplén – Sección PF-T2-3+660.

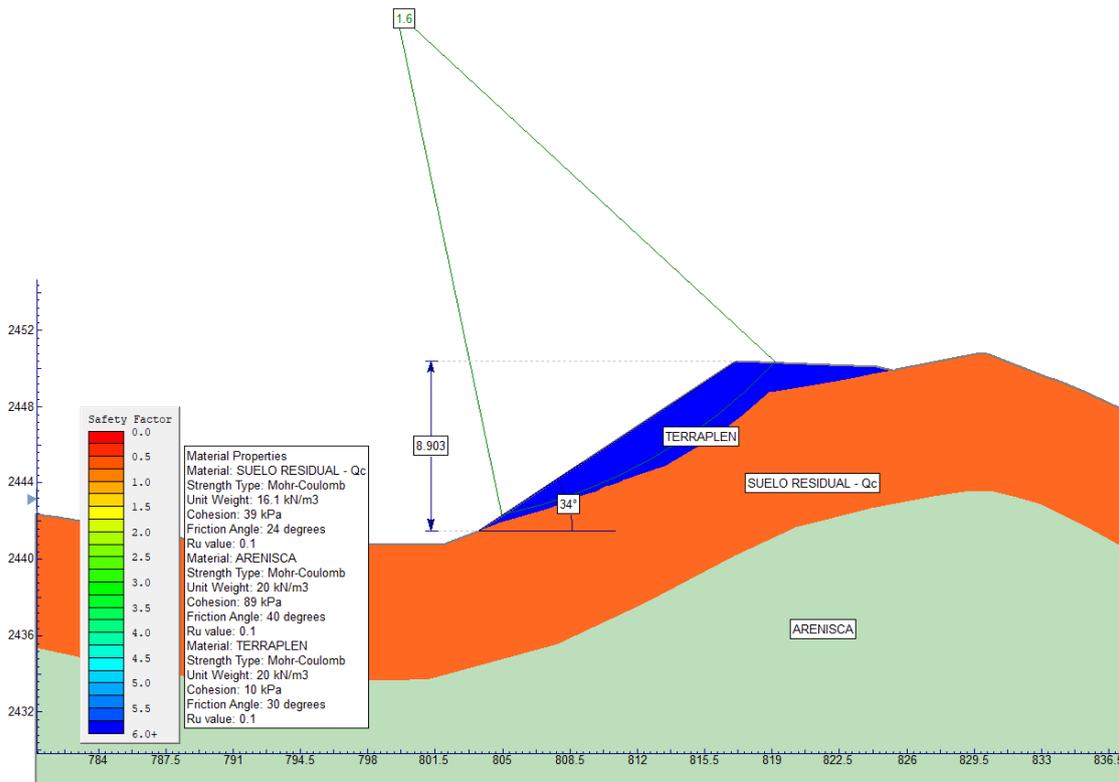


Figura 119. Análisis de estabilidad Estático. Terraplén – Sección PF-T3-2+160

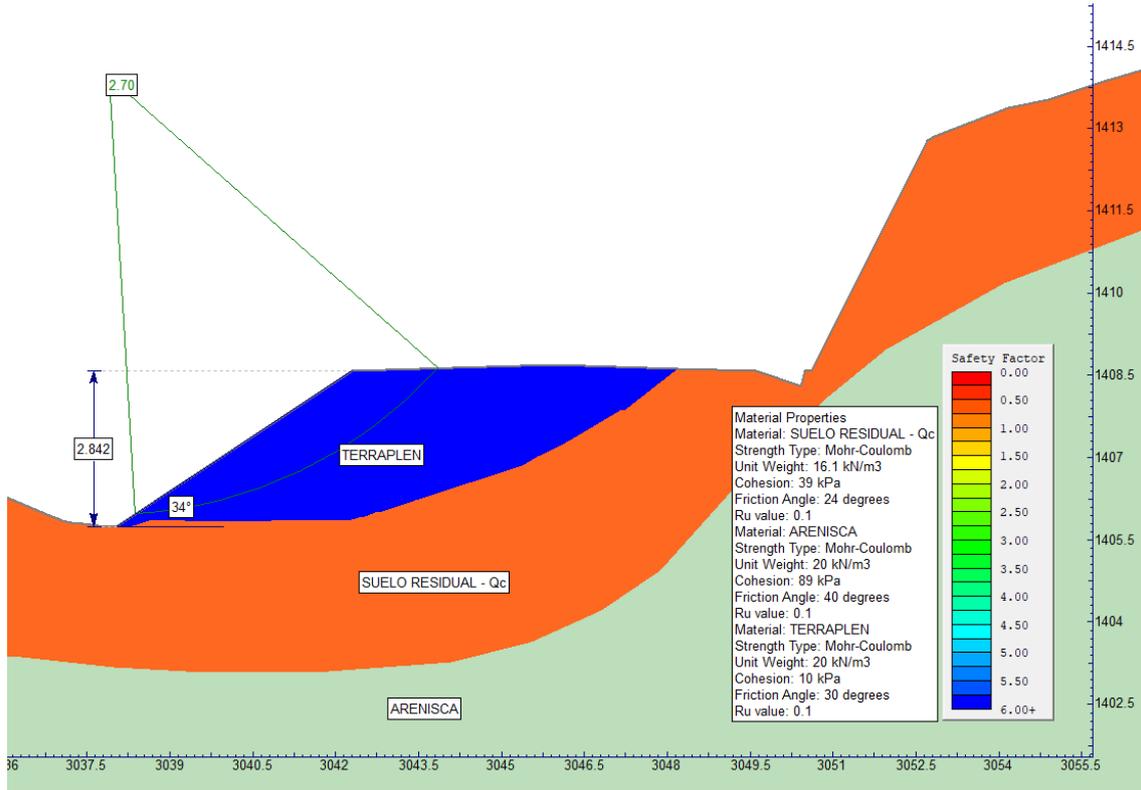


Figura 120. Análisis de estabilidad Estático. Terraplén – Sección PF-T5-0+240.

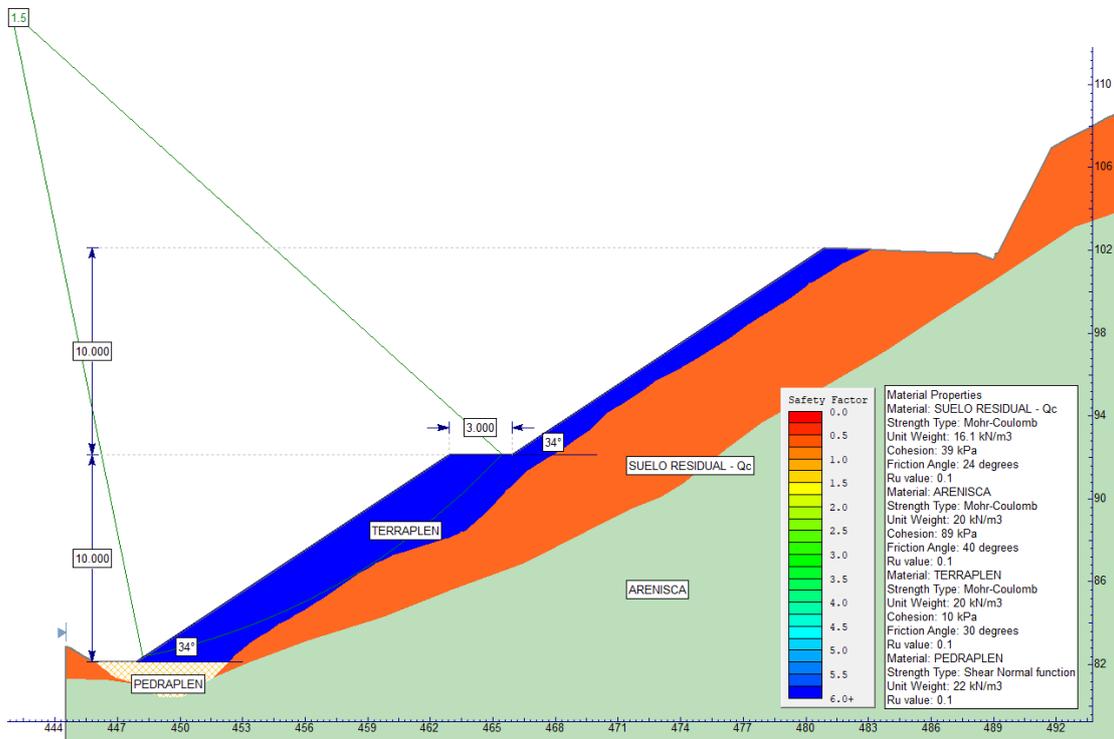


Figura 121. Análisis de estabilidad Estático. Terraplén – Sección PF-T6-1+490.

Tabla 110. Factores de seguridad de los terraplenes analizados

SECCIÓN	FS. Condición	FS. Condición Pseudo-	FS. Condición Iluvia
---------	---------------	-----------------------	----------------------

	Estática	estático	extrema Ru = 0.20
PF-T1- K5+160	1.51	1.21	1.37
PF-T2-3+660	2.70	2.12	2.56
PF-T3-2+860	1.51	1.21	1.30
PF-T3-2+160	1.60	1.30	1.50
PF-T5-0+240	2.70	2.18	2.55
PF-T6-1+490	1.50	1.20	1.30

10.1.2.2. Análisis de Asentamientos de los Terraplenes

Para la estimación de asentamientos, los parámetros de compresibilidad se evaluaron a partir de propiedades índice, ensayos de SPT, relaciones de fase y valores típicos. Se estimaron asentamientos elásticos y por consolidación. Los asentamientos elásticos se determinaron empleando la formulación elástica que relaciona la presión aplicada, el módulo de elasticidad del suelo, la relación de Poisson y el ancho de la franja de la carga aplicada.

Los parámetros de consolidación se evaluaron a partir del promedio de los coeficientes de las correlaciones propuestas por Terzaghi and Peck (1967), Koppula (1981), Nagaraj and Srinivasa Murthy (1985), Nakase et al. (1988) y Koppula (1985). Por su parte el coeficiente (C_r) se evaluó a partir del promedio de las correlaciones propuestas por Nagaraj and Srinivasa Murthy (1985) y Nakase et al. (1988). El esfuerzo de preconsolidación del suelo se determinó con base en la resistencia al corte del material de acuerdo con la expresión propuesta por Mesri (1994).

La Tabla 111. contiene los parámetros utilizados para los cálculos de asentamientos por consolidación.

Tabla 111. Parámetros de compresibilidad

Formación	e_0	c_c	c_r	σ'_p (t/m²)
Suelo Residual con influencia Coluvial (Q_c)	1.52	0.64	0.07	5.08

En la Tabla 112 se presentan los asentamientos estimados en los terraplenes de mayor altura. A partir de la evaluación se evidencia que los asentamientos totales estimados para los terraplenes son menores a 260 mm, los cuales se consideran tolerables. El asentamiento total permitido para terraplenes se establece en 300 mm, de acuerdo a lo señalado los criterios de diseño establecidos para el proyecto, como consecuencia de las deformaciones elásticas (corto plazo) y por consolidación (largo plazo). En el Anexo 19 se encuentran los correspondientes cálculos.

Tabla 112. Análisis de asentamientos para terraplenes

Abscisa	Material	Hmáx (m)	S elástico (mm)	S consolidación (mm)	S total (mm)	S total (mm) a 30 años	S total (mm) a 50 años
PF-T1- K5+160	Sr - Q_c , ToCai	16.41	1	109	110	110	110
PF-T2-3+660	Sr - Q_c , ToCai	5.18	4	100	104	90	97
PF-T3-2+160	Sr - Q_c , ToCai	8.90	2	77	79	34	44
PF-T5-0+240	Sr - Q_c , ToCai	2.84	1	45	46	46	46
PF-T6-1+490	Sr - Q_c , ToCai	2.0	2	72	74	74	74

10.1.2.3. Geometría y Protección Recomendada

De acuerdo con los análisis presentados anteriormente, se recomienda la conformación de terraplenes con inclinaciones de 1.5H : 1.0V. Estos terraplenes deben ir protegidos en sus taludes con material vegetal, con lo cual se controla el desarrollo de procesos erosivos.

Para la construcción de los terraplenes requeridos para la ejecución de los tramos de la vía se recomienda realizar las siguientes actividades.

- Tala de árboles y arbustos, desbroce y descapote de la zona de ampliación. Reservar y almacenar adecuadamente el material orgánico para reutilizar en la empradización de los taludes.
- Realizar una excavación removiendo todo tipo de material indeseable, objetable, blando, suelto, deleznable y contaminado.

Se recomienda en la zona del terraplén excavar 0.50 m y verificar si la subrasante se encuentra limpia y firme, para proceder a la colocación del material de relleno.

En los casos de zonas inundables o cercanas a cuerpos de agua se recomienda realizar reemplazo del material de fundación mediante rajón en un metro de profundidad y conformar el relleno con pedraplén hasta una altura 1 metro por encima de la lámina de agua. El terraplén deberá estar cubierto con geotextil NT 2500 para evitar una posible migración de finos. Adicionalmente, se deberá colocar rajón de 1 m de espesor sobre el talud hasta un metro por encima del nivel de agua máximo.

- La ejecución del terraplén se compone de tres operaciones que se repiten cíclicamente en cada capa hasta llegar a la cota asignada del proyecto:
 - a) Extendido: se extiende por capas el material previamente homogenizado en un espesor variable entre los 15 a 20 cm para suelos finos y de 20 a 40 cm para suelos granulares. Este espesor dependerá de la capacidad de los equipos que se manejen durante construcción.

Durante la construcción del terraplén deberá mantenerse una pendiente transversal que asegure una rápida evacuación de las aguas y reduzca el riesgo de erosión de la obra.

- b) Humectación o desecación: la humectación del material fino deberá ser progresiva y uniforme hasta alcanzar el grado óptimo estipulado (humedad óptima del Proctor). Si la humedad es excesiva se procederá a la extensión del material para que este se seque a temperatura ambiente o a la adición de material seco. Si el material está desecado se le deberá adicionar agua, garantizando un material homogéneo desde el punto de vista de humedad. La humectación deberá realizarse hasta alcanzar la humedad comprendida entre la óptima y la correspondiente al 95% de la densidad óptima de compactación del ensayo Proctor modificado (rama húmeda).

El proceso de humectación o secado debe ser controlado para asegurar una óptima compactación del material. Se recomienda compactar por la rama húmeda con el fin de controlar agrietamientos del material y así evitar que se produzcan cambios volumétricos después de la construcción.

- c) Compactación: la compactación adecuada garantiza la estabilidad y resistencia mecánica del terraplén. Este proceso se realizará desde fuera hacia el centro del terraplén, cuidando que los bordes y taludes del mismo sean compactados correctamente. El material podrá ser dispuesto por medio de compactadores vibratorios de rodillo liso o pata de cabra, según se requiera.
- Una vez se haya llegado a la cota asignada por el proyecto, se recomienda perfilar y sellar el talud y la superficie donde se asentará el firme, lo cual permitirá corregir posibles irregularidades producidas durante la construcción.

Como medida de estabilización de ampliación de terraplenes existentes se recomienda revegetalizar el talud empleando el cespedón anteriormente retirado o en su defecto colocando especies nativas.

10.2. PAVIMENTOS

Teniendo en cuenta que para cada tramo se encuentran subrasantes con resistencias variables (como se presenta en la Tabla 113.), se plantea realizar una plataforma de trabajo hasta encontrar como mínimo un valor de CBR de 7%, por lo que se requiere de un mejoramiento de la subrasante, con el cual es posible uniformizar el comportamiento de las estructuras de pavimentos. Para el mejoramiento de la subrasante se consideró un mejoramiento con material tipo Rajón para CBRs menores al 3.0% y material tipo Afirmado para subrasantes mayores al 3.0%. Con el siguiente ábaco elaborado con base en la fórmula de Ivanov, se puede determinar el espesor requerido de cada tipo de material.

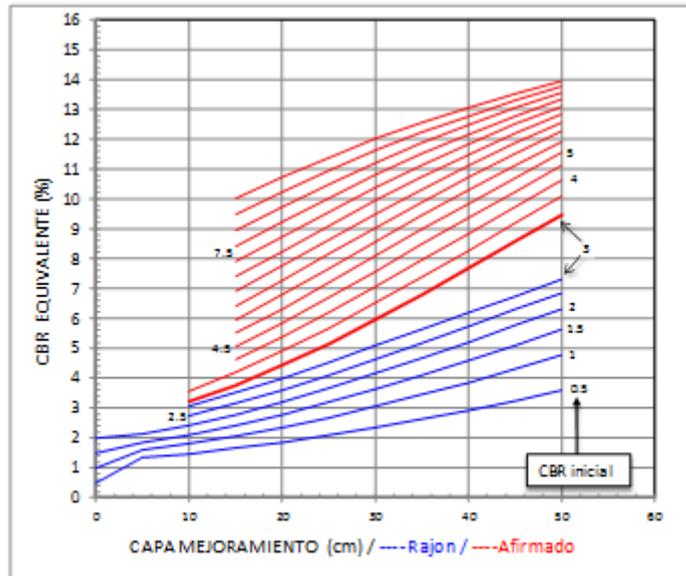


Figura 122. Ábaco para determinar el espesor de mejoramiento de subrasante.

Teniendo en cuenta los valores de CBR estimados, se establecieron los espesores de mejoramiento requeridos para cada uno de los tramos. En la Tabla 113. se presentan los espesores requeridos de mejoramiento para obtener un CBR equivalente del 7.0%.

Tabla 113. Espesores requeridos de mejoramiento de la subrasante.

ID Tramo	Nombre Tramo	Rajón			Afirmado		
		CBR (%)	e _{RAJÓN}	CBR	CBR (%)	e _{AFIRMADO}	CBR _{EQUIVALENTE}

		Subrasante	Rajon	(cm)	(%)	Subrasante	Afirmado	(cm)	(%) (%)
T1	Tramo 1	1.34	10	32	3.4	3.4	15	25	7.0
T2	Tramo 2	1.23	10	35	3.5	3.5	15	25	7.0
T3	Tramo 3 (K0+000 - K10+800)	1.40	10	31	3.5	3.5	15	25	7.1
T3	Tramo 3 (K10+800 - K13+117)	1.40	10	31	3.5	3.5	15	25	7.1
T4	Tramo 4	1.31	10	33	3.5	3.5	15	25	7.1
T5	Tramo 5	1.21	10	36	3.5	3.5	15	25	7.1
T6	Tramo 6	1.50	10	29	3.5	3.5	15	25	7.2
T7	Tramo 7 (K0+000 - K1+920)	1.89	10	22	3.5	3.5	15	25	7.1
T7	Tramo 7 (K1+920 - K2+120)	1.89	10	22	3.5	3.5	15	25	7.1
TN1	Ciricito-Fin tramo 1	1.73	10	25	3.5	3.5	15	25	7.2
TN2	Citicito de los Sotos-Inicio tramo 2	1.71	10	25	3.5	3.5	15	25	7.1
V2	Acceso a Ventana 2	-	-	-	-	-	15	30	7.0
A	Acceso ataguía	1.92	10	22	3.5	3.5	15	25	7.2
CA	Acceso contraataguía	-	-	-	-	2.8	15	32	7.2
PEG	Acceso portal entrada galería de acceso	-	-	-	-	2.8	15	32	7.2
PCTT	Acceso pozo de compuertas túnel trasvase	1.21	10	36	3.5	3.5	15	25	7.1
P	Ramal acceso a presa	1.89	10	22	3.5	3.5	15	25	7.1
PSTT	Acceso a portal salida túnel de transferencia	2.38	10	20	4.1	4.1	15	20	7.0

La colocación del mejoramiento con rajón deberá realizarse de tal forma que la maquinaria y equipos empleados deberán extender y conformar esta capa sin apoyarse directamente en la subrasante.

El diseño del pavimento flexible para los dos tipos de vías se presenta a continuación.

VÍAS EN AFIRMADO

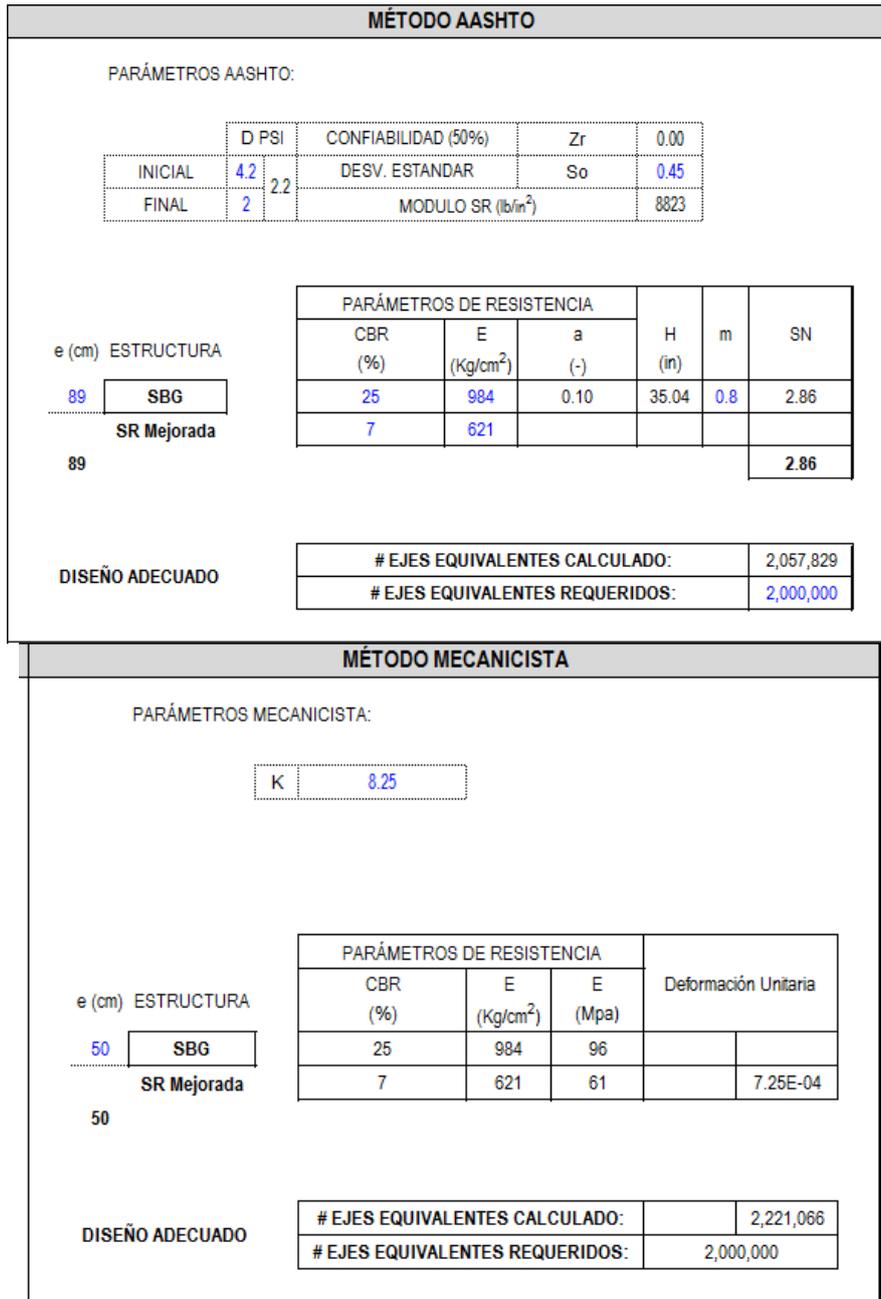


Figura 123. Diseño estructura pavimento vías en afirmado

VÍAS PAVIMENTADAS

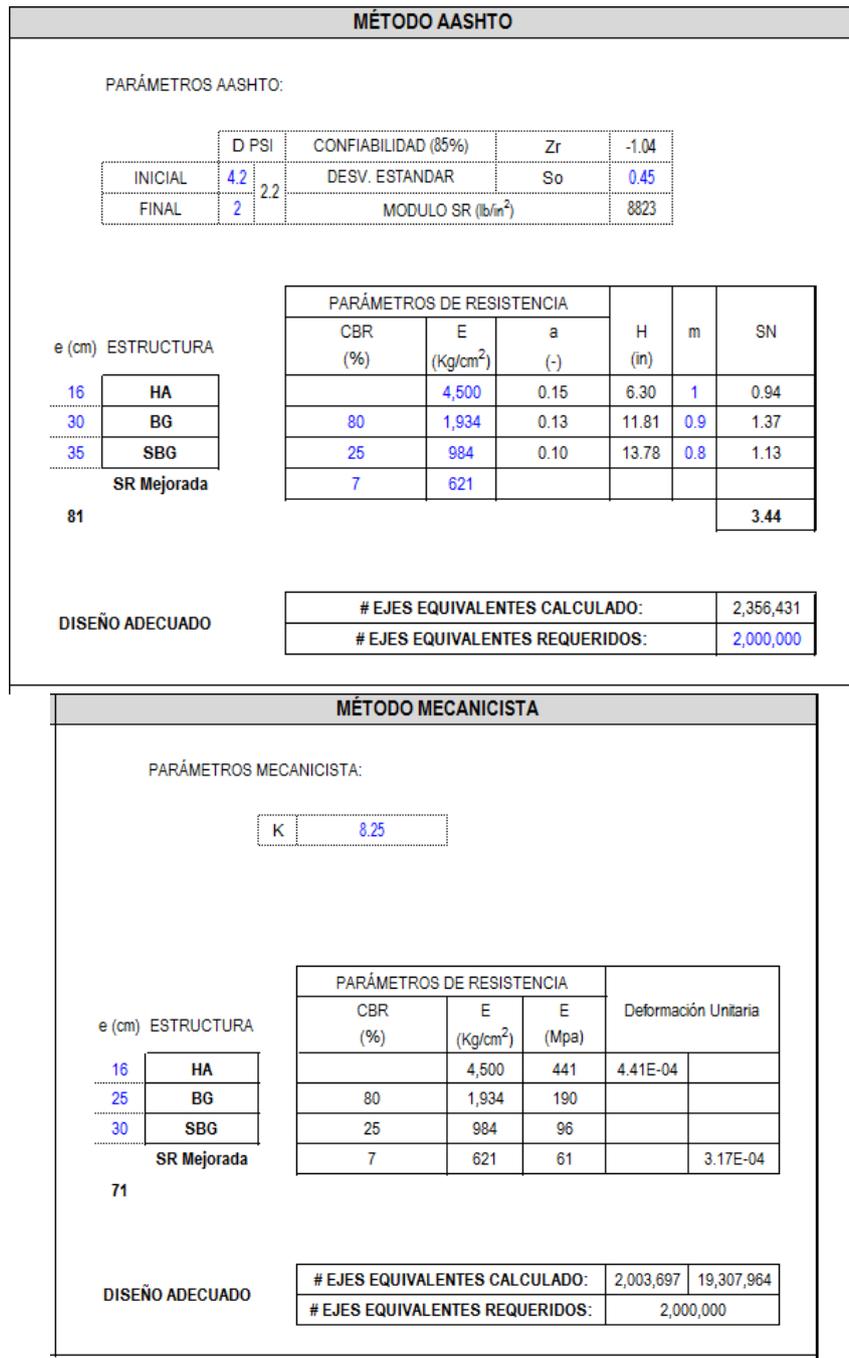


Figura 124. Diseño estructura pavimento vías pavimentadas

En la Tabla 114 se presentan los espesores del mejoramiento y de la estructura de pavimento para cada uno de los tramos.

Tabla 114. Espesores estructura de pavimento por tramo						
TN2	Citico de los Sotos- inicio tramo 2	16	25	30	25	25
V2	Acceso a Ventana 2	-	-	50	30	-
A	Acceso ataguía	-	-	50	25	-
CA	Acceso contraataguía	-	-	50	32	-
PEG	Acceso portal entrada galería de acceso	-	-	50	32	-
PCTT	Acceso pozo de compuertas túnel trasvase	-	-	50	25	36
P	Ramal acceso a presa	16	25	30	25	22
PSTT	Acceso a portal salida túnel de transferencia	-	-	50	20	20

Como procedimiento constructivo y para garantizar el buen comportamiento del pavimento, antes de su construcción se deben realizar todas las obras de drenaje necesarias. En las etapas de construcción y operación de las obras, debe mantenerse en perfecto estado las obras de drenaje para evitar que la estructura del pavimento se vea afectada por la acción del agua.

Se recomienda el confinamiento lateral de la estructura por medio de un sobreebanco adicional del borde de la calzada de 0.50 m de la totalidad de las capas granulares diseñadas.

Para proteger las capas granulares de condiciones de saturación, se deben construir filtros longitudinales en las zonas de corte. El dimensionamiento de estos elementos se realizó siguiendo la siguiente metodología:

$$Q_{inf} = I_R * B * L * F_i * F_R$$

I_R = Precipitación máxima horaria de frecuencia anual, registrada en la zona del proyecto.

B = Para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la vía (ancho de la vía/2).

L = Longitud del tramo de drenaje.

F_i = Factor de infiltración.

F_R = Factor de retención de la base

IR (mm/h) =	75
L (m) =	150
FR =	0.33

B =	7
Fi =	0.4
Qinf (m³/s) =	0.0029

$$Q_{NF} = k * i * A_a$$

k = Es el coeficiente de permeabilidad del suelo adyacente.

$$i = (N_d - N_f) / B$$

$$A_a = (N_d - N_f) * L$$

i = Es el gradiente hidráulico.

N_d = Cota inferior del subdrén.

N_f = Cota superior del nivel freático.

A_a = Es el área efectiva para el caso de abatimiento del nivel freático.

B = Para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la vía.

L = Longitud del tramo de drenaje.

N _d (m) =	0
N _f (m) =	1
B(m) =	7
Q _{NF} (m ³ /s)	0.000214

L (m) =	150
k (m/s) =	1.00E-05
A _a (m ²) =	150
i =	0.143

$$Q_T = V * i * A$$

V(cm/s) =	1
i =	1
Q _{total} (m ³ /s) =	0.0035

Ancho(m) =	0.5
Alto(m) =	0.7
A (m ²) =	0.35

Ancho Subdren (cm) =	50
Alto subdren (cm) =	70



11. DISEÑO DE SEÑALIZACIÓN

El presente capítulo describe el diseño de señalización vertical y horizontal de la vías correspondientes al proyecto, la señalización fue realizada con base en el diseño geométrico en planta y perfil, atendiendo lo definido en los Criterios de Diseño de Señalización.

11.1. CARACTERÍSTICAS DE LA VÍAS

En la siguiente tabla se relacionan las principales características de las vías a las cuales se les realizó el diseño de señalización.

Tabla 115. Principales características de las vías diseñadas

NOMBRE DE LA VÍA	CARACTERÍSTICA DE LA VÍA	SUPERFICIE DE RODADURA	LONGITUD (Km)
Tramo 1 - Acceso a ventana 1 del Túnel de Transferencia Acceso a las canteras Cerro la Jota y El Duende	Permanente	Pavimentada	6.74
Tramo 2 - Vía de acceso al sitio de presa durante construcción	Temporal	Afirmado	3.72
Tramo 3 - Acceso permanente al sitio de presa	Permanente	Pavimentada K0+000 - K10+800, afirmado K10+800 - K11+140	11.14
Tramo 4 - Conexión permanente entre vías del TRAMO 1 y TRAMO 3.	Permanente	Pavimentada	0.78
Tramo 5 - Acceso a la entrada del Túnel de transferencia	Temporal	Afirmado	0.27
Tramo 6 - Vía de conexión durante la fase de construcción con TRAMO 5 de acceso a la entrada del Túnel	Temporal	Afirmado	1.95
Tramo 7 - Vía de acceso al sitio de presa durante construcción, del tramo final se desprende el ramal de acceso a presa.	Temporal - permanente en el tramo final	Afirmado K0+000 - K1+920, pavimentada K1+920 - K2+120	2.12
Acceso a ventana 2 - Acceso a ventana 2 del Túnel de Transferencia	Permanente	Afirmado	0.63
Acceso ataguía - Acceso a ataguía y entrada túnel de desvío	Temporal	Afirmado	0.26

Acceso contraatagüía - Acceso a contraatagüía y portal entrada galería de acceso	Temporal	Afirmado	2.61
Acceso pozo de compuertas túnel trasvase - Vía de acceso a la zona del proyecto	Permanente	Afirmado	0.87
Ramal acceso a presa - Ramal para acceder a la presa	Permanente	Pavimentada	0.20
Circuito de los Sotos - Fin tramo 1 - Vía de acceso a la zona del proyecto	Permanente	Pavimentada	0.50
Circuito de los Sotos - Inicio tramo 2 - Vía de acceso a la zona del proyecto	Permanente	Pavimentada	5.9
Acceso a portal salida túnel de transferencia	Permanente	Afirmado	1.6

Fuente: Elaboración propia con base en los diseños realizados

11.2. SEÑALIZACIÓN VERTICAL

A continuación se relacionan las dimensiones de la señalización vertical definidas para el diseño, en el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2014/2000).

Teniendo en cuenta la velocidad de 20 km/h -30 km/h y las características de las vías se adoptaron las siguientes dimensiones para señalización vertical.

Señal Reglamentación	Rectángulo 61 cm x 91 cm
Señal Reglamentación R-1-1	Octágono de 76 cm
Señal Reglamentación R-1-2	Triángulo equilátero de 76 cm de lado
Señal Prevención	Rombo de 76 cm x 76 cm
Señal Prevención P-1-9	Rectángulo de 57 cm x 76 cm
Señal Prevención P-12-3	Rectángulo de 30 cm x 90 cm
Poste delineador	Tubular (según sección 718.09 de las especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales (2001))

Señales de Información: Dada las características de la vía solo se consideró emplear señales de información de destino a nivel de acuerdo con la velocidad especificada en el Cuadro C1 "Altura de letras, en cm, de acuerdo a la velocidad de operación" indicada en el ANEXO C del Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2000) del cual también se adoptó una altura de letra de 15 cm para el diseño del mensaje empleando el alfabeto Serie B.

Se destaca que los diseños de señalización vertical se enfatizaron en la señalización de prevención asociada a la gran cantidad de curvas con ángulos cerrados, obligando a los constantes cambio de dirección con la cual primó la implantación de delineadores direccionales tipo "Chevron" P-1-9 y postes delineadores.

Para la localización y espaciamento de los delineadores direccionales tipo "Chevron" P-1-9, se adoptó el siguiente criterio, para los casos donde no se puedan localizar al menos tres (3)

delineadores direccionales respetando los espaciamientos indicados en la siguiente tabla, se procederá a colocar postes delineadores.

Tabla 116. Espaciamento máximo entre delineadores direccionales tipo "Chevron"

VELOCIDAD	RADIO DE CURVATURA	ESPACIAMIENTO (m)
24 km/h o menos	Menos de 60 m.	12 m
32 a 48 km/h	60 a 121 m.	24 m

Fuente: Elaboración propia con base en la Section 2C.09 Chevron Alignment Sign (W1-8) de la AASHTO (MANUAL ON UNIFORM TRAFFIC CONTROL DEVICES 2009R1R2 EDITION)

Para la colocación y espaciamientos de los postes delineadores se adoptó lo indicado en el numeral 2.3.15.3 del Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (2014) de igual forma la tabla de espaciamiento máximos se indica a continuación.

Tabla 117. Espaciamento máximo entre postes delineadores

RADIO DE CURVATURA	ESPACIAMIENTO (m)
15	5
50	10
75	12
100	15
150	20
200	22
250	24
300	27

* El espaciamento para un radio de curva no indicado puede ser interpolado

Fuente: Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito, 2014, Cp. 2-56

11.3. SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL

Teniendo en cuenta lo especificado en el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito 2014 y las características geométricas de la vías del proyecto, se adoptaron los parámetros de señalización horizontal.

- Líneas de borde de carril color blanco de espesor 12 cm.
- Líneas de canalización segmentada, 1 m demarcado y 1 m de brecha, color blanco de espesor 20 cm.
- Línea central de carril de color amarillo de espesor 12 cm.
- Línea central de carril doble distanciadas 15 cm de color amarillo de espesor 12 cm.
- Línea central segmentada, 3 m demarcados y 5 m de brecha, color amarillo de espesor 12 cm.

- Línea de pare de color blanco de espesor 60 cm
- Flechas direccionales de color blanco, las dimensiones se especifican en los planos típicos de cada vía.
- Las vialetas o captaluz de dos caras amarillas y de una cara blanca y la otra roja van espaciadas cada 10 m se especifica en los planos típicos de cada vía.

De acuerdo con el Capítulo 3 del Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito 2014, todas las marcas viales o demarcaciones deben ser retroreflectivas.

11.4. BARRERAS DE CONTENCIÓN

Las barreras de contención previstas para el vía se ubicaron en tramos que presentan taludes de terraplén pronunciados (mayor 1H:1.5 V) y altura mayores a 3m.

11.4.1. Nivel de Contención de la Barrera

El nivel de contención de la defensa se adoptó como TL-2.

11.4.2. Terminales de Defensa

Teniendo en cuenta que se trata de calzadas bidireccionales con velocidad menor o igual a 30 km/h, se adopta la implementación de terminales en cola de pez.

11.5. RESULTADOS DEL DISEÑO DE SEÑALIZACIÓN

Como resultado del diseño, se emitieron planos de señalización de las vías con las cantidades correspondientes.

En el Anexo 21 se presentan los reportes de localización de señalización y en el Anexo 22 los planos de Diseño de Señalización.

En las siguientes tablas se presentan las cantidades de obra estimadas para cada una de las vías.

Tabla 118. Resumen cantidades diseño de señalización - Tramo 1

Descripción	Un	Cantidad
SEÑAL VERTICAL PREVENTIVA 76 X 76	Un	65
SEÑAL VERTICAL REGLAMENTARIA 76 X 76	Un	2
SEÑAL VERTICAL REGLAMENTARIA 61 X 91	Un	17
SEÑAL VERTICAL INFORMATIVA	m2	6.40
SEÑAL DIRECCIONAL TIPO CHEVRON 57 X 76	Un	104
POSTES DELINEADORES	Un	7
LÍNEA DE CARRIL(W=0.12M)	m	29,348
LÍNEA PUNTEADA 1X1 (W=0.2M)	m	31

TACHA REFLECTIVA BLANCA	Un	1,499
TACHA REFLECTIVA AMARILLA	Un	1,468
PINTURA BLANCA DE DEMARCACIÓN CON 100% BASE ACRÍLICA (BASE AGUA)	m2	22
BARRERA DE CONTENCIÓN TIPO TL2	m	1,767

Fuente: Elaboración propia con base en los diseños realizados

Tabla 119. Resumen cantidades diseño de señalización - Tramo 2

Descripción	Un	Cantidad
SEÑAL VERTICAL PREVENTIVA 76 X 76	Un	49
SEÑAL VERTICAL REGLAMENTARIA 61 X 91	Un	12
SEÑAL VERTICAL INFORMATIVA	m2	6.40
SEÑAL DIRECCIONAL TIPO CHEVRON 57 X 76	Un	56
POSTES DELINEADORES	Un	17
BARRERA DE CONTENCIÓN TIPO TL2	m	1,774

Fuente: Elaboración propia con base en los diseños realizados

Tabla 120. Resumen cantidades diseño de señalización - Tramo 3

Descripción	Un	Cantidad
SEÑAL VERTICAL PREVENTIVA 76 X 76	Un	117
SEÑAL VERTICAL REGLAMENTARIA 76 X 76	Un	2
SEÑAL VERTICAL REGLAMENTARIA 61 X 91	Un	30
SEÑAL VERTICAL INFORMATIVA	m2	21.50
SEÑAL DIRECCIONAL TIPO CHEVRON 57 X 76	Un	436
POSTES DELINEADORES	Un	67
LÍNEA DE CARRIL(W=0.12M)	m	43,040
LÍNEA PUNTEADA 1X1 (W=0.2M)	m	49
LÍNEA DE PARE (W=0.6M)	m	5
TACHA REFLECTIVA BLANCA	Un	2,158
TACHA REFLECTIVA AMARILLA	Un	1,076
PINTURA BLANCA DE DEMARCACIÓN CON 100% BASE ACRÍLICA (BASE AGUA)	m2	42
BARRERA DE CONTENCIÓN TIPO TL2	m	2,444

Fuente: Elaboración propia con base en los diseños realizados

Tabla 121. Resumen cantidades diseño de señalización - Tramo 4

Descripción	Un	Cantidad
SEÑAL VERTICAL PREVENTIVA 76 X 76	Un	12
SEÑAL VERTICAL REGLAMENTARIA 76 X 76	Un	1
SEÑAL VERTICAL REGLAMENTARIA 61 X 91	Un	7
SEÑAL VERTICAL INFORMATIVA	m2	3.20
SEÑAL DIRECCIONAL TIPO CHEVRON 57 X 76	Un	10
LÍNEA DE CARRIL(W=0.12M)	m	3,113
LÍNEA PUNTEADA 1X1 (W=0.2M)	m	0
LÍNEA DE PARE (W=0.6M)	m	4
TACHA REFLECTIVA BLANCA	Un	156
TACHA REFLECTIVA AMARILLA	Un	156
PINTURA BLANCA DE DEMARCACIÓN CON 100% BASE ACRÍLICA (BASE AGUA)	m2	10
BARRERA DE CONTENCIÓN TIPO TL2	m	146

Fuente: Elaboración propia con base en los diseños realizados

Tabla 122. Resumen cantidades diseño de señalización - Tramo 5

Descripción	Un	Cantidad
SEÑAL VERTICAL PREVENTIVA 76 X 76	Un	3
SEÑAL VERTICAL REGLAMENTARIA 76 X 76	Un	1
SEÑAL VERTICAL REGLAMENTARIA 61 X 91	Un	2
SEÑAL VERTICAL INFORMATIVA	m2	1.60
BARRERA DE CONTENCIÓN TIPO TL2	m	104

Fuente: Elaboración propia con base en los diseños realizados

Tabla 123. Resumen cantidades diseño de señalización - Tramo 6

Descripción	Un	Cantidad
SEÑAL VERTICAL PREVENTIVA 76 X 76	Un	23
SEÑAL VERTICAL REGLAMENTARIA 76 X 76	Un	2
SEÑAL VERTICAL REGLAMENTARIA 61 X 91	Un	7
SEÑAL VERTICAL INFORMATIVA	m2	1.60
SEÑAL DIRECCIONAL TIPO CHEVRON 57 X 76	Un	62
BARRERA DE CONTENCIÓN TIPO TL2	m	426

Fuente: Elaboración propia con base en los diseños realizados

Tabla 124. Resumen cantidades diseño de señalización - Tramo 7

Descripción	Un	Cantidad
SEÑAL VERTICAL PREVENTIVA 76 X 76	Un	27
SEÑAL VERTICAL REGLAMENTARIA 76 X 76	Un	1
SEÑAL VERTICAL REGLAMENTARIA 61 X 91	Un	12
SEÑAL VERTICAL INFORMATIVA	m2	9.60
SEÑAL DIRECCIONAL TIPO CHEVRON 57 X 76	Un	58
LÍNEA DE CARRIL(W=0.12M)	m	791
LÍNEA DE PARE (W=0.6M)	m	5
TACHA REFLECTIVA BLANCA	Un	40
TACHA REFLECTIVA AMARILLA	Un	40
PINTURA BLANCA DE DEMARCACIÓN CON 100% BASE ACRÍLICA (BASE AGUA)	m2	3
BARRERA DE CONTENCIÓN TIPO TL2	m	308

Fuente: Elaboración propia con base en los diseños realizados

Tabla 125. Resumen cantidades diseño de señalización - Acceso a ventana 2

Descripción	Un	Cantidad
SEÑAL VERTICAL PREVENTIVA 76 X 76	Un	13
SEÑAL VERTICAL REGLAMENTARIA 76 X 76	Un	1
SEÑAL VERTICAL REGLAMENTARIA 61 X 91	Un	3
SEÑAL VERTICAL INFORMATIVA	m2	1.94
SEÑAL DIRECCIONAL TIPO CHEVRON 5 7X 76	Un	34

Fuente: Elaboración propia con base en los diseños realizados

Tabla 126. Resumen cantidades diseño de señalización - Acceso Ataguía

Descripción	Un	Cantidad
SEÑAL VERTICAL PREVENTIVA 76 X 76	Un	7
SEÑAL VERTICAL REGLAMENTARIA 76 X 76	Un	1
SEÑAL VERTICAL INFORMATIVA	m2	1.60
SEÑAL DIRECCIONAL TIPO CHEVRON 57 X 76	Un	6
BARRERA DE CONTENCIÓN TIPO TL2	m	30

Fuente: Elaboración propia con base en los diseños realizados

Tabla 127. Resumen cantidades diseño de señalización - Acceso Contra Ataguía y Portal entrada Galería de Acceso

Descripción	Un	Cantidad
SEÑAL VERTICAL PREVENTIVA 76 X 76	Un	5
SEÑAL VERTICAL REGLAMENTARIA 76 X 76	Un	1
SEÑAL VERTICAL REGLAMENTARIA 61 X 91	Un	2
SEÑAL VERTICAL INFORMATIVA	m2	1.6
SEÑAL DIRECCIONAL TIPO CHEVRON 57 X 76	Un	10
POSTES DELINEADORES	Un	4
LÍNEA DE CARRIL(W=0.12M)	m	768
LÍNEA DE PARE (W=0.6M)	m	3.9
PINTURA BLANCA DE DEMARCACIÓN CON 100% BASE ACRÍLICA (BASE AGUA)	m2	6

Fuente: Elaboración propia con base en los diseños realizados

Tabla 128. Resumen cantidades diseño de señalización - Acceso pozo compuertas túnel trasvase

Descripción	Un	Cantidad
SEÑAL VERTICAL PREVENTIVA 76 X 76	Un	49
SEÑAL VERTICAL REGLAMENTARIA 61 X 91	Un	12
SEÑAL VERTICAL INFORMATIVA	m2	4.80
SEÑAL DIRECCIONAL TIPO CHEVRON 57 X 76	Un	58
POSTES DELINEADORES	Un	17
BARRERA DE CONTENCIÓN TIPO TL2	m	270

Fuente: Elaboración propia con base en los diseños realizados

Tabla 129. Resumen cantidades diseño de señalización - Ramal acceso a presa

Descripción	Un	Cantidad
SEÑAL VERTICAL PREVENTIVA 76 X 76	Un	5
SEÑAL VERTICAL REGLAMENTARIA 76 X 76	Un	1
SEÑAL VERTICAL REGLAMENTARIA 61 X 91	Un	2
SEÑAL VERTICAL INFORMATIVA	m2	1.6
SEÑAL DIRECCIONAL TIPO CHEVRON 57 X 76	Un	5
POSTES DELINEADORES	Un	4
LÍNEA DE CARRIL(W=0.12M)	m	768
LÍNEA DE PARE (W=0.6M)	m	3.9

PINTURA BLANCA DE DEMARCACIÓN CON 100% BASE ACRÍLICA (BASE AGUA)	m2	6
---	----	---

Fuente: Elaboración propia con base en los diseños realizados

Tabla 130. Resumen cantidades diseño de señalización - Ciricito de los Sotos - Fin Tramo 1

Descripción	Un	Cantidad
SEÑAL VERTICAL PREVENTIVA 76 X 76	Un	6
SEÑAL VERTICAL REGLAMENTARIA 61 X 91	Un	2
SEÑAL DIRECCIONAL TIPO CHEVRON 57 X 76	Un	8
LÍNEA DE CARRIL(W=0.12M)	m	1496
TACHA REFLECTIVA BLANCA	Un	75
TACHA REFLECTIVA AMARILLA	Un	38
BARRERA DE CONTENCIÓN TIPO TL2	m	193

Fuente: Elaboración propia con base en los diseños realizados

Tabla 131. Resumen cantidades diseño de señalización - Ciricito de los Sotos - Inicio Tramo 2

Descripción	Un	Cantidad
SEÑAL VERTICAL PREVENTIVA 76 X 76	Un	59
SEÑAL VERTICAL REGLAMENTARIA 76 X 76	Un	0
SEÑAL VERTICAL REGLAMENTARIA 61 X 91	Un	6
SEÑAL DIRECCIONAL TIPO CHEVRON 57 X 76	Un	70
POSTES DELINEADORES	Un	3
LÍNEA DE CARRIL(W=0.12M)	m	22778
TACHA REFLECTIVA BLANCA	Un	1139
TACHA REFLECTIVA AMARILLA	Un	570
PINTURA BLANCA DE DEMARCACIÓN CON 100% BASE ACRÍLICA (BASE AGUA)	m2	7.47
BARRERA DE CONTENCIÓN TIPO TL2	m	2435

Fuente: Elaboración propia con base en los diseños realizados

Tabla 132. Resumen cantidades diseño de señalización - Acceso a portal salida túnel de transferencia

Descripción	Un	Cantidad
SEÑAL VERTICAL PREVENTIVA 76 X 76	Un	19
SEÑAL VERTICAL REGLAMENTARIA 76 X 76	Un	2

SEÑAL VERTICAL REGLAMENTARIA 61 X 91	Un	4
SEÑAL DIRECCIONAL TIPO CHEVRON 57 X 76	Un	106
TABLERO BIFURCADOR (60 X 122)	Un	1
BARRERA DE CONTENCIÓN TIPO TL2	m	269

Fuente: Elaboración propia con base en los diseños realizados

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

TERRACERÍAS

Con base en los análisis de estabilidad se establecieron las recomendaciones de taludes de corte teniendo en cuenta las condiciones de los materiales aflorantes, la geología estructural, los posibles mecanismos de falla, los parámetros geotécnicos y la geometría requerida para la construcción de los tramos viales necesarios para garantizar el acceso a las obras principales y secundarias del sistema multipropósito Río Indio. En la Tabla 69 a la Tabla 79. se presentan las soluciones propuestas a partir de las observaciones en campo y los análisis de estabilidad.

En los suelos residuales con influencia coluvial se evidencia una susceptibilidad importante a la erosión o deslizamientos superficiales asociados a la misma. En estos materiales se recomienda protección con malla metálica combinada con mantos de control de erosión y geotextil de filtración. Sin embargo es importante mencionar que una vez se realicen los cortes en sitio se validará la necesidad estricta de instalación de la protección recomendada para este tipo de material, basados en grado de influencia coluvial que se presente en cada uno de los cortes realizados.

Con base en los análisis de estabilidad se establecieron las recomendaciones de los taludes de los terraplenes teniendo en cuenta las condiciones de los materiales de fundación, los posibles mecanismos de falla y los parámetros geomecánicos de los materiales. Se recomienda la conformación de terraplenes con inclinaciones de 1.5H : 1.0V de acuerdo con el diseño geométrico propuesto.

Adicionalmente, como medida de protección para evitar el desarrollo de procesos erosivos en la superficie de los taludes por acción de la escorrentía se recomienda implementar una protección con material vegetal retirado y recuperado de las obras de corte de taludes y descapote, o en las zonas donde no se cuente con este material vegetal, podrá emplearse hidrosiembra con manto no permanente. En el plano de la Planta General se presentan las recomendaciones de adecuación del terreno de fundación de los terraplenes.

Para la construcción de los terraplenes se recomienda realizar las siguientes actividades.

- Tala de árboles y arbustos, desbroce y descapote de la zona de ampliación. Reservar y almacenar adecuadamente el material orgánico para reutilizar en la empradización de los taludes.
- Realizar una excavación removiendo todo tipo de material indeseable, objetable, blando, suelto, deleznable y contaminado.

Se recomienda en la zona del terraplén excavar 0.50 m y verificar si la subrasante se encuentra limpia y firme, para proceder a la colocación del material de relleno.

En los casos de zonas inundables o cercanas a cuerpos de agua se recomienda realizar reemplazo del material de fundación mediante rajón en un metro de profundidad y conformar el relleno con pedraplén hasta una altura 1 metro por encima de la lámina de agua. El terraplén deberá estar cubierto con geotextil NT 2500 para evitar una posible migración de finos. Adicionalmente, se deberá colocar rajón de 1 m de espesor sobre el talud hasta un metro por encima del nivel de agua máximo.

- La ejecución del terraplén se compone de tres operaciones que se repiten cíclicamente en cada capa hasta llegar a la cota asignada del proyecto:

Extendido: se extiende por capas el material previamente homogenizado en un espesor variable entre los 15 a 20 cm para suelos finos y de 20 a 40 cm para suelos granulares. Este espesor dependerá de la capacidad de los equipos que se manejen durante construcción.

Durante la construcción del terraplén deberá mantenerse una pendiente transversal que asegure una rápida evacuación de las aguas y reduzca el riesgo de erosión de la obra.

- A. Humectación o desecación: la humectación del material fino deberá ser progresiva y uniforme hasta alcanzar el grado óptimo estipulado (humedad óptima del Proctor). Si la humedad es excesiva se procederá a la extensión del material para que este se seque a temperatura ambiente o a la adición de material seco. Si el material está desecado se le deberá adicionar agua, garantizando un material homogéneo desde el punto de vista de humedad. La humectación deberá realizarse hasta alcanzar la humedad comprendida entre la óptima y la correspondiente al 95% de la densidad óptima de compactación del ensayo Proctor modificado (rama húmeda).
- B. El proceso de humectación o secado debe ser controlado para asegurar una óptima compactación del material. Se recomienda compactar por la rama húmeda con el fin de controlar agrietamientos del material y así evitar que se produzcan cambios volumétricos después de la construcción.
- C. Compactación: la compactación adecuada garantiza la estabilidad y resistencia mecánica del terraplén. Este proceso se realizará desde fuera hacia el centro del terraplén, cuidando que los bordes y taludes del mismo sean compactados correctamente. El material podrá ser dispuesto por medio de compactadores vibratorios de rodillo liso o pata de cabra, según se requiera.
 - Una vez se haya llegado a la cota asignada por el proyecto, se recomienda perfilar y sellar el talud y la superficie donde se asentará el firme, lo cual permitirá corregir posibles irregularidades producidas durante la construcción.
 - Como medida de estabilización se recomienda revegetalizar el talud empleando el cespedón anteriormente retirado o en su defecto colocando especies nativas,

A continuación, se realizan las recomendaciones generales para el manejo de aguas en los taludes de corte y recomendaciones de construcción. La utilización de estas medidas de protección y manejo de aguas garantizará la estabilidad del talud dado que permitirá mitigar fenómenos erosivos.

Teniendo en cuenta la susceptibilidad a erosión de la Formación Caimito (ToCai) y los Depósitos de suelo residual con influencia Coluvial, se recomienda realizar excavación en tramos cortos que se protegerán inmediatamente con la medida de mitigación planteada para controlar fenómenos erosivos sobre el talud.

Se recomiendan la ejecución de zanjas y cunetas que permitan un sistema adecuado de manejo de agua superficial, lo anterior teniendo en cuenta la alta susceptibilidad a la erosión de la Formación Caimito (ToCai) y los Depósitos de suelo residual con influencia Coluvial. El sistema de manejo de agua se debe complementar con estructuras que permitan una entrega controlada y eviten generación de fenómenos de socavación y erosión.

Para los tramos de vía de uso Temporal las recomendaciones de las medidas de protección propuestas solo aplican en caso de ser necesarias a criterio del constructor y según el grado de importancia de tramo durante la etapa constructiva.

De considerarse necesario y pertinente por parte del contratista encargado de la ejecución de las obras y a fin de reducir riesgos en los cortes viales con alturas importantes, se podrá instalar

una instrumentación geotécnica para llevar un control de desplazamientos y nivel freático en estos sectores.

DISEÑO DE VÍAS

Se realizó un diseño funcional que satisface los requerimientos de acceso a cada uno de los componentes del proyecto y se presenta como resultado, las cantidades de obra necesarias para evaluar la etapa de factibilidad.

Con el esquema de diseño de la red de caminos se garantiza el ingreso por el norte y por el sur, lo que aumenta la capacidad de conexión del proyecto.

Los caminos principales permiten el acceso durante construcción y luego del llenado se convierten en vías sustitutivas de adecuadas especificaciones que bordean el embalse y aseguran una correcta elevación sobre el nivel de la creciente máxima probable.

En la etapa posterior se debe tener en cuenta que para los diseños viales presentados se usó topografía Lidar, y que ésta topografía puede presentar diferencias en coordenadas y cota respecto a una topografía detallada.

DISEÑO DE SEÑALIZACIÓN

De acuerdo al diseño geométrico planteado, se llevó a cabo el desarrollo del Diseño de Señalización para las vías del proyecto, lo anterior siguiendo los parámetros estipulados en el Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito, informando mediante señalización vertical sobre la velocidad máxima permitida, reglamentación de prohibido adelantar, y presencia de cambios en el alineamiento horizontal.

En todas las vías se identificaron los sectores en terraplén con diferencias de altura mayores a 3 m y/o por las condiciones de topografía donde se presentan taludes pronunciados, con el fin de considerar la implementación de dispositivos de seguridad, en este caso barreras de contención, que permitan redireccionar el flujo de los vehículos que puedan sufrir algún tipo de accidente por salida de la vía a causa de factores mecánicos o errores humanos.

13. REFERENCIAS

- REP-2014.
- BOWLES J. Foundation Analysis and Design. Quinta Edición. Mc Graw Hill, 1996.
- BRAJA M. DAS. Principio de Ingeniería de cimentaciones. Quinta Edición. Thomson, 2006.
- BRAY J. D. Y TRAVASAROU T. Pseudostatic slope stability procedure. 5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering. January 2011, 10-13. Santiago, Chile
- CHOW, VEN TE., MAINDMENT D., MAYS L., Hidrología Aplicada, 1994.
- CHOW, VEN TE, Hidráulica de canales abiertos, 1994.
- HYNES-GRIFFIN, M.E. Y FRANKLIN, A.G. Rationalizing the seismic coefficient method. Misc. Paper No. GL-84-13. U.S. Army Engineer WES, Vicksburg, MS. 1984.
- HOEK, E., J.W. BRAY. Rock Slope Engineering. Institution of Mining and Metallurgy. Revised Third Edition. 1981.
- STEWART J.P, B. T. A screen analysis procedure for seismic slope stability. Earthquake Spectra, 19 (3), 697-712, 2003.
- OHTSU, Y. YASUDA, AND M. TAKAHASHI., Flow Characteristics of Skimming Flows in Stepped Channels, 2004.
- PECK, HANDSON Y THORNBURN. Ingeniería de cimentaciones. Limusa, 1982.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, Hydraulic Design Series Number 5, 2001.
- U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, Design of Roadside Channels with Flexible Linings, 2005.
- GEOTECHNICAL ENGINEERING CIRCULAR NO. 4. GROUND. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. June 1999.
- AASHTO. (2011). Geometric design of highways and streets.
- SIECA. (2011). Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Ministerio de Obras Públicas de Panamá (MOP).
- MOP. (2004). Manual de Especificaciones Técnicas para aprobación de planos en la República de Panamá.
- AASHTO. (2006) Roadside Design Guide.
- SIECA. (2014).Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito (2014/200) en cual fue expedido por la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA) mediante la Resolución No. 02-2014 (COMITRAN-XXIII).

14. ANEXOS

Anexo 1. Planos de diseño geométrico

Anexo 2. Cantidades de obra

Anexo 3. Reportes de alineamientos

Anexo 4. Ubicación de apiques

Anexo 5. Caracterización geotécnica y resultados

Anexo 6. Tiempo de concentración

Anexo 7. Hietogramas

Anexo 8. Estimación de cobertura

Anexo 9. Parámetros cuencas

Anexo 10. Modelo HMS

Anexo 11. Caudales

Anexo 12. Planos obras de drenaje

Anexo 13. Diseño de obras transversales

Anexo 14. Memorias de diseño cunetas - calzada

Anexo 15. Memorias de diseño cuneta - berma

Anexo 16. Memorias de diseño zanjas de coronación

Anexo 17. Memorias de diseño estructuras escalonadas

Anexo 18. Resumen de ensayos de laboratorio

Anexo 19. Análisis de estabilidad

Anexo 20. Planos terracerías

Anexo 21. Reportes de localización de señales

Anexo 22. Planos de diseño de señalización