

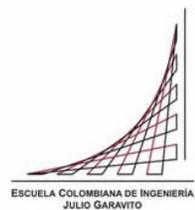
**Maestría en Ingeniería Civil**

**Diagnóstico Situación Actual de la Red Férrea Bogotá-Belencito  
Tramo Suesca-Villapinzón-Tunja**

**Martha Elena Machado Sánchez**

**Bogotá, D.C.**

**2017**



**Diagnóstico Situación Actual de la Red Férrea Bogotá-Belencito  
Tramo Suesca-Villapinzón-Tunja**

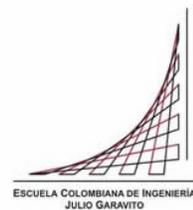
**Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con  
énfasis en Tránsito y Transporte**

**Julián Silva Tovar**

**Director**

**Bogotá, D.C.**

**2017**



La tesis de Maestría titulada “Diagnóstico Situación Actual de la Red Férrea Bogotá-Belencito Tramo Suesca-Villapinzón-Tunja”, presentada por Martha Elena Machado Sánchez, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Tránsito y Transporte.

Director de la tesis  
Ing. Julián Silva Tobar

Ing. Maritza Villamizar Ropero  
Jurado

Ing. Santiago Henao Pérez  
Jurado

Bogotá, D.C., 2017

Agradecimientos:

La autora de este trabajo desea expresar sus más sinceros agradecimientos

Al Ing. Julián Silva Tovar, por la disposición y sugerencias que permitieron finalizar este trabajo.

Al Ing. Samir Espitia Coordinador Red Férrea Bogotá-Belencito, por su colaboración en la consecución de la información que fue de bastante ayuda en la realización del Trabajo de Grado.

A mi mamá, que éste logro se lo debo a ella.

A Chaba, que sin su apoyo no lo hubiera logrado.

A mis hijas, Adriana, Andrea y Laura por su paciencia.

## Resumen

El presente trabajo de Grado, comienza con el marco teórico donde se hace una breve recopilación de la historia de los Ferrocarriles Nacionales de Colombia. A continuación se realiza un análisis de los parámetros de infraestructura y de servicio de la Red Férrea Bogotá-Belencito, en el tramo Suesca-Villapinzón-Tunja que se estableció como representativo para su categorización con base en las características de un ferrocarril moderno y competitivo. En el siguiente capítulo se hace un inventario del estado en que se encuentra la Línea en la actualidad, para hacer el diagnóstico de su situación, utilizando los informes presentados por las entidades involucradas en el mejoramiento de la Red.

La línea tiene unas especificaciones en la mayoría de su recorrido con pendientes longitudinales geométricas máximas del 2.5% máxima compensada y atraviesa en gran parte zonas montañosas, donde las laderas se encuentran afectadas por el uso del suelo, fallas geológicas y condiciones hidrogeológicas particulares y en donde es necesario adelantar acciones encaminadas a que su operación permita la conectividad con la Red Férrea del Atlántico cuando los requerimientos de demanda así lo exijan para garantizar la auto sostenibilidad del Corredor Férreo Bogotá-Belencito.

Finalmente, se hace un inventario y evaluación de la normatividad y consideraciones ambientales en el modo férreo, como procedimientos y medidas para corregir, mitigar, prevenir el deterioro ambiental del tramo en estudio.

La vía en su trazado planta-perfil no se ha "modernizado", se deben reconsiderar rectificaciones en el trazado. La infraestructura en obras de drenaje transversal y longitudinal además de estar dispuesta para un Cooper de diseño para poca carga por eje - Cooper E30 - es precaria, ocasionando inundaciones de la misma en las temporadas invernales y la superestructura es obsoleta: las capas de asiento están contaminadas de suelo y en muchos trayectos, la vía se encuentra en tierra. El armamento de vía en las traviesas de madera se encuentra en mal estado y el carril de perfil es inferior a 75 lb/yda, luego se le deben realizar cambios.

La metodología que se utilizó es de tipo documental. Se recolectó la información correspondiente a lo relacionado con el Sistema Ferroviario en Colombia, infraestructuras y aspectos técnicos, geológicos, geotécnicos y normativos medioambientales que sean aplicables y sirvan como aporte a la modernización del Sistema Férreo de la Línea Bogotá-Belencito.

## **ABSTRACT**

*This dissertation starts with a theoretical framework compiling the history of National Railroads in Colombia. Subsequently, an analysis of the parameters on infrastructure and service is made, with which a concept on the state of the railroad network between Bogotá and Belencito has been made, on the specific route section established as representative for its categorization, based on the characteristics of a modern and competitive railroad system.*

*On the next chapter, an inventory of the actual state of the railroad network is made, in order to diagnose its state, using the reports presented by the entities involved in the improvement of the network and the inventories of the harm caused by the winter season during 2010 and 2011.*

*This railroad line has special characteristics on most of its route, with maximum longitudinal slope of 2.5%, crossing mostly mountainous areas, where the hillsides are affected by the land use, geological faults, particular hydro-geological conditions, and where needed, take proper actions to improve the access of the railroad network to the districts where the coal mines are, on the eastern side of the country; Also expand the routes on the Atlantic railroad network, when needed by the requirements of the demand, or when private transportation systems or operational contract requests exist: And develop fare structures to guarantee the self sustainability of the railroad network between Bogota and Belencito.*

*The railroad track layout in its plant-profile has not been updated, and rectification on the route must be reconsidered. The transversal and longitudinal drain infrastructure, besides of being set for a low load by axis design Cooper – Cooper E30 – which is precarious and causes floods during the winter season, the superstructure is obsolete: the base layers are contaminated by soil and in many parts of the route, the track is on dirt. The assembling of the wood pieces is in bad shape and the rail profile is lower than 75 lbs. /yd and must be changed.*

*And finally, an inventory and evaluations of the regulations and other environmental considerations are made, as procedures and measures to correct, relieve and prevent the environmental damage of the studied route.*

*The methodology used on this thesis, is documentary research. The corresponding information related to the railroad system in Colombia, Infrastructure, technical, geological, geotechnical and environmental regulations was gathered to be applied and used as a contribution of the modernization and update of the railroad system on the route Bogota-Belencito*

## Índice general

	Pág.
Introducción.....	16
Antecedentes.....	17
Análisis de la Situación.....	17
Objetivo General.....	18
<b>Capítulo 1. Marco Teórico.....</b>	<b>19</b>
1.1. Breve Reseña Histórica de los Ferrocarriles Nacionales de Colombia.....	19
1.2. Bases Conceptuales Parámetros de Diseño.....	30
<b>Capítulo 2. Caracterización de la Red Férrea Bogotá-Belencito. Tramo: Suesca-Villapinzón-Tunja.....</b>	<b>52</b>
2.1. Regeometrización de la Red Férrea Bogotá-Belencito.....	52
2.2. Caracterización Infraestructura.....	53
2.3. Caracterización Superestructura.....	75
2.4. Aspectos Geotécnicos.....	95
2.5. Caracterización Hidrometeorológica.....	101
<b>Capítulo 3. Análisis de la Infraestructura existente Red Ferroviaria Bogotá-Belencito. Tramo: Suesca-Villapinzón-Tunja.....</b>	<b>107</b>
3.1. Tramo: Suesca-Villapinzón.....	111
3.2. Tramo Villapinzón-Tunja.....	128
3.3. Diagnóstico Situación Actual de la Red Bogotá-Belencito. Tramo: Suesca-Villapinzón-Tunja.....	190
<b>Capítulo 4. Normatividad y consideraciones medioambientales del modo férreo.....</b>	<b>196</b>
4.1. Marco Normativo del Modo Férreo.....	197
4.2. Marco Normativo Ambiental del Sector Férreo.....	202
4.3. Otras normativas aplicables al sector Férreo.....	204
4.4. Aspectos Medioambientales del Modo Férreo.....	209
<b>Capítulo 5. Recomendaciones.....</b>	<b>219</b>
<b>Capítulo 6. Bibliografía.....</b>	<b>223</b>
<b>ANEXOS</b>	

## Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1. Construcción por Km de vía ferroviaria en Colombia.....	23
Tabla 2. Contratos adjudicados para el mantenimiento y rehabilitación (2014-2015)	27
Tabla 3. Vías Férreas Red Nacional.....	28
Tabla 4. Radios Mínimos.....	34
Tabla 5. Pendientes Máximas Recomendadas.....	41
Tabla 6. Espesor Mínimo de Capas de Asiento.....	47
Tabla 7. Parámetros de diseño Red Férrea Bogotá-Belencito.....	53
Tabla 8. Puntos principales- Red IGAC.....	54
Tabla 9. Longitud de curvas de transición (m).....	58
Tabla 10. Características geométricas del Tramo Bogotá-Belencito.....	59
Tabla 11. Tramo: Bogotá-Villapinzón.....	63
Tabla 12. Tramo: Villapinzón – Belencito.....	64
Tabla 13. Efecto de la pendiente y curvatura.....	65
Tabla 14. Requisitos de los materiales.....	68
Tabla 15. Características del material seleccionado para relleno.....	69
Tabla 16. Características principales de la Vía Férrea Bogotá-Belencito.....	75
Tabla 17. Exploración del Subsuelo.....	76
Tabla 18. Sectores Homogéneos Tramo Bogotá – Belencito.....	78
Tabla 19. Gradación del Balasto.....	80
Tabla 20. Gradación del subbalasto.....	83
Tabla 21. Especificaciones funcionales para las traviesas de concreto pretensado	87
Tabla 22. Relación puentes Superestructura.....	88
Tabla 23. Relación Puentes Bogotá-Belencito.....	90
Tabla 24. Relación de Puentes Infraestructura.....	91
Tabla 25. Características de las Estaciones Hidrométricas.....	106
Tabla 26. Tipología deslizamientos Tramo: Suesca-Villapinzón-Tunja.....	108
Tabla 27. Legislación Modo Férreo en Colombia.....	198
Tabla 28. Legislación Ambiental existente del Sector Férreo en Colombia.....	203
Tabla 29. Niveles Permisibles emisión de ruido vehículos férreos.....	212
Tabla 30. Niveles Máximos permisibles de emisión de contaminantes en vehículos Férreos.....	215

## Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Primeras carrileras en Colombia para halar carros por medio de animales.	19
Figura 2. Primera locomotora sobre rieles (1804).....	19
Figura 3. Vía Férrea en Colombia.....	19
Figura 4. Primeras concesiones en Colombia que uniría los océanos Atlántico y Pacífico.....	20
Figura 5. Construcción de la vía férrea basada en mano de obra.....	22
Figura 6. Emisión de dinero para financiar las vías férreas.....	22
Figura 7. Hombres trabajando en la línea férrea.....	24
Figura 8. Situación del Corredor La Dorada-Chiriguaná- Bogotá-Belencito.....	25
Figura 9. Curva simple o Monocéntrica.....	32
Figura 10. Curva Compuesta del mismo sentido.....	32
Figura 11. Curva Compuesta de Sentido Contrario.....	33
Figura 12. Curvas circulares .....	33
Figura 13. Centro de gravedad del vehículo.....	34
Figura 14. Curvas de Transición.....	38
Figura 15. Rampa de Peralte.....	39
Figura 16. Par montado.....	42
Figura 17. Ancho de vía.....	42
Figura 18. Gálibo de partes altas.....	43
Figura 19. Gálibo de partes bajas (Ancho Métrico 1.000 mm).....	44
Figura 20. Drenaje Superficial.....	45
Figura 21. Plataforma- Clase de Calidad del Suelo Soporte.....	46
Figura 22. Esquema de espesores de las capas de asiento-Grupos de Clasificación de Suelos.....	48
Figura 23. Mapa Red Férrea Bogotá-Belencito: Tramo Suesca-Villapinzón-Tunja.....	54
Figura 24. Elementos para definición del peralte .....	61
Figura 25. Medición de las flechas.....	74
Figura 26. Instalación de la geomalla.....	84
Figura 27. Dimensiones básicas de la traviesa.....	85
Figura 28. Sección de Riel ARA-A-90.....	94
Figura 29. Fotografías Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario al pie de Ladera sector Suesca-Santa saPK076+670.....	112
Figura 30. Fotografías Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario al pie de Ladera sector Suesca-Santa Rosa- PK 6+800.....	114
Figura 31. Fotografías Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario al pie de Ladera sector Suesca-Santa Rosa- PK 077 + 00.....	115
Figura 32. Fotografías Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario al pie de Ladera sector Suesca-Santa Rosa- PK 076 + 800. Margen derecha Río Bogotá.....	117
Figura 33. Fotografías Deslizamiento de Talud con terraplén ferroviario a pie de Ladera Sector: Suesca-Santa Rosa PK 077 + 900.....	119
Figura 34. Fotografías Deslizamiento de Talud con terraplén ferroviario a pie de Ladera Sector Suesca-Santa Rosa PK 079 +250.....	120
Figura 35. Fotografías Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Suesca-Santa Rosa PK 079 + 800.....	122

	Pág
Figura 36. Fotografías Desplazamiento Lateral del cauce del Río. Sector Chocontá-Villapinzón (PK 0103+ 470).....	124
Figura 37. Fotografías Desplazamiento Lateral del cauce del Río. Sector Chocontá-Villapinzón (PK 0103 + 770).....	126
Figura 38. Fotografías Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de Ladera Sector Villa Pinzón-Albarracín (PK 0112 + 500).....	128
Figura 39. Fotografías Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de Ladera Sector Villa Pinzón-Albarracín (PK 0112 + 720).....	130
Figura 40. Fotografías Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Villa Pinzón-Albarracín (PK 0117 + 150).....	132
Figura 41. Fotografías Deslizamiento del Terraplén ferroviario a media ladera Sector Villa Pinzón-Albarracín (PK 0117 + 750).....	133
Figura 42. Fotografías Deslizamiento del Terraplén ferroviario a media ladera Sector Villa Pinzón-Albarracín (PK 0119 + 250).....	134
Figura 43. Fotografías Deslizamiento de terraplén ferroviario a Media Ladera Sector Villa Pinzón-Albarracín (PK 0120 + 800).....	138
Figura 44. Fotografías Deslizamiento del Terraplén ferroviario a media ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 0123 + 000).....	139
Figura 45. Fotografías Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de Ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 0123 + 200).....	140
Figura 46. Fotografías Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de Ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 0126 + 200).....	141
Figura 47. Fotografías Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de Ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 0126 + 700).....	144
Figura 48. Fotografías Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de Ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 0127 + 280).....	146
Figura 49. Fotografías Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de Ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 0128 + 400).....	146
Figura 50. Fotografías Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de Ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 0129 + 900).....	148
Figura 51. Fotografías Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de Ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 0130 + 000).....	150
Figura 52. Fotografías Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de Ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 0134 + 100).....	151
Figura 53. Fotografías Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de Ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0137 + 500).....	153
Figura 54. Fotografías Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0137 + 900).....	155
Figura 55. Fotografías Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0139 + 100).....	157
Figura 56. Fotografías Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de Ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0139 + 350).....	158
Figura 57. Fotografías Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 139+400).....	160
Figura 58. Fotografías Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de Ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0139 + 600).....	162
Figura 59. Fotografías Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0140 + 280).....	164

	pág
Figura 60. Fotografías Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0140 + 435).....	166
Figura 61. Fotografías Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de Ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0140 + 650).....	167
Figura 62. Hundimiento del terraplén ferroviario por deformación de la sub rasante en el Sector Ventaquemada-Tierra Negra PK 0142 + 700.....	169
Figura 63. Fotografías Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de Ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0146 + 960).....	171
Figura 64. Fotografías Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de Ladera Sector Tierra Negra-Samacá (PK 0153 + 540).....	173
Figura 65. Fotografías Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Tierra Negra-Samacá (PK 0153 + 680).....	174
Figura 66. Fotografías Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Tierra Negra-Samacá (PK 0158 + 100).....	176
Figura 67. Fotografías Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Samacá-Tunja (PK 0161 + 700).....	178
Figura 68. Fotografías Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Samacá-Tunja (PK 0163 + 584).....	179
Figura 69. Fotografías Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de Ladera Samacá-Tunja (PK 0164 + 300).....	181
Figura 70. Fotografías Deslizamiento de terraplén ferroviario a media ladera Sector Samacá-Tunja (PK 0175 + 865).....	183
Figura 71. Fotografías Hundimiento del terraplén ferroviario por deformación de la subrasante (PK 0179 + 305).....	185
Figura 72. Fotografías Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Samacá-Tunja PK 0179 + 430.....	186
Figura 73. Fotografías Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Samacá-Tunja PK 0181 + 200.....	188

## Índice de Gráficos

	Pág.
Gráfico 1. Efecto de pendiente y curvatura.....	63
Gráfico 2. Variación del CBR en el tramo Bogotá – Belencito.....	79
Gráfico 3. Variación de la granulometría del balasto para el tramo Bogotá- Belencito.....	80
Gráfico 4. Variación del Desgaste en el Tramo Bogotá – Belencito.....	81
Gráfico 5. Sección Típica deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de Ladera-DTFPL- ladera sector Suesca-Santa Rosa- PK 076 + 670.....	112
Gráfico 6. Sección Típica deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de Ladera-DTFPL Sector Suesca-Santa Rosa- PK 076 + 800.....	114
Gráfico 7. Sección Típica deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de Ladera-DTFPL Sector Suesca-Santa Rosa- PK 077 + 000.....	116
Gráfico 8. Sección Típica deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de Ladera Sector Suesca-Santa Rosa- PK 076 + 800 Margen derecha Río Bogotá.....	118
Gráfico 9. Sección Típica. Deslizamiento de Talud con terraplén ferroviario a pie de Ladera Sector: Suesca-Santa Rosa (PK 077 + 900).....	119
Gráfico 10. Sección Típica: Deslizamiento de Talud con terraplén ferroviario a pie de ladera Sector Suesca-Santa Rosa (PK 079 + 250).....	123
Gráfico 11. Sección Típica: Deslizamiento del terraplén ferroviario media ladera Sector Suesca-Santa Rosa (PK 079 + 800).....	121
Gráfico 12. Sección Típica: Desplazamiento Lateral del cauce del Río. Sector: Chocontá-Villa Pinzón (PK 0103 + 470).....	124
Gráfico 13. Sección típica de desplazamiento lateral del cauce del Río Sector Chocontá-Villa Pinzón (PK 0103 + 770).....	126
Gráfico 14. Sección Típica Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de ladera. Sector Villa Pinzón-Albarracín (PK 0112 + 500).....	128
Gráfico 15. Sección Típica: Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de Ladera Sector Villa Pinzón-Albarracín (PK 0112 + 720).....	130
Gráfico 16. Sección Típica: Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Villa Pinzón-Albarracín (PK 0117 + 150).....	132
Gráfico 17. Sección Típica: Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Villa Pinzón-Albarracín (PK 0117 + 750).....	133
Gráfico 18. Sección Típica: Deslizamiento del Terraplén ferroviario a media ladera Sector Villa Pinzón-Albarracín (PK 0119 + 250).....	135
Gráfico 19. Sección Típica: deslizamiento del terraplén ferroviario a Media Ladera Sector Villa Pinzón-Albarracín (PK 120 + 800).....	137
Gráfico 20. Sección Típica: deslizamiento del terraplén ferroviario a Media Ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 0123 + 000).....	138
Gráfico 21. Sección Típica: deslizamiento del terraplén ferroviario a Media Ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 0123 + 200).....	140
Gráfico 22. Sección Típica: deslizamiento del terraplén ferroviario a pie de Ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 126 + 200).....	142
Gráfico 23. Sección Típica: deslizamiento del terraplén ferroviario a pie de Ladera	

	Pág.
Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 126 + 700).....	144
Gráfico 24. Sección Típica: deslizamiento del terraplén ferroviario a media Ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 127 + 280).....	145
Gráfico 25. Sección Típica: deslizamiento del terraplén ferroviario a media Ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 128 + 400).....	147
Gráfico 26. Sección Típica: deslizamiento del terraplén ferroviario a pie de Ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 129 + 900).....	149
Gráfico 27. Sección Típica: deslizamiento del terraplén ferroviario a pie de Ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 130 + 000).....	150
Gráfico 28. Sección Típica: deslizamiento del terraplén ferroviario a pie de Ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 134 + 100).....	152
Gráfico 29. Sección Típica. Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0137 + 500).....	154
Gráfico 30. Sección Típica: Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0137 + 900).....	156
Gráfico 31. Sección Típica: Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0139 + 100).....	157
Gráfico 32. Sección Típica: Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 139+350).....	159
Gráfico 33. Sección Típica: Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 139+400).....	161
Gráfico 34. Sección Típica: Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0139 + 600).....	163
Gráfico 35. Sección Típica: Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0140 + 280).....	165
Gráfico 36. Sección Típica: Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0140 + 435).....	166
Gráfico 37. Sección Típica: Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0140 + 650).....	168
Gráfico 38. Sección Típica. Hundimiento del terraplén ferroviario por deformación de Subrasante en el Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0142 + 700)...	170
Gráfico 39. Sección Típica: Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra PK 0146 + 960.....	171
Gráfico 40. Sección Típica: Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de ladera Sector Tierra Negra-Samacá (PK 0153 + 540).....	173
Gráfico 41. Sección Típica: Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Tierra Negra-Samacá (PK 0153 + 680).....	175
Gráfico 42. Sección Típica: Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Tierra Negra-Samacá (PK 0158 + 100).....	177
Gráfico 43. Sección Típica: Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Samacá-Tunja (PK 0161 + 700).....	178
Gráfico 44. Sección Típica: Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Samacá-Tunja (PK 0163 + 584).....	180
Gráfico 45. Sección Típica: Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de ladera Sector Samacá-Tunja (PK 0164 + 300).....	182
Gráfico 46. Sección Típica: Deslizamiento de terraplén ferroviario a media ladera Sector Samacá-Tunja (PK 0175 + 865).....	184

	Pág.
Gráfico 47. Sección Típica: Hundimiento del terraplén ferroviario por deformación de la subrasante Sector Samacá-Tunja (PK 0179 + 305).....	185
Gráfico 48. Sección Típica: Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector: Samacá-Tunja (PK 0179 + 430).....	187
Gráfico 49. Sección Típica: Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector: Samacá-Tunja (PK 0181 + 200).....	188

## Índice de anexos

	Pág.
Anexo A. Registro Fotográfico.....	226
Anexo B. Planta Perfil Red Férrea Bogotá-Belencito-DVD	

## Introducción

El Trabajo de Grado, está dirigido a dar un diagnóstico acerca de la situación actual de la Red Ferroviaria Bogotá-Belencito. Tramo: Suesca-Villapinzón-Tunja. La infraestructura de transporte es parte fundamental en la economía de un país. En Colombia, el modo férreo, es uno de los medios de transporte más viables económicamente y tiene una importancia estratégica creciente, que contribuye a la mejora de la competitividad del país y es fundamental para la movilidad tanto de pasajeros como de carga y contribuye al desarrollo de la actividad en otros sectores como la industria, la minería, el comercio y el turismo.

Los Ferrocarriles Nacionales deben modernizar su infraestructura para poder rehabilitar las vías férreas y modernizar el equipo rodante y así prestar un mejor servicio de transporte, el cual es una buena alternativa de solución para el transporte multimodal en varias regiones del país, tanto de carga como de pasajeros. Se debe fomentar el resurgimiento de los ferrocarriles nacionales, lo que permitiría la competitividad con los demás modos de transporte.

Después de la implementación del modo férreo en el territorio nacional, que fue considerado hace varias décadas de gran importancia para el desarrollo del país y el cual perdió competitividad ante las mejoras de los otros modos de transporte y en razón de no haberse considerado su bondad para el transporte de mercancías y pasajeros, en los planes de infraestructura del país. A nivel nacional, se mueven por los ferrocarriles al año 2015, 47.935 toneladas de carga<sup>1</sup>, lo que pone a este modo de transporte como el segundo medio más utilizado, siendo el carbón el producto de mayor movilización y a pesar de esto, Colombia es considerada como el país con la calidad en infraestructura ferroviaria más baja del mundo.

Por la anterior situación, la infraestructura ferroviaria se fue deteriorando, lo que ocasionó el cierre de trayectos hasta llegar al punto actual en donde prácticamente el tren no existe. Todos los esfuerzos por corregir esta situación, han fracasado. Los problemas en la actualidad, son aún más complejos, debido al deterioro de la infraestructura, que se ha agravado por las recientes olas invernales, trazados obsoletos con altas pendientes y radios de curvatura no apropiados, situación que conlleva a dificultades para la operación en algunos trayectos, como la Red del Pacífico y la Red Central en líneas de montaña.

En el país la red férrea está construida en trocha angosta, y las únicas líneas férreas construidas con trocha estándar son la del Ferrocarril del Cerrejón y el Metro de Medellín. Definir el ancho de vía para los proyectos nuevos, es una de las decisiones más importantes donde se debe tener en cuenta la esperanza de vida de los proyectos que en materia ferroviaria deben ser de al menos 100 años, entre otras, la posibilidad de interconectar las vías nacionales (líneas antiguas y proyectos nuevos) y la de conectarse, con la red venezolana.

Las cifras que respaldan esta recomendación por parte de la Cámara Colombiana de Infraestructura, son contundentes: el peso máximo de carga por vagón en trocha angosta se reduce casi a la mitad en comparación con la trocha estándar, haciéndola menos

---

<sup>1</sup> MINISTERIO DE TRANSPORTE AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA. ANI. (2015). Transporte en cifras 2015. Anuario Estadístico 2015. Bogotá, Oficina Asesora de Planeación.

eficiente, mientras un vagón de trocha estándar mueve en promedio 100 toneladas métricas, un vagón de trocha angosta mueve máximo entre 40 y 60 toneladas métricas de carga. De esta manera, la modernización de la trocha garantizaría una operación más eficiente, permitiendo la entrada de locomotoras con mayor potencia, y mejores condiciones de operación y transporte de carga.

## **Antecedentes**

El Ministerio de Transporte a través de la ANI y el INVIAS realizan un gran esfuerzo para adaptarse a las realidades de la infraestructura, pero es tan notorio el atraso que en pocos años difícilmente podrá ponerse a punto para que el modo preste un servicio de transporte eficiente.

En el país la red férrea está construida en trocha angosta y las únicas líneas férreas construidas con trocha estándar son la del Ferrocarril del Cerrejón y el Metro de Medellín. Definir el ancho de vía para los proyectos nuevos, es una de las decisiones más importantes donde se debe tener en cuenta, entre otras, la posibilidad de interconectar las vías nacionales (líneas antiguas y proyectos nuevos) y la de conectarse, con la red venezolana.

Para el desarrollo de los programas futuros del modo férreo en el país, se considera que la red actual es obsoleta en su trazado, infraestructura y superestructura de forma notoria en las vías de montaña. Por lo anterior, se deben realizar inversiones en el proyecto, para la modernización de la vía, teniendo en cuenta que se requieren rectificaciones de trazado en el trayecto Suesca-Villapinzón-Tunja en razón a la problemática geotécnica existente, que obliga a soluciones costosas y a rectificaciones tanto del trazado en planta como en el trazado en perfil, recordando que este último repercute en la capacidad tractiva que se deba utilizar para una operación eficiente y económica, recordando así mismo que en el diseño en planta, se debería proyectar un radio de curvatura mayor a 300 metros (500 m idealmente no menor a 500 metros) y en el perfil gradientes o pendientes que no superen el 1.5%.

La modernización de la Red Férrea debe orientarse con trazados que no solamente satisfagan el trazado en planta y perfil, sino también que brinden un horizonte en cuanto a la vida útil del proyecto a largo plazo, haciendo mención que estos internacionalmente se esbozan para 100 años, recordando que cualquier modificación del trazado en perfil además de involucrar grandes movimientos de tierra desemboca en inversiones costosas, desde el punto de vista futurista.

## **Análisis de la Situación**

Hasta ahora en Colombia, no se ha adoptado una estrategia apropiada para lograr la reactivación del modo ferroviario, que presenta un atraso significativo en infraestructura, lo cual se traduce en niveles de servicio precarios no acordes para competir en el comercio nacional e internacional con los demás modos de transporte, y no se ha empleado un procedimiento acertado para calificar la infraestructura ferroviaria.

Al respecto, se recalca que las infraestructuras de los modos conllevan a generar polos de desarrollo y crecimiento de las regiones o localidades específicas.

Después de la implementación del modo en el territorio nacional, considerándolo en ese entonces de gran importancia para el desarrollo del país, a partir de las últimas décadas del siglo pasado perdió vigencia ante las mejoras de los otros modos de transporte y en razón de no haberse considerado su bondad para el transporte de mercancías y pasajeros, en los planes de infraestructura del país.

Una propuesta a la problemática de las vías existentes con los nuevos proyectos es la implantación de la vía polivalente, considerando el diseño del tercer carril, para lograr un ancho de vía de la trocha existente. Cabe preguntarse la necesidad de sostener la trocha yárdica, siendo que el parque de material rodante (tractivo remolcado) con que se dispone en poco número, es un parque que ha cumplido su vida útil y que se considera totalmente obsoleto.

Evaluando la situación actual de la Red Férrea Nacional, es preocupante que a pesar de las millonarias inversiones que el país ha realizado en la rehabilitación de grandes tramos de la red, es claro que el hecho de mantener los trazados existentes y la trocha angosta con la que fueron construidos hace casi un siglo, lo hace muy poco competitivo en comparación con los estándares internacionales.

En este sentido, el Ministerio de Transporte contrató al Consorcio Epypsa-Ardanuy (2013), para realizar el estudio en el que se evalúa la viabilidad y conveniencia del cambio de trocha yárdica a trocha estándar y sus impactos en el transporte de carga y pasajeros; siendo la conclusión del estudio que la red férrea del país requiere el cambio de trocha a estándar por razones estratégicas, de interoperabilidad con redes ferroviarias de grandes ciudades y de oportunidad de negocios con mercados internacionales.

### **Objetivo General**

Realizar un Diagnóstico que indique cuál es la solución más acertada para aplicar en el tramo Suesca-Villapinzón-Tunja, con el horizonte de la modernización de los ferrocarriles del país y de los nuevos proyectos ferroviarios.

## Capítulo 1

### Marco Teórico

En este capítulo, se desarrollará una breve reseña histórica de los Ferrocarriles Nacionales de Colombia y se discutirán los parámetros que se van a tener en cuenta para poder dar un diagnóstico de la situación actual de la Red Ferroviaria Bogotá-Belencito Tramo: Suesca-Villapinzón-Tunja.

#### 1.1. Breve Reseña Histórica de los Ferrocarriles Nacionales de Colombia

Desde la invención de la rueda, ha sido una constante preocupación del hombre la optimización del sistema de transporte de carga, primero para poder transportar cargas más pesadas y segundo para conseguirlo con un menor costo energético. Es así como muy rápidamente el hombre decide hacer caminos o trochas por donde transportar los carruajes que ha construido a partir de la inapreciable rueda.

Posteriormente aparece el uso de troncos de árbol, cortados longitudinalmente en forma de canal y adosados unos a otros formando una vía doble por la cual pueden circular los carros halados por animales como caballos o mulas, evitando así que se enterrasen a causa del barro o las condiciones blandas del terreno. Con la popularización del uso del hierro, el reemplazo de la vía de troncos paralelos por rieles metálicos constituyó un gran avance, el cual fue fundamental en el desarrollo de la industria minera.



Figura 1. Primeras carrileras en Colombia con carros halados por animales.  
Fuente: Diario La Opinión, Año 2012.

A finales del siglo XVIII el inglés James Watt inventa la primera máquina de vapor (Ver figura 2), la cual permite acelerar de manera significativa el lento avance material de la humanidad. Aprovechando los adelantos mecánicos de la industria textil y la masificación de la producción de acero, en 1804 que el también inglés Richard Trevithick inventó la primera máquina locomotora sobre rieles. Este invento fue muy rápidamente comercializado, pues solamente veinte años más tarde aparece ya el primer servicio de ferrocarril entre Stockton y Darlington.

En 1830, cerca de cinco años después de inaugurado el primer servicio de ferrocarril en Inglaterra (Liverpool-Manchester, 1825), se comenzaron a construir locomotoras y carrileras en los Estados Unidos, siempre partiendo de la costa Atlántica hacia el interior. En los primeros diez años se construyeron 5.000 Km de vías ferroviarias y a finales del siglo XIX ya utilizaban una red de más de 150.000 Km, en tanto que a comienzos del siglo XX sobrepasaron los 400.000 Km. (Ver Figura 2).

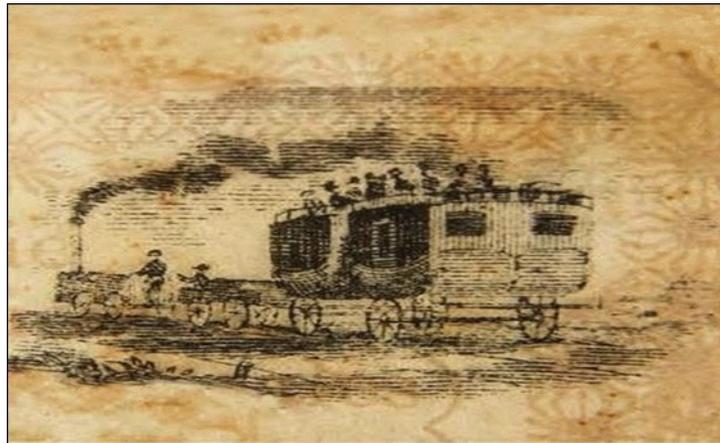


Figura 2. Primera locomotora sobre rieles. (1804)

Fuente: Diario de la Opinión. Historia de los Ferrocarriles en Colombia. Año, 2012.

La guerra civil americana de mediados del siglo XIX, fue un gran acicate para el desarrollo de los ferrocarriles, pues se constituyó en la primera contienda moderna del mundo, debido a la utilización del ferrocarril para fines estratégicos y tácticos,



Figura 3. Vía Férrea en Colombia

Fuente: Diario de la Opinión. Año, 2012

La construcción de los ferrocarriles en USA se llevó a cabo siempre por parte de la empresa privada con el apoyo de los estados y del gobierno federal, adjudicando las tierras adyacentes a las vías férreas y otorgando créditos blandos. La valorización de las tierras a lo largo de las vías soportó parte del costo de la construcción, aumentó los

ingresos públicos y estimuló la colonización de los territorios donde se instaló el nuevo sistema, atrayendo una gran cantidad de inmigrantes, principalmente europeos.

El aporte del tren al progreso de la humanidad no solo se debe al sector del transporte. Los ferrocarriles contribuyeron de manera importante a consolidar el desarrollo de las naciones que realizaron su construcción y además estimularon la inmigración y la colonización de grandes zonas; facilitaron el avance de la ingeniería, se promovió el desarrollo empresarial, el ahorro público, generando la formación de grandes empresas comerciales.

El tren fue el motor del desarrollo de la mayor economía del mundo, realizando aportes sociales, culturales y políticos. Las diversas empresas ferrocarrileras desarrollaron las vías férreas y los equipos complementarios con diversas especificaciones, lo que exigió estandarizar el ancho de las trochas, la construcción de los equipos, el sistema de cobro de los pasajes, el diseño de los equipajes, el suministro de comidas rápidas, las medidas de prevención de accidentes etc. Los vagones de pasajeros y las estaciones integraron una comunidad y su impacto llegó hasta la velocidad del tren viajando en grandes distancias de este a oeste, se modificó la concepción del tiempo y se creó la división del mapa en zonas horarias para facilitar la organización del sistema ferroviario, nacen los husos horarios.

Colombia no fue ajena a toda esta revolución: en 1835, diez años después de establecida la primera línea comercial en Inglaterra, se expidió la primera ley que trataba de concesiones ferrocarrileras para desarrollar un ferrocarril que uniera los océanos Atlántico y Pacífico. (Ver Figura 4).



Figura 4. Primeras concesiones en Colombia que uniría los océanos Atlántico y Pacífico.  
Fuente: Diario La Opinión. Año, 2012.

La construcción del tramo del Ferrocarril de Panamá, se llevó a cabo entre 1.850 y 1.855, financiada por capital privado norteamericano. Sin embargo, a pesar de que esta red fue una empresa rentable, aunque se considera como la red férrea más rentable del mundo para su época, su incidencia en el progreso del país fue nula. (Ver Figura 5).



Figura 5. Construcción de la red férrea basada en mano de obra.  
Fuente: Diario La Opinión. Año, 2012.

En 1.865, se iniciaron una serie de líneas en el interior del país, comenzando en Barranquilla, Cúcuta, Medellín, Pacífico, Santa Marta, La Dorada, Sabana de Bogotá y Girardot, en su gran mayoría fueron financiadas por la Nación (50%), los privados (30%), departamentos (13%) y el resto por asociaciones mixtas. La financiación de muchas de dichas obras se efectuaron haciendo emisión de dinero: (Ver Figura 6).



Figura 6. Emisión de dinero para financiar las vías férreas.  
Fuente: Diario La Opinión. Año, 2012.

Desafortunadamente, la mayoría de los ferrocarriles colombianos sufrieron un calvario de contratos fallidos, pleitos, obras destruidas, financiaciones onerosas, errores técnicos, tardanzas inexplicables, corrupción, ingenuidad de los negociadores y vacíos jurídicos. De ello da cuenta la historia de los ferrocarriles del Cauca, de Antioquia, del Norte (Fundación-Aracataca), Puerto Wilches, de Santa Marta, del Sur (Bogotá-Salto del Tequendama) y especialmente el de Girardot.

Casi todos los trayectos ferroviarios que se iniciaron por iniciativa de los gobiernos entre el final del siglo XIX y principios del siguiente, así como algunos de los denominados privados, sufrieron un viacrucis similar, con las honrosas excepciones de los ferrocarriles de la Sabana de Bogotá, de Cúcuta y la segunda parte de Antioquia, financiados y construidos por colombianos, que demostraron que sí era posible realizar obras económicas. Pero quizás, los proyectos en donde se hizo más evidente la incapacidad de nuestros dirigentes para construir ferrocarriles de manera adecuada, para negociar con nacionales y extranjeros, para obtener los recursos necesarios, fue en los tramos de carrilera que comunicaron a la capital de la República con el río y con las provincias del interior.

Colombia en más de 180 años no ha logrado construir siquiera lo que los norteamericanos construyeron durante los primeros 10 años de existencia del nuevo invento y lo poco que se ha conseguido ha sido a unos costos exorbitantes: el promedio por Kilómetro de vía férrea en USA en esa época era de \$33.600, en tanto que en Colombia los costos eran: (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Construcción por Km de vía ferroviaria en Colombia  
Pesos Oro (\$/Km)

<b>TRAMO</b>	<b>VALOR ( \$oro/Km)</b>
Bogotá-Zipacquirá	\$106.000
Puerto Wilches	\$206.000
Cúcuta y Antioquia (Zona montañosa)	\$21.000
Pacifico	\$108.000
Girardot	\$161.000

Fuente: Elaboración propia. Año 2014

La construcción se llevó a cabo con buenos controles fiscales y se obtuvieron promedios mucho mejores que los americanos: es así como construcciones en Cúcuta, en el sur del país y en la montañosa Antioquia se consiguieron promedios de \$21.000 por kilómetro. La falta de capacidad administrativa de la dirigencia nacional y la condescendencia con algunos contratistas, dio lugar a la entrada de especuladores internacionales en la financiación de algunos proyectos, la que encareció escandalosamente los costos.

En sólo cinco tramos férreos de 220 Km de longitud, se perdieron 22 millones de pesos oro, un enorme valor equivalente a más de 4 veces el presupuesto anual de rentas de la nación en los años en que se inició su construcción.

Además, las demoras en las obras causadas por la lentitud con que se manejaban los contratos, unidos a las pobres especificaciones de las líneas construidas con la máxima economía, no sólo retardaron el progreso de las regiones, sino que determinaron grandes

costos operativos y posteriormente una incapacidad de actualizar las vías y los equipos, lo que impidió al sistema férreo competir con el transporte automotor.

En la Figura 7, se observa un grupo de gente, que a pesar de la inclemencia del clima, está comprometida con el desarrollo de este medio de transporte.



Figura 7. Hombres trabajando en la línea férrea  
Fuente: Betancur, Belisario; Zuluaga, Conrado. Año, 2013.

El café fue determinante en la construcción de los ferrocarriles en Colombia, se desarrollaron vías para sacar este importante producto de exportación. Es por ello que se observa una importante aglomeración de vías férreas en las regiones productoras del grano y orientadas a llevar el café a las costas o a los principales ríos del país. Las pérdidas económicas que dejaba la operación de varias líneas, combinadas con la rápida extensión de las carreteras y la deficiente administración del transporte férreo, fueron dejando rezagado este medio de transporte.

En 1954, fueron creados los Ferrocarriles Nacionales de Colombia, FNC, para unificar el sistema de transporte férreo y de operar y mantener su infraestructura y equipos para prestar un servicio eficiente. Se hicieron esfuerzos enormes por consolidar la empresa para beneficio socioeconómico del país, pero se generó una crisis institucional, administrativa y financiera que condujo al Estado a plantear una reestructuración del servicio público de transporte férreo.

A partir de la década de los sesenta el Sistema Ferroviario Colombiano, fue el primer transporte, paradójicamente cuando se logró transportar el mayor volumen de carga y empezaban a recuperarse las inversiones efectuadas, paulatinamente el sistema ferroviario fue perdiendo importancia dentro del sector transporte colombiano, por causa del deterioro de la red y el escaso volumen de carga transportada, ya que la carga férrea se canalizó a través de otros medios como el carretero y la aparición del automóvil, mucho después se hicieron avances tecnológicos en este modo, quedando atrasado el modo ferroviario, que se vio amenazado por la naturaleza del terreno y por los grandes costos que acarrearía su mantenimiento, esto llevó como resultado a que el sistema férreo fracasara.

En 1987, había unos 3.300 kilómetros de vía férrea, pero sólo 2.600 estaban en uso y se encontraban en operación no más del 20 por ciento de las locomotoras.

En 1988, con la Ley 21, se inició un proceso de transformación organizacional que incluyó la liquidación de los FNC y la propuesta de aplicar un modelo mixto, donde el Estado administrara la infraestructura ferroviaria y el sector privado asumiera la operación de los equipos de transporte, teniendo libre acceso a la infraestructura férrea. Con este planteamiento se crearon tres entidades:

- ✓ La Empresa Colombiana de Vías Férreas, FERROVIAS, dedicada a la operación, recuperación, mantenimiento y expansión de la red ferroviaria.
- ✓ La Sociedad Colombiana de Transporte Ferroviario STF S.A. Destinada a la operación de los equipos y a prestar el servicio de transporte con criterios de eficiencia y rentabilidad.
- ✓ El Fondo Pasivo Social de Ferrocarriles Nacionales de Colombia, creado para que la nación asumiera el pago de los pasivos laborales y financieros de los antiguos FNC (Ferrocarriles Nacionales de Colombia).

La principal función de FERROVIAS era garantizar la operación de la red e integrarla con los demás medios de transporte con adecuados niveles de confiabilidad y minimizar los costos de transporte, costos de rehabilitación y recuperación de la red, derivándose como consecuencia mayores costos.

Para el periodo entre 1991 y 1995 se aprobaron inversiones por US\$ 338 millones para rehabilitar 1.606 Km., modernizar los sistemas de comunicaciones y reparar las estaciones y bodegas, para el mejoramiento del nivel de servicio y garantizar la estabilidad de las empresas operadoras.

Su mala planificación y ejecución llevaron a su expiración. El transporte de pasajeros se suspendió en 1992 y se reasumió a fines de siglo, para esa época, el total de pasajeros fue de 165.000 pas/año, que comparado con más de 5 millones en 1972, presenta la real situación del sector férreo en el país.

La relativa reactivación del transporte de carga por el modo férreo en la década de los noventa se explica por la iniciación de la restauración del servicio en el período 1990-1994. El Estado asumió los costos derivados de la rehabilitación de las vías férreas y la financiación se obtuvo mediante la liquidación de los Ferrocarriles Nacionales de Colombia, entidad que se encargaba de regular el sector y operar los equipos.

Fue así como entre 1985 y 1995 se presentó un incremento de la inversión pública en el subsector férreo del orden del 165.6%. En términos reales, al pasar de \$ 1.772 millones en 1988 a \$ 4.707 millones en 1995. A pesar del aumento, la participación de la inversión en el subsector dentro del total de inversión en el sector de transporte ha perdido importancia durante los últimos veinte años, al caer de 8.76% en 1975 a 3.57% en 1995.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE FERROCARRILES. (2011). *"Situación actual y futura de los ferrocarriles colombianos."* En: Revista ALALAF No.87. ISSN: 0325-5514, p.28.

Debido a lo anterior, en 1998 el gobierno colombiano toma la decisión de entregar la totalidad del sistema en concesión para que sea rehabilitado, mantenido, operado y desarrollado por el sector privado.

La Red Férrea del Atlántico conformada por Bogotá – Santa Marta y los ramales Bogotá – Belencito y Bogotá – Lenguazaque, a la concesionaria Fenoco, con una extensión de 1.493 km atravesando los departamentos del Cesar, Magdalena, Santander, Boyacá, Antioquia, Cundinamarca, Caldas y cuyo objeto consistió en la rehabilitación, reconstrucción de 1.107 km de vía férrea, conservación de toda la red férrea concesionada, incluidos 376 km previamente rehabilitados por Ferrovías, para la prestación del servicio de carga, con una duración de la concesión de 30 años a partir del 3 de marzo de 2.000.

La Red Férrea del Pacífico cubre 498 Km en los departamentos de Caldas, Quindío, Risaralda y Valle, el Concesionario es Sociedad Concesionaria de la Red Férrea del Pacífico S.A. Tren de Occidente S.A, Objeto del contrato de concesión: rehabilitar, reconstruir, conservar y operar el corredor férreo a cargo. Duración de la concesión 30 años, inicio de la concesión 14 de marzo de 2000.<sup>3</sup>

Ambas concesiones con un periodo de 30 años, con las cuales El gobierno busca con estas adjudicaciones rediseñar la infraestructura, operación y administración del sistema férreo, con el fin de convertirlo en un sector más competitivo y llamativo para los inversionistas, y que quede al mismo nivel de competitividad con respecto a los demás modos de transporte en el país.

Del total de corredores activos tan sólo operan comercialmente los siguientes tramos: Chiriguaná-Santa Marta, a través del cual se transporta carbón y contenedores cargados de productos varios; Barrancabermeja-Puerto Berrío (Estación Grecia), transporta pasajeros en carro motores, azúcar, madera y carga de importación; Bogotá-Zipaquirá, transporta pasajeros, servicio turístico Tren de la Sabana los días sábado, domingo, festivos y los días hábiles trenes al servicio de la Universidad Militar Nueva Granada, para el transporte de estudiantes y La Caro-Belencito, corredor por el que se transportaba cemento y acero, fue suspendido hace aproximadamente 4 años.

La relativa reactivación del transporte de carga por el modo férreo en la década de los noventa se explica por la iniciación de la restauración del servicio en el período 1990-1994. El Estado asumió los costos derivados de la rehabilitación de las vías férreas y la financiación se obtuvo mediante la liquidación de los Ferrocarriles Nacionales de Colombia, entidad que se encargaba de regular el sector y operar los equipos.

La reducción en el transporte férreo se debió la falta de mantenimiento preventivo de la red, que la ha llevado a un deterioro recurrente lo que ha hecho necesario rehabilitarla casi en su totalidad, produciendo un creciente número de interrupciones y descarrilamientos y por esto la red posee bajas especificaciones de velocidad.

---

<sup>3</sup> MINISTERIO DE TRANSPORTE (2015). Página consultada el 20 de Noviembre de 2016. <https://www.mintransporte.gov.co/loader.php?IServicio=FAQ&IFuncion=viewPreguntas&id=68>.

El Corredor la Dorada-Chiriguana y Bogotá-Belencito, donde se atendieron 122 puntos críticos a lo largo de 878 kilómetros en trocha angosta, que se componen de dos contratos de obra pública para el mantenimiento y rehabilitación de los dos corredores, (Ver Tabla 2).

Tabla 2. Contratos adjudicados para el mantenimiento y rehabilitación (2014-2015)

CONTRATO LÍNEA LA DORADA-CHIRIGUANA		CONTRATO LÍNEA BOGOTÁ-BELENCITO	
CONTRATISTA	Unión Temporal Ferroviaria Central, compuesta por: Construcciones Rubau S.A. (33%) Sonacol SAS (33%) Rash Ingeniería S.A. (33%) Ferroviaria Central S.A. (1%)	CONTRATISTA	Consortio Dracol Líneas Férreas, conformado por: Dragados IBE, Sucursal Colombia (35%) Vías y Construcciones S.A. (35%) Constructora Colpatria (30%)
EXTENSIÓN	558, 4KM	EXTENSIÓN	318,3 KM
INVERSIÓN	\$90.800 MILLONES	INVERSIÓN	\$86.000 MILLONES
OBRAS	72 Puntos críticos Avance: 25 en ejecución y 7 terminadas	OBRAS	72 puntos críticos. Avance: 21 en ejecución y 5 terminadas
FECHA DE ENTREGA DE 46 PUNTOS PRIORIZADOS	MAYO 31 DE 2014	FECHA DE ENTREGA DE 33 PUNTOS PRIORIZADOS	MAYO 31 DE 2015
FECHA DE FINALIZACION DEL CONTRATO	OCTUBRE 31 DE 2015	FECHA DE TERMINACION DEL CONTRATO	OCTUBRE 31 DE 2015

Fuente: Elaboración propia, Año 2014.

El tramo de Chiriguana, se conecta con la Línea de FENOCO, de 257 Km, para convertirse en una sola Red de 871 km y permitirá un mejor transporte de carga y de pasajeros en los departamentos del centro y nororiente del país.

En lo relativo a la carga, en principio se habilitaría para transportar cemento, hierro, carbón metalúrgico y otros insumos y agregados para la construcción. (Ver Figura 8).

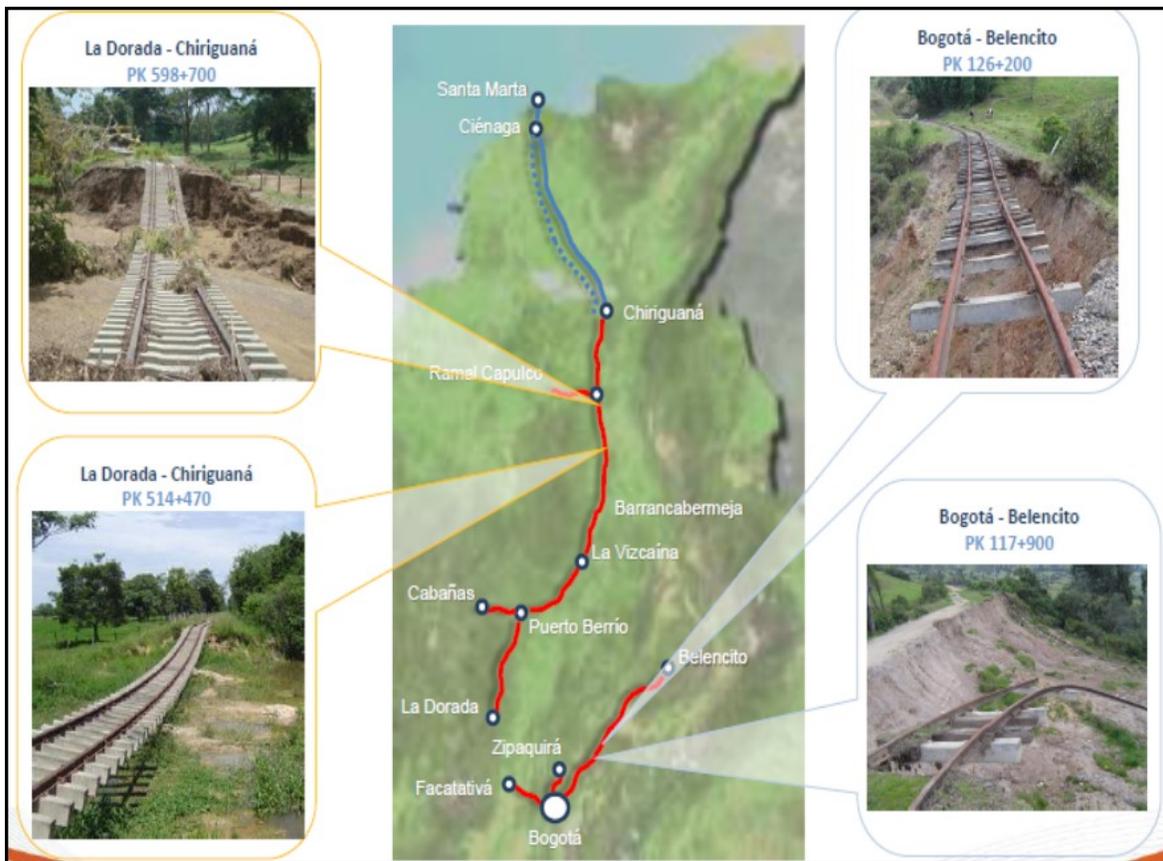


Figura 8. Situación del Corredor La Dorada-Chiriguaná- Bogotá-Belencito.  
Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura-ANI. Año 2013.

Como se muestra en la Tabla 3, La condición de la red es pobre y menos de la mitad de la Red Nacional, se encuentra en operación. El país presenta un gran atraso en el sistema de transporte férreo, la Red Ferroviaria está compuesta por un total de 2180 kilómetros, de los cuales 1610 se encuentran a cargo de la ANI y 184 kilómetros pertenecen a dos tramos privados: Belencito – Paz del Río y Cerrejón – Puerto Bolívar.

En el 2012, existían dos concesiones: la Red Férrea del Pacífico, a cargo del concesionario Ferrocarril del Oeste, con 498 kilómetros distribuidos en 4 tramos y la Red Férrea del Atlántico, a cargo del concesionario Fenoco, con 245 kilómetros distribuidos en 2 tramos (Chiriguaná – La Loma – Ciénaga y Ciénaga – Santa Marta).

Adicionalmente, tres tramos que suman 386 kilómetros se encuentran a cargo del INVÍAS y se encuentran sin rehabilitar. Por otra parte, la red ferroviaria privada está compuesta por dos tramos: Belencito – Paz del Río con 39 kilómetros y Cerrejón – Puerto Bolívar, con 145 kilómetros, todos en operación. Del total de la red férrea nacional, 756 kilómetros se encuentran en operación: 592 para transporte de carga y 164 para transporte de pasajeros.

Desde el año 2004 los kilómetros de vías férreas han ido disminuyendo, al pasar de 2231 en 2004 a 940 en 2012. Se estima que alrededor de 1322 kilómetros vías férreas se encuentran deterioradas y presentan problemas de invasión del corredor férreo y hurto de la infraestructura.<sup>4</sup> (Ver Tabla 3.)

Tabla 3. Vías Férreas Red Nacional

REDES	KM	TRAMOS
Red Nacional	1996	18
Red Férrea del Pacífico (Concesión Ferrocarril del Oeste)	498	4
Red Férrea del Atlántico (Concesión Fenoco)	245	2
Red Férrea Central	1253	10
Administración Fenoco	867	7
Tramos desafectados entregados a INVIAS	386	3
Red Privada	184	
Belencito-Paz del Río	39	2
Cerrejón-Puerto Bolívar	145	
<b>TOTAL VÍAS FÉRREAS</b>	<b>2180</b>	<b>20</b>

Fuente: Elaboración Propia. Año, 2013

Actualmente se busca entregar en concesión los kilómetros de vías férreas que no se encuentran concesionadas para rehabilitarlas y construir nuevos tramos a través de APP.

La ANI es consciente de las necesidades de rehabilitar las vías férreas que no se encuentran en operación y que el inicio de los proyectos debe ser una prioridad por la entrada en vigencia de los TLC.

Para dinamizar el sector férreo la ANI tiene una estrategia que está dividida en tres fases. En la primera fase se espera recuperar los corredores existentes con mayor potencial: en septiembre del 2013 se adjudicó la licitación pública para rehabilitar 875 kilómetros en los corredores del Ferrocarril Central de La Dorada (Caldas) a Chiriguaná (Cesar) y de Bogotá a Belencito (Boyacá).

Para la segunda fase, se planea continuar las inversiones en los corredores habilitados para lograr mayores velocidades, mayor capacidad de carga y la migración gradual a trocha estándar a través de APP.

<sup>4</sup> YEPES, T., RAMIREZ, J. M., Villar, L., y AGUILAR, J. (2013). Infraestructura de transporte en Colombia. Bogotá, Cuadernos de Fedesarrollo., p.114

En la tercera fase, se espera la participación de APP para la construcción de nuevos tramos como el Ferrocarril del Carare, entre Belencito y Barrancabermeja; el corredor Chiriguana - Dibulla, en La Guajira; el tramo entre Cúcuta y Acapulco, así como los túneles entre Ibagué y Armenia para conectar el Ferrocarril del Pacífico con el Ferrocarril Central.

Las inversiones en ferrocarriles por parte del sector público ascienden a 35.622 millones de pesos en el año 2012. La inversión en el sector férreo representó el 0,7% de la inversión en el sector transporte. Actualmente se están llevando a cabo las obras de mantenimiento y rehabilitación, de la Red Férrea Bogotá-Belencito las cuales están programadas para finalizar en Diciembre de 2015.

## **1.2. Bases Conceptuales Parámetros de Diseño.**

### **1.2.1. Infraestructura Férrea.**

A continuación se darán las bases conceptuales y las características o elementos de los parámetros que definen la calidad geométrica de la vía, correspondiente a la infraestructura férrea, entendiéndose como infraestructura el terreno base sobre el que se asienta la vía; también se denomina explanación o plataforma. La componen: Obras de tierra, obras de defensa, las obras denominadas obras de fábrica, túneles, puentes, viaductos, pasos a distinto nivel, etc.

#### **1.2.1.1. Geometría de la Vía.**

El estudio de la geometría de la vía abarca: trazado en planta y perfil longitudinal y sus características geométricas pueden estar condicionadas por los tipos de tráficos esperados y por las clases de vehículos utilizados.

##### **1.2.1.1.1. Referentes actuales de trazado (diseño).**

La implantación de un trazado consiste en situar geográficamente cada uno de los puntos que caracterizan la geometría de la línea.

Cuando dicha implantación se realiza con un sistema de coordenadas geodésicas rectangulares: Una alineación recta queda definida por las coordenadas de dos puntos, o bien por las de un punto y una dirección.

Una curva circular se define al dar las coordenadas del centro y el radio. Se requiere que el trazado se referencie preferencialmente de sur a norte con abscisado creciente.

##### **1.2.1.2. Trazado Planta.**

El trazado en planta, se puede definir como la proyección sobre el plano horizontal de un trazado ferroviario. Se toma como base o referencia de los cálculos de implantación, un eje sobre el que se marca el kilometraje de la red y que también sirve para establecer el perfil longitudinal. El trazado en planta se compone de las siguientes alineaciones: rectas, curvas y curvas de transición.

**Sobre ancho Curva de Radio reducido:** El sobre ancho debe ser ganado durante la curva de transición, se reparte a medias entre los dos carriles.

De acuerdo con la Norma RENFE N.R.V. 7-3-2-0, se establece el siguiente cuadro de sobre anchos:

$300 \leq R < 250 \text{ m.}$	$s = 5 \text{ mm}$
$250 \leq R < 200 \text{ m.}$	$s = 10 \text{ mm}$
$200 \leq R < 150 \text{ m.}$	$s = 15 \text{ mm}$
$150 \leq R < 100 \text{ m.}$	$s = 20 \text{ mm}$

En Colombia en Vía Yárdica, se utilizan los siguientes sobre anchos:

$80 \leq R < 250 \text{ m.}$	$s = 15 \text{ mm}$
$R < 80 \text{ m.}$	$s = 25 \text{ mm}$

La vía está sometida a acciones verticales y horizontales provocadas por la circulación de los Trenes. Teóricamente sólo debería soportar los esfuerzos verticales procedentes del peso de los vehículos y los transversales debidos a la fuerza centrífuga que éstos ejercen en las alineaciones curvas. Dicho eje de simetría, o de referencia está constituido: En las alineaciones rectas, por sus alineaciones paralelas correspondientes a los ejes de las vías. En curva, son arcos de círculo tangentes a los tramos rectos.

Los trazados en planta estaban comprendidos entre radios de curvatura muy inferiores a los que las nuevas líneas demandan y que se situaban entre 300 y 600 m., esto condicionaba la circulación en el entorno de los 100 Km/h sin tener en cuenta las limitaciones de rampas que llegaban a las 20 milésimas.

En países como Francia se pudo probar una mayor velocidad de circulación con rectas hasta de 42 Km de longitud, aunque se considera como una excepción.

#### 1.2.1.2.1. Alineaciones en Planta.

Un proyecto detallado comporta la definición de dos ejes diferentes que son el resultado de implantar "in situ" el trazado:

- a. El eje de simetría de las vías que es la curva equidistante de los ejes de las vías exteriores (en vía única el eje de la vía). Este eje se confunde con el eje teórico de las

alineaciones rectas, pero de hecho es diferente en las curvas al introducir los acuerdos.

- b. El eje de la obra que es el eje de simetría de la infraestructura de la línea (túneles, puentes, viaductos).

Las alineaciones que componen el trazado son de dos tipos:

**Alineaciones Rectas:** Son las que en el plano horizontal están representadas por una recta, proyección del eje de la vía sobre dicho plano. En el ferrocarril, las rectas en planta están caracterizadas únicamente por su longitud.

**Alineaciones Curvas:** Son las que en el plano horizontal están representadas por una curva, proyección del eje de la vía sobre dicho plano.

En el ferrocarril, se caracterizan por su radio o grado de curva y se clasifican en:

- ✓ Simples o Monocéntricas (son las utilizadas actualmente (Figura 9 )
- ✓ Compuestas del mismo sentido (se utilizaron en el pasado) (Figura 10)
- ✓ Compuestas de sentido contrario (Figura 11)

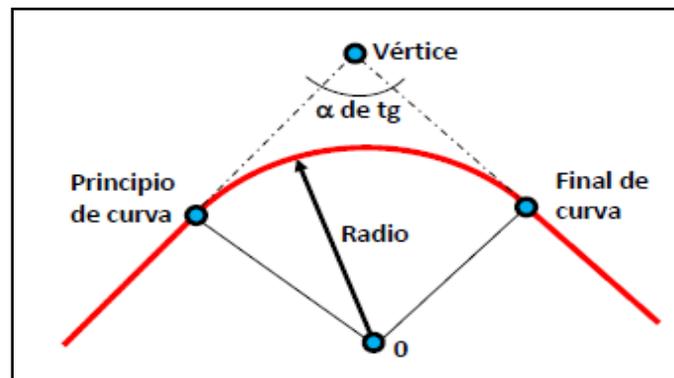


Figura 9. Curva simple o Monocéntrica  
Fuente: NCA. Año 2014

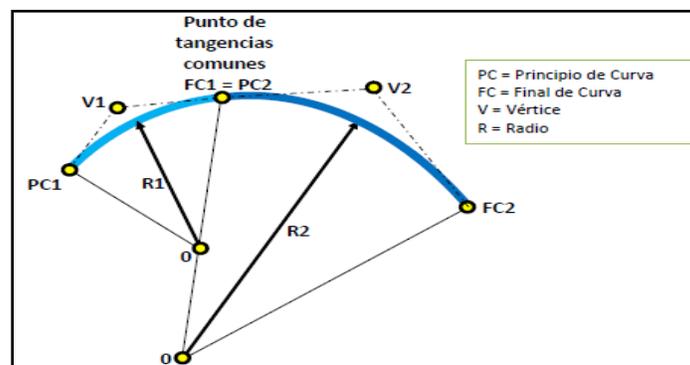


Figura 10. Curva Compuesta del mismo sentido  
Fuente: NCA. Año 2014

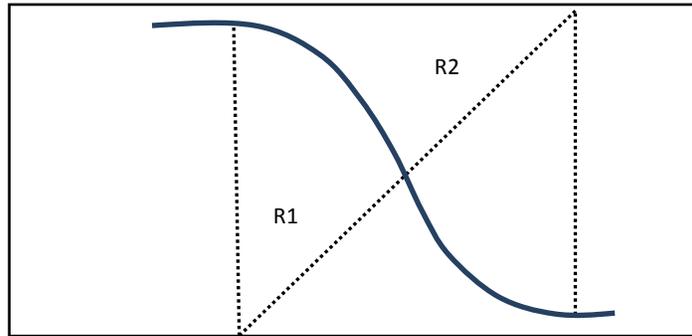


Figura 11. Curva Compuesta de Sentido Contrario  
Fuente. Elaboración propia, Año 2014.

**Curvas circulares:** Son aquellas que poseen radio constante entre las tangentes de entrada y salida. Este parámetro presenta una importancia decisiva en los trazados ferroviarios. Estas alineaciones tienen como elementos característicos los siguientes:

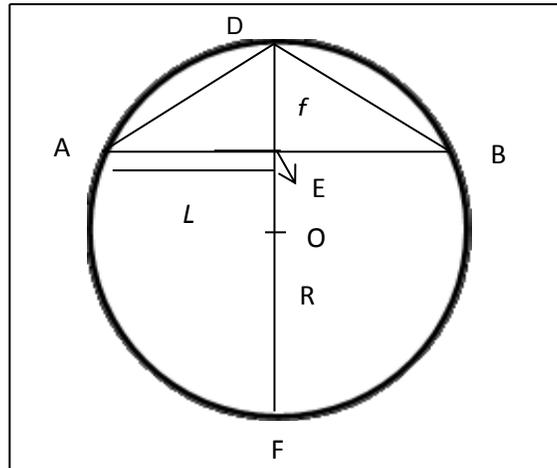


Figura 12. Curvas circulares

Fuente. Elaboración Propia, Año 2014. Información tomada de: Oliveros, F., López Pita, Andrés. y Megia Puente, Manuel. Tratado de Ferrocarriles I VÍA. Madrid Editorial Rueda. 692p.

El valor de dicha magnitud puede calcularse tomando potencias del punto *E* respecto de la circunferencia, y se verifica que:

$$|AE|^2 = f(2R-f) = l^2$$

Al quitar el paréntesis realizarse por ser *R* muy grande cientos de metros frente a los valores de *f* correspondientes a *2l* que suelen ser de algunos cm. para las cuerdas habituales cuyo valor varía entre 10 y 20 m) resulta:

$$f = \frac{l^2}{2R}$$

Esta expresión permite calcular el radio de un arco de curva o de un trazado ferroviario, con sólo medir la flecha  $f$  que lleva asociada una cuerda de longitud  $2 l$ .

#### 1.2.1.2.2. Radios de la Curva

El radio de las curvas condiciona la explotación del ferrocarril, limita las velocidades y determina empujes, rozamientos, y deslizamientos entre carril y llantas; es un valor claramente relacionado con el ancho de vía pues la diferencia de recorridos relativos entre ruedas crece en las curvas con la distancia entre carriles.

Estas razones limitan el valor mínimo del radio de las curvas que deberá ser elegido en función del ancho, empuje, velocidad deseable, características del terreno, etc. La velocidad de proyecto de una línea determina el valor de los radios mínimos en planta.

Es necesario limitar el radio inferiormente por ciertos condicionantes: razones de seguridad debido a las fuerzas transversales que ejerce el vehículo sobre la vía y que tienden a desplazarla, razones de seguridad debido a la posibilidad de descarrilamiento o vuelco del vehículo ferroviario, razones de confort del viajero.

Los radios amplios favorecen el desarrollo de altas velocidades sin tener que recurrir a peraltes elevados, lo cual favorece enormemente la buena conservación de la plataforma ferroviaria, reduciendo así los costes de explotación.

En la tabla 4, se pueden apreciar los radios mínimos según las Normas RENFE NRV 0200 y NRV 0201. El radio normal utilizado en líneas convencionales es de 1.000m y para líneas de alta velocidad es de 5.000-7.000m.

Tabla 4. Radios Mínimos

<b>RADIOS MÍNIMOS NORMAS RENFE NRV 0200 Y NRV 0201</b>		
Velocidad (Km/h)	Ancho de vía (mm)	Radio Mínimo (m)
140	1668	1.000
160	1668	1.300
200	1668	2.000
200*	1435	2.100
250*	1435	3.300
300*	1435	4.700

\* Tráfico exclusivo para pasajeros.

Fuente: Elaboración Propia. Tomada Normas RENFE NRV 0200 Y NRV 0201. Año 2014

La descripción de una curva circular, puede hacerse por la longitud de su radio en metros. La relación entre el radio y el grado de curva en unidades métricas, está dada por:

$$D = \frac{360}{2\pi R} \times 30,5 \cong \frac{1.746}{R}$$

Dónde:

D = Grado de la Curva

R = Radio en metros

### 1.2.1.2.3 Peraltes.

Es la diferencia de cota entre los dos carriles de la vía en una curva, para una sección normal al eje de la vía. Todo punto de masa.  $m = p/g$  que se desplaza a una velocidad  $V$  describiendo una trayectoria circular de radio  $R$ . sufre una aceleración centrífuga de valor:

$$\gamma = \frac{V^2}{R}$$

Dicha aceleración da lugar a una fuerza horizontal:

$$F = \frac{P}{g} \frac{V^2}{R}$$

Dirigida hacia el exterior de la curva perpendicular al eje de la vía y que se puede considerar a todos los efectos, como aplicada en el centro de gravedad del vehículo (Ver Figura 13).

Esta fuerza, suponiendo que el vehículo fuese un punto, crea un momento  $F.H$ , (siendo  $H$  la altura del c.d.g. sobre el plano de los carriles), que provoca sobrecargas y descargas de las ruedas de cada lado que pueden llegar a producir efectos diferenciales de importancia.

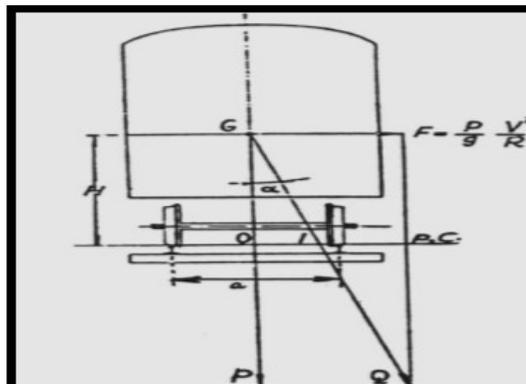


Figura 13. Centro de gravedad del vehículo

Fuente: Oliveros Rives, F. López Pita; Andrés. Y Megia Puente; Manuel.

Cuando un vehículo describe una curva, actúa sobre él una fuerza centrífuga de dirección perpendicular a su trayectoria, que tiende a empujarlo hacia el carril exterior; esta fuerza somete a los viajeros y mercancías a aceleraciones no deseadas que son perjudiciales

para el material y la vía, si la velocidad es lo suficientemente importante, pueden producir incluso descarrilamientos o vuelcos.

Para evitar estos condicionantes desfavorables, se utiliza el procedimiento de elevar el carril exterior respecto al interior, buscando que la composición de fuerzas logre que la marcha del material móvil en curva sea parecida a la que se tendría en línea recta. De esta forma, la resultante de las fuerzas que actúan sobre la masa del vehículo se sitúa en la perpendicular al plano de la vía, desapareciendo así cualquier aceleración lateral perturbadora para la circulación.

Las razones que justifican la implantación del peralte en curva, son las siguientes:

- ✓ Limitar los esfuerzos transversales y choques a la entrada y salida de las curvas, que unidos a los movimientos de lazo, pueden producir descarrilamientos e incluso vuelcos.
- ✓ Conseguir un desgaste similar en ambos carriles.
- ✓ transversal de la vía, el excesivo trabajo de los tirafondos, (u otras sujeciones), y la tendencia al vuelco del carril exterior.
- ✓ Alcanzar mayor comodidad para los viajeros y evitar posibles movimientos bruscos de las mercancías.

**Inconfortabilidad:** Los esfuerzos y las sobrecargas que experimentan uno u otro carril, en cada caso, pueden ser muy diferentes y desequilibrados lo que aconseja tomar una solución de compromiso. Dicha solución debe tener en cuenta la naturaleza y composición del tráfico que circula por la vía y debe tratar de evitar que los excesos o insuficiencias en el peralte perjudiquen la marcha de los trenes, creen problemas en la vía y produzcan situaciones inconfortables en los viajeros.

Las limitaciones que se imponen sobre el peralte son de distinta naturaleza, pero las más estrictas son aquellas que se refieren a la comodidad del viajero y en cambio son de menor importancia, otras derivadas de los problemas que se pueden causar a los vehículos o a la vía.

**Trenes rápidos:** Desde el punto de vista de la seguridad, se ha comprobado de forma experimental, el comportamiento físico del pasajero en las curvas (mareos y molestias), es mucho más restrictivo que cualquier situación que pudiese implicar posibilidades de vuelco. La limitación en el confort hay que señalar que en este influyen no solo la aceleración no compensada sino también su variación con el tiempo, pues ambos factores son tomados de manera desfavorable por los viajeros.

Los efectos de las aceleraciones no deseadas dependen de:

- ✓ Las características propias de la vía y las pequeñas irregularidades existentes en su nivelación y alineación que junto con las características constructivas del material y los movimientos parásitos asociados (lazo, balanceo, galope), producen en el viajero un espectro continuo de vibraciones (mini aceleraciones) de carácter aleatorio que se superpone a las acciones de las  $\alpha_{nc}$  específicas y concretas.
- ✓ Las insuficiencias o excesos en los peraltes que localmente se presenten, producirán diferentes  $\alpha_{nc}$ .

- ✓ La capacidad de resistencia de los viajeros ante este conjunto de sollicitaciones. (Lógicamente hay que tener en cuenta la capacidad de los viajeros menos tolerantes).

Por este motivo si con carácter general los efectos de las aceleraciones no compensadas, se han venido aceptando si no se superaba el valor de  $1\text{m/s}^2$  sobre los viajeros. Actualmente, se permiten valores de aceleración no compensada de  $1,2\text{ m/ s}^2$  en vías de muy buena calidad. En algunas de las líneas nuevas de alta velocidad se podrían admitir incluso valores de  $1,5\text{ m/ s}^2$ .

Con todo lo anterior, hay que tener en cuenta un aspecto derivado de la concepción de los vehículos, que actúa como un amplificador de los efectos de la aceleración no compensada sobre los viajeros, debido a la suspensión que se hace necesaria en cualquier vehículo, ya sea ferroviario o no para aliviar al viajero de los efectos de las vibraciones y aceleraciones aleatorias.

En curva, la existencia de la suspensión causa problemas, pues por efecto de la aceleración transversal se comprime el sistema amortiguador exterior y se alarga el interior, con lo que se reduce de manera efectiva el peralte  $z$ , lo que da lugar a que aparezca una aceleración no compensada, mayor que la que teóricamente debería presentarse.

**Trenes lentos:** velocidad en función de las condiciones geométricas del trazado de forma tal que no se presenten valores fuertes de  $E$ . De la misma forma ocurre con las insuficiencias  $I$  existen valores distintos según las redes (115-175 mm), ocurre algo parecido con los valores dinámicos de  $E$  que según los países varían entre 60 y 100 mm. e incluso más. (Estáticamente es decir, con el tren parado, el valor de  $E$  coincide con el propio peralte).

En general en todas las redes ferroviarias que mantienen (seguramente por inercia) sus valores de peralte a pesar de que sus tráficos están evolucionando hacia un predominio de los de viajeros que además cada vez son más rápidos.

#### 1.2.1.2.4. *Curvas de Transición.*

Es un elemento fundamental en el alineamiento ferroviario y debe ser utilizado siempre que sea posible en vías con un tráfico considerable constante, ya sean de cargas o de pasajeros. Este elemento geométrico se ha de disponer entre una alineación recta y una curva circular de radio determinado, o bien entre dos alineaciones curvas de radios o dirección diferentes.

Las curvas con radios comprendidos entre 70 m y 2800 m llevarán curvas de transición de entrada y de salida. Cuando un tren se mueve en curva sobre una vía, debe mantener el valor del peralte constante a lo largo de la misma, para equilibrar las fuerzas actuantes.

Las curvas de transición son espirales cuya curvatura aumenta hasta igualarse con la de la curva circular. Su objeto es aplicar gradualmente tanto el sobre ancho de la vía como el peralte.

Para insertar el peralte entre un alineamiento recto y uno curvo, existen las siguientes opciones:

Iniciar y aumentar el peralte gradualmente en la recta para que en el punto de tangencia sea preciso, el peso del tren se transfiere gradualmente en mayor proporción al carril interior durante el trayecto en recta con peralte, desapareciendo repentinamente el efecto al entrar en la curva.

- ✓ Iniciar y aumentar el peralte gradualmente en la curva, a partir del punto de tangencia. La fuerza centrífuga permanece sin compensar al entrar en la curva y la rueda delante exterior del vehículo sufrirá este efecto, si las pestañas no llegan a remontar el carril, ocurre un desgaste excesivo y una rodadura incómoda hasta que se alcance el valor del peralte preciso.
- ✓ Iniciar el peralte en la recta y aumentarlo parcialmente en la recta y en la curva, alcanzando el valor estipulado en el interior de esta. Se produce una combinación de los inconvenientes de los dos puntos anteriores, con el mismo impacto en el punto de tangencia y los problemas de desgaste y falta de confort.

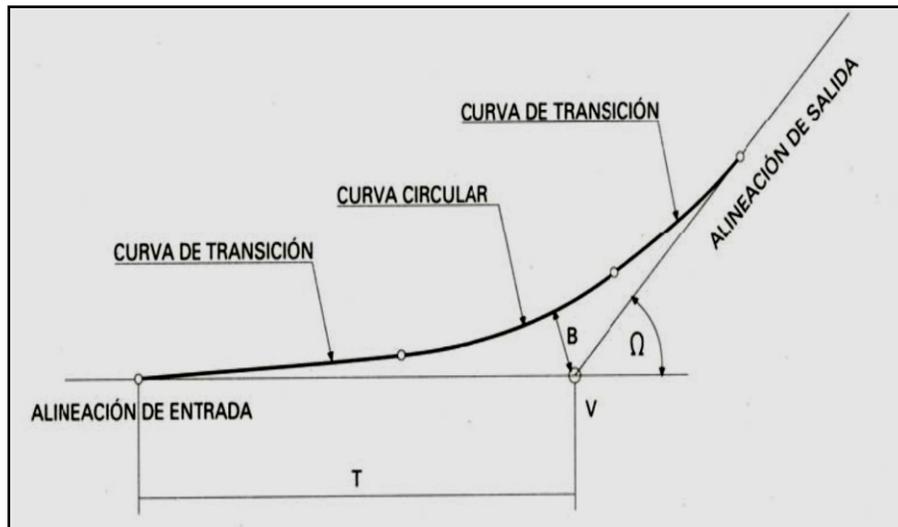


Figura 14. Curvas de Transición  
Fuente: Instituto Cartográfico de Cataluña ICC, 2011.

A partir de la tangente de salida de la curva circular, se debe aumentar el radio que se hace infinito, que tiene también el efecto de variar a fuerza centrífuga, desde cero en la recta hasta su valor máximo en la curva circular, en vez de producir su aparición brusca cuando esta es tangente a aquella y esto se denomina curva de transición.

**Longitud de las Curvas de Transición:** En la construcción de una línea férrea se debe perseguir una curva de enlace lo más corta posible; con ello se pueden evitar gastos de construcción y conservación. Sin embargo se imponen limitaciones debidas a la pendiente de la rampa de peralte, y a la necesidad de mantener las variaciones de la aceleración con el tiempo por debajo de unos límites determinados.

Los valores máximo y mínimo de la longitud de una transición (L) en la normatividad RENFE, correspondiente su máximo peralte -160 mm) serían de 160 y 53 m respectivamente.

Según las Normas RENFE para mantener una descarga en valores tolerables, el valor máximo de la rampa de peralte, está limitada a 2,5 mm/m, valor adoptado también por los ferrocarriles británicos y alemanes.

Aceleración sin compensar ( $\gamma_1$ ): es la aceleración transversal hacia el exterior de la curva que queda al peraltar una vía cuando se circula por ella a una velocidad V. Lo que da una aceleración sin compensar  $\gamma - \gamma_1$  y una fuerza centrífuga sin compensar de  $F - F_1$ . Entre la recta y la curva circular se debe intercalar una curva de curvatura  $1/\rho$  creciente desde cero hasta  $1/R$  (Curva de transición). Cuando el peralte se gana gradualmente, al elevar el carril exterior desde la recta hasta la curva circular, produce una inclinación del carril exterior, cuyo valor medio es:

$$\rho = \frac{h}{L}$$

La aceleración sin compensar mantiene una relación de proporcionalidad con la aceleración que realmente siente el viajero. Este factor de proporcionalidad depende de la tipología de suspensión utilizada por el material rodante.

Una de las características de las curvas de transición es cuando el peralte se materializa elevando la cota de balasto bajo el carril exterior de la curva, sin disminuir la que está bajo el carril interior.

Luego al pasar de una recta a una curva el carril exterior deberá elevarse hasta alcanzar la cota correspondiente al peralte de la curva circular como se muestra en la Figura 15.

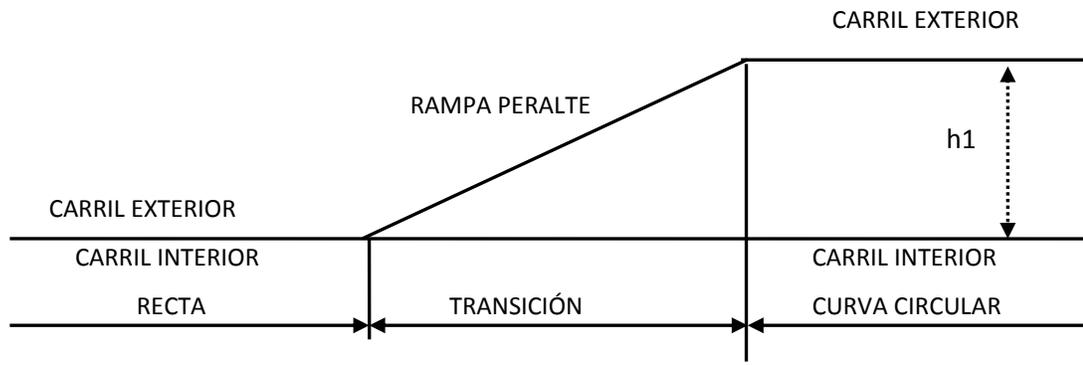


Figura 15. Rampa de Peralte  
Fuente: Elaboración propia. Bogotá. Año 2014

*Dónde:*

*h = peralte de la curva circular*

$L$  = Longitud de la curva de transición.

Hay varios tipos de curvas de transición en planta, siendo las más generalizadas la Clotoide, la parábola cúbica y la espiral. De estas tres, la que se aplica en ferrocarriles es la Clotoide, porque es la más fácil de replantear en el terreno y al estar en concordancia con la rampa uniforme de peralte, experimenta un crecimiento lineal de la aceleración y fuerza centrífuga sin compensar.

- ✓ Si la curva  $1/\rho$  crece linealmente con la longitud de la curva, la aceleración centrífuga  $\gamma$ , también lo hace.
- ✓ Si el peralte  $h$  crece linealmente con la longitud de la curva de transición, la aceleración compensada  $\gamma_1$ , también lo hace.

Con estos dos supuestos, la aceleración sin compensar  $\gamma - \gamma_1$  crecerá linealmente con la longitud de la curva de transición.

1.2.1.2.5. *Gradientes*: Son parámetros geométricos básicos de un trazado.

Los gradientes y pendientes inciden como resistencia al avance en la tracción de las locomotoras. Según las Especificaciones Técnicas y la normativa RENFE

- ✓ En sistema de pasajeros se recomiendan gradientes que no sobrepasen el 3%
- ✓ En sistemas mixtos de carga y pasajeros, no deben sobrepasar el 1.5%, pues valores superiores limitan la capacidad de arrastre de las locomotoras.

En llanura	$i \leq 5(\text{‰})$ (Radio $\geq 1.000$ )
En ondulado	$5(\text{‰}) < i < 15(\text{‰})$
En montaña	$i \geq 15(\text{‰})$ (Radio $\geq 150$ m)

Fuente: Apuntes de Infraestructuras ferroviarias. Tomo I.

1.2.1.3. *Trazado Perfil Longitudinal (Alzado)*.

El perfil longitudinal es la proyección en el plano vertical del trazado ferroviario; junto con el trazado en planta determina de forma unívoca la posición geométrica de la vía. El perfil longitudinal es una línea que une los diferentes planos denominados rasantes que componen el trazado de la vía, recogiendo alturas sobre el nivel del mar, con expresión de la declividad en milímetros por metro. Las componentes de un perfil son las rasantes, se clasifican en:

1.2.1.3.1. *Alineaciones rectas*.

Las alineaciones rectas en alzado, son las que su proyección sobre el plano rectificante es un arco de espiral (debido a que no siempre son horizontales) se caracterizan en el perfil por su longitud y por la inclinación de su plano tangente en cada punto.

- ✓ Horizontales.

- ✓ Rampas o pendientes, según el sentido ascendente o descendente de las circulaciones. Las rampas y pendientes surgen ante la necesidad de ganar o perder cota en un trazado. Los cambios de pendiente en una línea ferroviaria están condicionados por el terreno y por el valor de la rampa máxima adoptada.

#### 1.2.1.3.2 Alineaciones curvas.

En un alzado surgen como consecuencia de la necesidad de enlazar rasantes de pendientes diferentes. Este enlace se puede hacer por medio de arcos de circunferencia, caracterizados por su radio, que depende a su vez de los valores de las inclinaciones de las rasantes que se unen y del volumen de movimiento de tierras que se realice para construir el enlace.

**Inclinación de las rasantes y las curvas de unión entre dos rasantes diferentes.** La función de estas últimas es cambiar la pendiente de la rasante de modo gradual, sin que se ocasionen aceleraciones verticales molestas para los viajeros. Los parámetros que caracterizan el trazado en alzado de una vía son los siguientes:

#### 1.2.1.3.3. Pendiente.

Es el plano inclinado en sentido descendente según el sentido de circulación: Pendiente horizontal cuando no hay declividad alguna. El punto donde cambia la declividad se denomina cambio de Rasante. Por lo tanto, la elección del valor máximo de la pendiente es un compromiso entre las posibilidades ofrecidas por la orografía existente, para reducir los costos y las restricciones que impone la explotación.

Si se quiere explotar una línea para tráfico de trenes de mercancías también será necesario adoptar rampas más tendidas, de tal forma que los trenes puedan arrancar en cualquier punto de la pendiente y frenar para detenerse en ella. En razón de la resistencia al avance imputable a gradientes las locomotoras pierden capacidad tractiva, por lo cual pierden velocidad en estos tramos y si la tabla de arrastre no se encuentra bien calculada ocasionarían daños en la vía.

Según Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad y la normativa RENFE, los valores límites recomendados para las líneas de Alta Velocidad y líneas convencionales, son:

Tabla 5. Pendientes Máximas Recomendadas

PENDIENTES MÁXIMAS RECOMENDADAS (‰)		
Línea convencional	≤ 140 km/h	20
	~ 160 km/h	15
	~ 200 km/h	12,5
Línea de Alta Velocidad	Tráfico pasajeros	25
	Tráfico mixto	15

Fuente: Normas RENFE NRV 0200 Y 0201.

#### 1.2.1.4. Sección Transversal.

Es la diferencia de cota existente entre las superficies de rodadura de los dos carriles de una vía en la sección normal al eje de ésta (en términos de calidad geométrica, se habla de nivelación transversal en lugar de peralte).

##### 1.2.1.4.1. Ancho de la vía o Trocha.

Distancia entre los bordes interiores de los dos rieles medida 14 mm por debajo de la superficie de rodamiento (Según la Norma UIC): valor normal 914 mm, inclusive en los tramos curvos con un radio (R) mayor de 125 m. Para curvas de  $80\text{m} < R < 125\text{m}$  se aplicara un sobre ancho de 15mm, para curvas de  $70\text{m} < R < 80\text{m}$  el sobre ancho será de 25mm. Según la Norma AREMA, la distancia existente entre las caras activas de las cabezas de los carriles o rieles de la vía, tendrá una medida de 16 mm por debajo del plano de rodadura en alineación recta. (Ver Figuras 16 y 17).

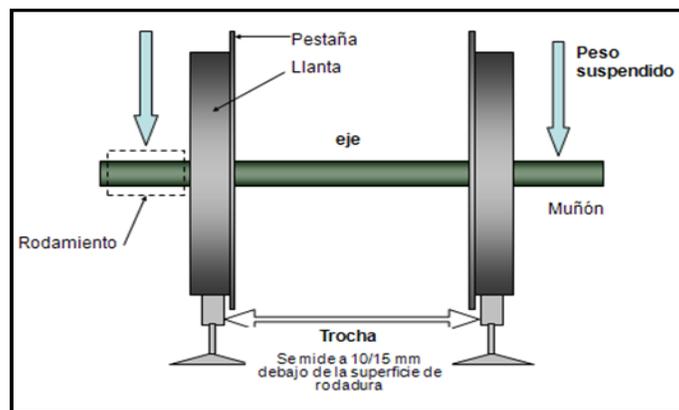


Figura 16. Par montado

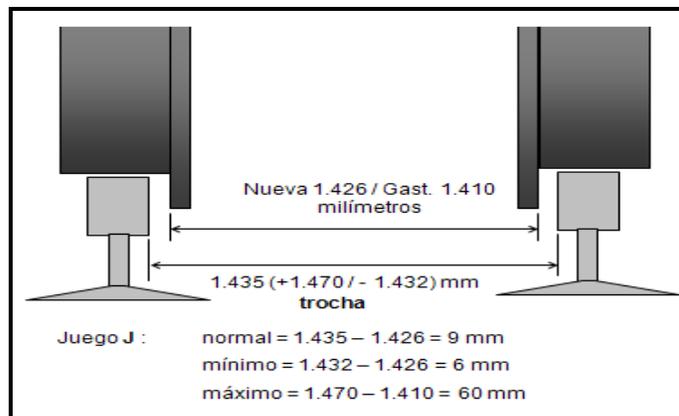


Figura 17. Ancho de vía

Existen tres tipos de anchos y son:

- ✓ Trocha estándar : 1435 mm

- ✓ Trocha ancha : Por encima de la medida anterior (1676 -1678 mm)
- ✓ Trocha angosta : < 1435 mm

#### 1.2.1.4.2. Gálibo.

**Gálibo de Libre Paso:** Es la figura formada teniendo en cuenta todas las limitaciones de un trayecto de vía férrea, tanto hacia los lados como hacia arriba. Si la sección de un vehículo férreo abierto y cargado, dibujado sobre el gálibo queda dentro de la figura, el vehículo puede recorrer libremente el trayecto, pero si toca o corta las líneas de la figura, tropieza con una limitación y no puede viajar por el trayecto.

En relación a los ferrocarriles, es la distancia mínima de paso que deben permitir los túneles, puentes y otras estructuras, y por tanto la cercanía máxima de postes, semáforos, señales y resto de objetos contiguos a la vía; se usa también para marcar la medida máxima de los coches y/o vagones que pueden circular a la vez por una determinada traza. Por ejemplo en el Metro de Madrid se clasifican según su anchura tanto los túneles como los vehículos como aquellos de gálibo estrecho (horizontal 6,86; vertical 5,36) o ancho (7,74; 6,87), siendo esta diferencia fundamental para conocer el tipo de línea y sus características.

La UIC (*Union Internationale des Chemins de Ferrocarriles*) define tres tipos de gálibos: A, B y C. Se diferencian entre sí porque cada uno de ellos posibilita un transporte de mercancías diferente.

El gálibo cinemático se define como la envolvente de los lugares geométricos que pueden ocupar cualquier parte de un vehículo referenciada a los ejes de coordenadas representados por el plano de rodadura y el eje de la vía.

Existen gálibos para vía en recta y para vía en curva. El gálibo cinemático se divide en dos: gálibo de partes altas y de bajas. (Ver figuras 18 y 19).

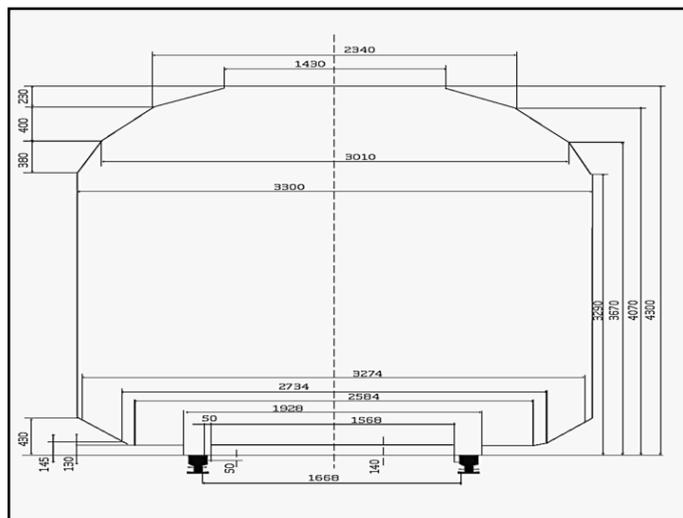


Figura 18. Gálibo de partes altas

Fuente: Administrador de Infraestructuras Ferroviarias ADIF. Año, 2014

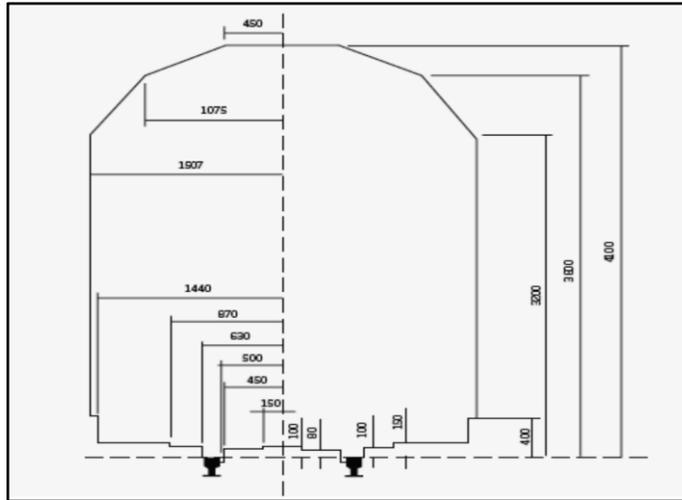


Figura 19. Gálibo de partes bajas (Ancho Métrico 1.000 mm)  
Fuente: Administrador de Infraestructuras Ferroviarias ADIF. Año, 2014

#### 1.2.1.4.3. Drenaje.

El drenaje de la vía se logra a través de unos dispositivos que sirven para evitar los efectos negativos del agua, cualquiera que sea su origen. Hay tres tipos de drenaje: drenaje superficial, el de explanación y el profundo.

**Drenaje superficial:** Las aguas superficiales pueden estar constituidas por cauces definidos o por escorrentía de diversas áreas de la cuenca en la que se ha constituido la línea férrea. En el primer caso, se impide que las aguas afecten la plataforma por medio de una evacuación por obras de desagüe transversal. En el segundo caso, las aguas son eliminadas por un drenaje superficial que se complementa con una red de drenaje de la plataforma. En los dos casos, se proyectan para que puedan evacuar el caudal máximo correspondiente a un periodo de retorno determinado.

Parte del agua superficial penetra en la plataforma, eludiendo los dispositivos del drenaje superficial, para ello, se dispone de drenes subterráneos para una evacuación. Está constituido por zanjas que se rellenan con material filtro y se aíslan de las aguas superficiales, para sellar la parte superior con un material impermeable. Las cunetas deben proyectarse para que puedan satisfacer las siguientes finalidades:

- ✓ Recoger y evacuar las aguas de escorrentía de los taludes en desmonte.
- ✓ Recoger y evacuar las aguas procedentes de la plataforma, que se infiltran a través del balasto.
- ✓ Controlar el nivel freático.
- ✓ Las cuencas pueden ser de explanación, de coronación de desmonte, de túnel y de pie de terraplén. (Ver figura 20).

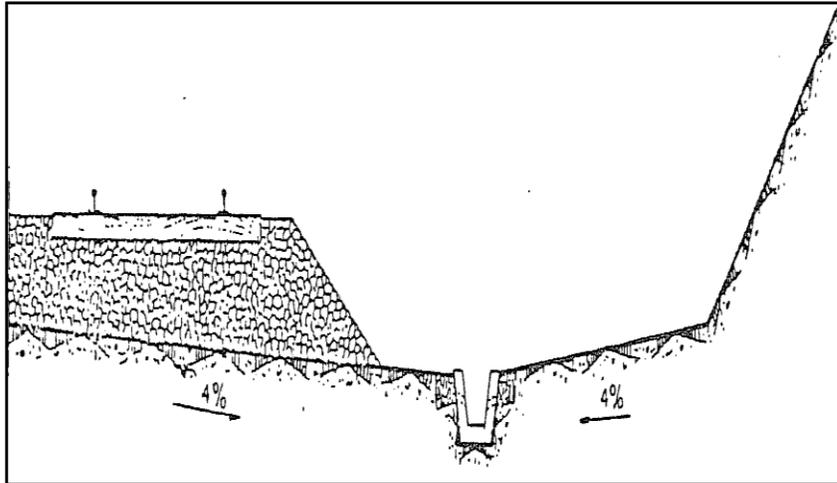


Figura 20. Drenaje Superficial

## 1.2.2. Superestructura Férrea

La superestructura está compuesta, cuando es una vía tradicional, por: el carril, los aparatos de vía, las sujeciones del carril, las traviesas y las capas de asiento.

La superestructura de vía ferroviaria, exceptuando aquellos tramos para los que se establezcan otras tipologías de superestructura, estará formada por los siguientes elementos:

### 1.2.2.1. Plataforma (Obra de tierra).

Esta tiene como función proporcionar apoyo a las capas de asiento, a la vía y a los dispositivos destinados a controlar el movimiento de los trenes para que la explotación pueda realizarse eficazmente. Está formada por el propio terreno, cuando es un desmonte o por suelos de aportación, constituyendo un terraplén en el relleno de una depresión.

La plataforma debe quedar rematada por una capa de terminación o capa de forma, con pendientes transversales para la evacuación de las aguas pluviales y se disponen las capas de asiento integradas por una subbase y, como remate, la banqueta de balasto.

Las funciones de una plataforma son:

- ✓ Proporcionar apoyo a la vía e instalaciones
- ✓ Recibir y absorber los esfuerzos estáticos y dinámicos que le transmite el material y de origen térmico y debe actuar ante ellos como un cimiento resistente sin asientos plásticos.
- ✓ Posibilitar la evacuación de todo tipo de aguas (de escorrentía, subterráneas, absorbidas, etc.) porque estas pueden causar daños a la plataforma. El agua disminuye y altera la capacidad resistente de la plataforma, lo que da lugar a

desprendimientos y provoca erosiones superficiales, aumento de volumen en los suelos arcillosos produciendo contaminación del balasto y en ocasiones deslizamientos.

**Tipos de Plataformas:** En función de la calidad del suelo que constituye la capa de forma y del espesor de ésta, se distinguen las siguientes clases de plataforma:

- ✓ P1: plataforma de mala capacidad portante ( $CBR \leq 5$ ).
- ✓ P2: plataforma de capacidad portante media ( $5 < CBR \leq 20$ ).
- ✓ P3: plataforma de capacidad portante buena ( $CBR > 20$ ).

De acuerdo con la idoneidad para la formación de la plataforma los suelos se clasifican ferroviariamente en 4 categorías atendiendo a su capacidad portante y su aptitud como plataforma.

- ✓ QS0: suelos inadecuados para realizar las capas subyacentes a la de forma.
- ✓ QS1: Suelos malos, aceptables únicamente cuando se dispone de un buen drenaje.
- ✓ QS2: Suelos medianos.
- ✓ QS3: Suelos buenos.

Un aspecto determinante del diseño previo de una infraestructura ferroviaria es el adecuado dimensionamiento de las capas de asiento en el caso de la vía sobre balasto (capas de balasto, sub-balasto y coronación de plataforma).

En el caso de construcción nueva, se aplicará el método de dimensionado, que permitirá definir los espesores y características de las capas de sub balasto y balasto en función de las características de la nueva plataforma.

CLASE DE CAPACIDAD DE CARGA DE LA PLATAFORMA	CLASE DE CALIDAD DEL SUELO SOPORTE		
	QS1 SUELO MALO	QS2 SUELO MEDIO	QS3 SUELO BUENO
<b>P1</b> PLATAFORMA MALA		—	—
<b>P2</b> PLATAFORMA MEDIA			—
<b>P3</b> PLATAFORMA BUENA			

Figura 21. Plataforma- Clase de Calidad del Suelo Soporte. Norma Renfe N.R.V.2-1-0-1  
Fuente: Red Nacional de Ferrocarriles de España-RENFE, 1983

### 1.2.2.2. Capas de Asiento.

Para los trazados ferroviarios nuevos se proyecta, mediante sustitución del terreno natural, una explanada tipo P3 y se utilizará para la formación de capa de forma la clase de suelo QS3.

Por lo tanto los espesores que resultarán para la capa de forma variarán entre 0 (para calidad de suelo QS3), 40 centímetros (para calidad de suelo QS2) y 60 centímetros (para calidad de suelo QS1).

El dimensionamiento de las capas de asiento del lado de la seguridad se considera un espesor para la capa de forma de 60 centímetros para las vías generales de ancho internacional, y 50 centímetros para las de ancho ibérico, así como para las vías de enlace.

Tabla 6. Espesor Mínimo de Capas de Asiento

ESPESOR MÍNIMO DE LA CAPA DE ASIENTO			
CALIDAD DEL SUELO SOPORTE	CLASE DE CAPACIDAD DE CARGA EN LA PLATAFORMA	CAPA DE ASIENTO PARA OBTENER LA CAPACIDAD DE CARGA DE LA PLATAFORMA	
		CALIDAD DEL SUELO	ESPESOR MÍNIMO (metros)
QS <sub>1</sub>	P2	Suelo fino tratado con ligantes	0.30
	P2	QS2	0.55
	P2	QS3	0.40
	P2	QS3	0.60
QS <sub>2</sub>	P2	QS2	-
	P3	QS3	0.40
QS <sub>3</sub>	P3	QS3	-

Fuente: Elaboración propia. Tomada de Norma RENFE N.R.V.3-4-0.0, 2013

En la Figura 22, se representan los ábacos que son un procedimiento práctico adoptado por las empresas ferroviarias para calcular los espesores de las capas de asiento en función del tráfico. Esto es de la categorización de la vía con base en los millones de toneladas brutas circuladas. Se muestra que el espesor total de la capa de balasto más la del sub balasto se utiliza en vías con separación de 0.60 m entre ejes de traviesas y no para vías de tráfico escaso, en donde la separación se puede aumentar para una carga nominal máxima/eje de 20 toneladas.

En las vías de gran velocidad, que sobrepasan los 200Km/hora, el espesor total de las dos capas (e) no debe bajar de 0,60 m, aunque excepcionalmente se puede adoptar el valor de 0,50 m.

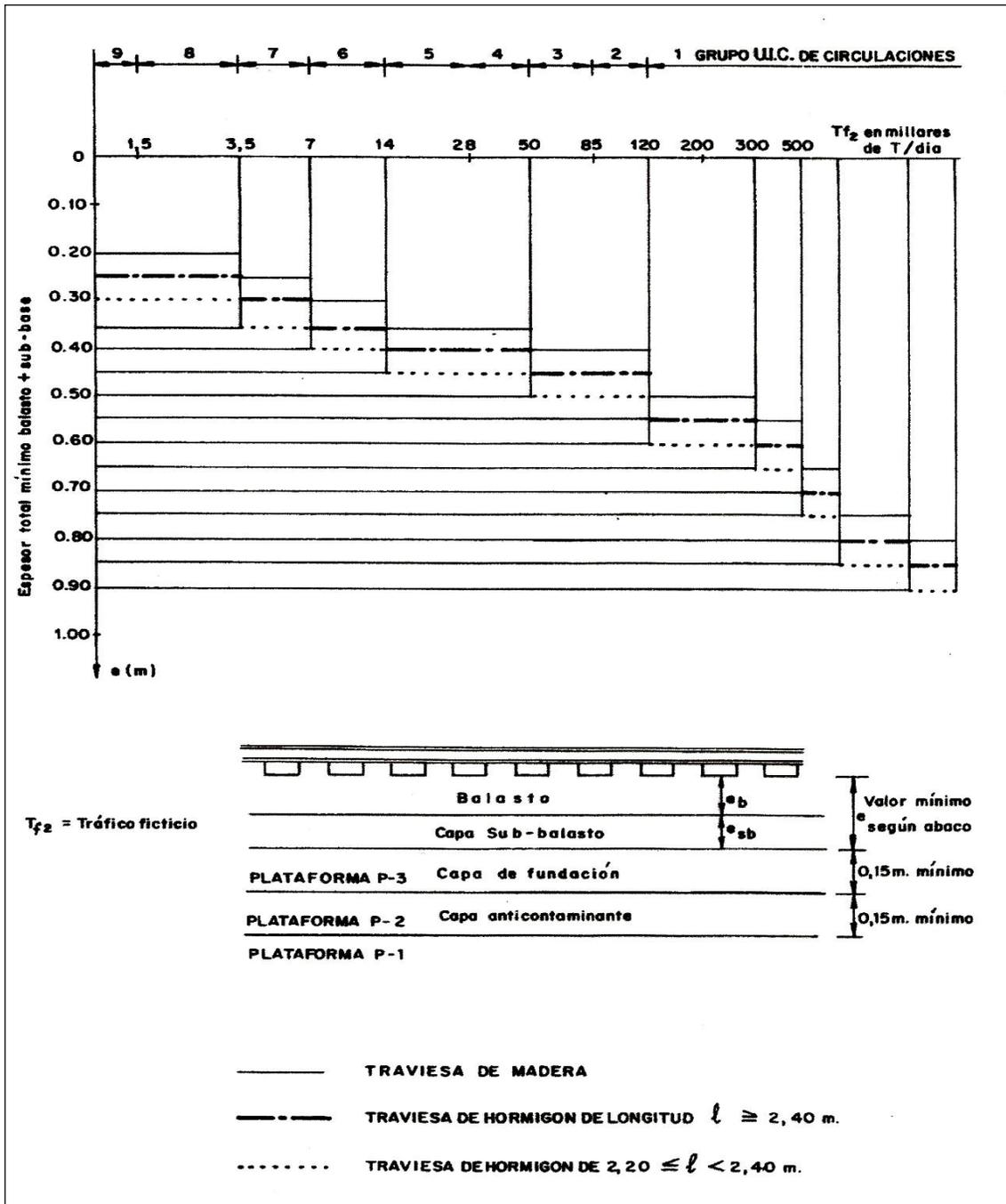


Figura 22. Esquema de espesores de las capas de asiento-Grupos de Clasificación de Suelos

Fuente: Red Nacional de Ferrocarriles de España-RENFE, Norma Renfe N.R.V.2-1-0-1, 1983

El espesor de la capa de asiento para obtener una determinada capacidad portante se muestra en la siguiente tabla:

#### *1.2.2.2.1. Balasto.*

Capa de material pétreo que reparte las cargas ferroviarias hacia el sub balasto. Se caracteriza por su espesor bajo durmiente en cada caso. La banqueta de balasto tiene como finalidad repartir las cargas verticales sobre la plataforma y absorber los esfuerzos horizontales impidiendo el desplazamiento de la vía, tanto longitudinal como transversalmente.

Para cumplir estos fines, el balasto que la constituye debe estar bien consolidado, además de poseer unas características adecuadas, y la propia banqueta debe estar dotada de dimensiones suficientemente amplias, pero no excesivas, dado el coste del balasto y el sobreprecio que supone aumentar la plataforma para alojarla.

De acuerdo con las Normas RENFE N.R.V.2-1-0.1 y la N.R.V.3-4-0.0, que examinan la interacción balasto-plataforma, el efecto de la banqueta debe complementarse mediante una subbase.

Dicha capa mejora el drenaje y contribuye a repartir las cargas verticales sobre la plataforma, asegurando con ello el buen comportamiento de la vía bajo los puntos de vista de su nivelación, rigidez, alineación y drenaje.

Las dimensiones de la banqueta y resto de capas que componen la subbase dependen de una serie de factores, entre los que destacan:

- ✓ Las características de los suelos que constituyen la plataforma, en el tramo de vía considerado.
- ✓ Las características de la plataforma como conjunto.
- ✓ Las condiciones climatológicas de la zona de ubicación de la plataforma.
- ✓ El armamento de la vía.
- ✓ Las características del tráfico en el tramo considerado.<sup>5</sup>

#### ***Funciones del Balasto:***

- ✓ Amortiguar los esfuerzos que ejercen los vehículos sobre la vía.
- ✓ Repartir uniformemente estos esfuerzos sobre la plataforma
- ✓ Constituir un lecho elástico suavizador de la rodadura.
- ✓ Resistir el desgaste y la degradación, causadas por las cargas intermitentes

---

<sup>5</sup> MINISTERIO DE FOMENTO ESPAÑA-PROINTEC (2010). Estudio Informativo del Proyecto de Integración del Ferrocarril en la ciudad de Vitoria-Gasteiz. Anexo 11. Plataforma e Infraestructura. Madrid, España. Dirección general de Infraestructuras Ferroviarias. P.10

- ✓ Impedir el desplazamiento de la vía, estabilizándola en dirección vertical, longitudinal y transversal.
- ✓ Recuperar la geometría de la vía mediante alineación y nivelación
- ✓ Mejorar el saneamiento facilitando la evaporación del agua
- ✓ Posibilitar el drenaje facilitando la evacuación de las aguas lluvias.
- ✓ Proteger los suelos de la plataforma contra la acción de Las heladas.
- ✓ Evitar las fugas de corrientes (de tracción y/o de señalización).

En líneas de alta velocidad con balasto, se persigue la reducción de la presión de la traviesa sobre el balasto, esto puede conseguirse con traviesas con mayor superficie de apoyo y placas de asiento más elásticas.

La experiencia japonesa en vía sobre balasto, con un reducido apoyo de las traviesas (2,4 longitudinalmente), la deficiente distribución de cargas de carriles de 54 Kg/m. así como espesores de balasto bajo traviesa insuficientes (20-25cm.), hacen que las presiones transmitidas al balasto sean elevadas, obligando a realizar operaciones de mantenimiento, dos o tres veces al año.

#### 1.2.2.2.2. Subbase.

Las capas de la subbase se disponen entre la banqueta de balasto y la capa de forma de modo que se asegure el buen comportamiento de la vía férrea desde el punto de vista de su rigidez, alineación, nivelación y drenaje.

Consiste en una capa de subbalasto que debe estar formada por una grava arenosa bien graduada, con algún porcentaje de elementos finos para que sea compactable, no se desligue bajo el tráfico de las máquinas durante la obra, sea insensible al hielo y proteja la plataforma de la erosión de las aguas lluvias.

Es conveniente que lleve un porcentaje no inferior al 30 por 100 de piedra procedente de machaqueo.

En este caso, al tratarse de una línea de nuevo diseño de alta velocidad, el espesor mínimo de balasto bajo traviesa en eje de carril se ha establecido en 0,35 m, con lo que del cálculo se obtiene el espesor del resto de capas que forman la subbase.

Según la norma, la fórmula es la siguiente:

$$e = 0,45 - 0,05 + 0 + 0 + 0 + 0 = 0,40 \text{ m}$$

Cuyos parámetros son:

E: depende de la clase de plataforma. Para plataforma P3, E=0,45 m.

a= 0 ya que la velocidad de diseño es mayor de 160 km/h

b= 0,05 al ser traviesas de hormigón de 2.60 m de longitud

c= 0 para un dimensionamiento normal

d= 0,05 para carga máxima remolcada por eje  $\leq 250\text{KN}$

f= 0 para alta velocidad con una capacidad de carga de plataforma tipo P3

g= 0 ya que el material a utilizar como capa de forma será QS3

#### 1.2.2.2.3. *Durmiente o traviesa.*

Elemento de forma prismática que proporciona estabilidad transversal al emparrillado de vía, garantiza la continuidad de la trocha y transmite cargas al balasto, pudiéndose constituir con madera, concreto o acero.

Las traviesas de hormigón monobloque pueden ser *polivalentes* si los carriles se pueden fijar en dos posiciones distintas para permitir la instalación de vías de diferentes anchos.

Por norma general las traviesas se colocan a una distancia de 60 cm entre ellas; esto puede variar entre los diferentes aparatos de vía cada uno tiene distancias entre traviesas específicas. Los 60 cm pueden variar también para evitar que una soldadura de carril pueda caer encima de una traviesa con el consiguiente deterioro de esta.

La vida útil de una traviesa de madera depende de la densidad de tráfico, de la carga por eje de los equipos que circulen y de las condiciones climáticas.

## Capítulo 2

### Caracterización de la Red Férrea Bogotá-Belencito Tramo: Suesca-Villapinzón-Tunja

En este capítulo, se tomaron como referencia los diferentes estudios realizados para la rehabilitación de la Red Férrea Bogotá-Belencito y que fueron suministrados por la Agencia Nacional de Infraestructura-ANI, para realizar la caracterización del tramo en estudio, tanto de infraestructura como de superestructura para poder llevar a cabo el diagnóstico de la situación actual de la Red Ferroviaria Bogotá-Belencito Tramo: Suesca-Villapinzón-Tunja.

Las especificaciones técnicas contenidas en este capítulo, contienen los requerimientos de calidad de los materiales y equipos a utilizar y procedimientos constructivos, todo lo cual constituye el conjunto de normas que definen la ejecución y control de las obras ferroviarias.

#### 2.1. Regeometrización de la Red Férrea Bogotá-Belencito

En el año 2007, se realizaron estudios en el trazado vertical, para la regeometrización del perfil y se realizó con base en la recuperación de la geometría de la línea actual, salvo en sitios donde se presentaban hundimientos de la banca.

La cota del proyecto corresponde al valor superior del hongo del riel.

En las tangentes la cota corresponde a cualquiera de los dos rieles y en las curvas se toma la del riel interior, es decir, la que no tiene sobreelevación por peralte u otros factores que pueden modificar sensiblemente el trazado y obligan a redefinir el diseño.

##### 2.1.1. Parámetros de Diseño para la rehabilitación de la Vía Férrea

La línea tiene un trazado de montaña, teniendo en cuenta las características de topografía quebrada por las que atraviesa. Lo anterior enmarca en principio los parámetros de diseño de la geometría para la rehabilitación. Los parámetros de diseño que se tuvieron en cuenta para la rehabilitación del trazado actual del tramo Bogotá – Belencito.

Los parámetros básicos en la geometría de una vía férrea están determinados por la velocidad del vehículo tipo, en este caso trenes de carga y por las características topográficas propias del tramo que se esté estudiando.

Con base en lo anterior, se definen: la velocidad media de operación, la cual corresponde al ascenso de la máquina teniendo en cuenta las resistencias presentadas por el trazado y por el tren mismo, la velocidad máxima por radio de curvatura la cual se calcula con base en el radio mínimo existente en el tramo correspondiente y el valor máximo de peralte admitido.

Se tuvieron en cuenta las siguientes velocidades mínimas de operación:

### Velocidades mínimas de operación:

VELOCIDADES MINIMAS DE OPERACIÓN	
TRAMO	Km/h
Bogotá – Villapinzón	40
Villapinzón – Belencito	25

**Capacidad de la Línea:** La capacidad de la línea depende del número de trenes, la longitud de estos, la pendiente y la longitud de los apartaderos, la distancia entre estaciones, el sistema de señalización y la velocidad.

Los parámetros de diseño que se tienen en cuenta para la rehabilitación de los trazados actuales de los diferentes tramos, para la regeometrización objeto del proyecto de rehabilitación de la Red Férrea Bogotá-Belencito.

Tabla 7. Parámetros de diseño Red Férrea Bogotá-Belencito

LONGITUD DEL TRAMO BOGOTÁ-BELENCITO (Km)	257
<i>VELOCIDADES DE OPERACIÓN ( Km/Hora)</i>	
Bogotá – Villapinzón	40
Villapinzón – Belencito	25
RADIO MÍNIMO ( m)	80
PENDIENTE MÁXIMA (%)	2.5%
PERALTE MÁXIMO (mm)	90
PENDIENTE RAMPA DE PERALTE	3 mm/m
INSUFICIENCIA MÁXIMA DEL PERALTE	60 mm.

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura ANI. Año 2014

## 2.2. Caracterización Infraestructura

Para llevar a cabo la caracterización y conocer el tramo en estudio, se presenta un mapa correspondiente a la Red Bogotá-Belencito, tramo: Suesca-Villapinzón-Tunja.

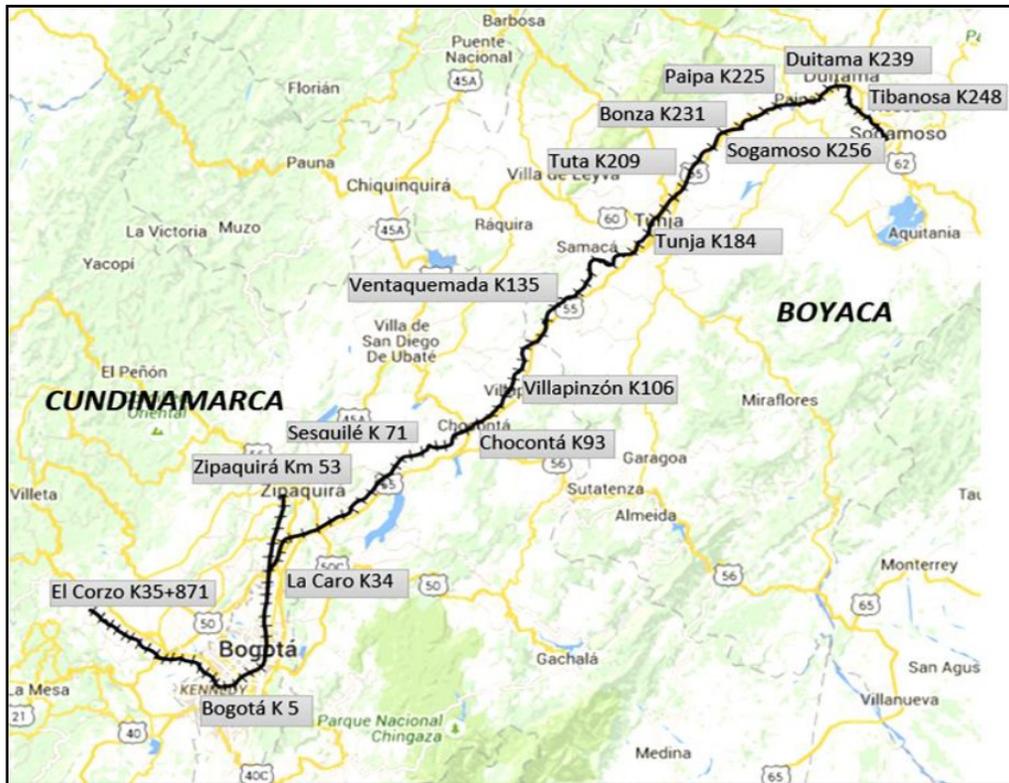


Figura 23. Mapa Red Férrea Bogotá-Belencito: Tramo Suesca-Villapinzón-Tunja  
Fuente: Revista de Ingeniería No.35. Universidad de los Andes. Año 2011.

Para efectos de localización de las obras de infraestructura, se tomó como base el abscisado que posteriormente se utilizó en el diseño, el cual está adecuadamente referenciado a la red de bases del IGAC. La línea tiene un trazado de montaña, teniendo en cuenta las características de topografía quebrada por las que atraviesa. Lo anterior, enmarca en principio los parámetros de diseño de la geometría para la rehabilitación. El punto GPS del IGAC que sirvió de base para el estudio topográfico.

Tabla 8. Puntos principales- Red IGAC

RED FERROVIARIA BOGOTÁ-BELENCITO			
NOMBRE	NORTE	ESTE	COTA
CD 227	1'023.937,41	1'004.566,109	2554,569

Con base en los datos topográficos, en el corredor ferroviario Bogotá – Belencito, la nivelación se controló mediante el cierre a puntos NP's del IGAC. A partir del amarre a estos NP's se estableció una red de BMs cada 500 metros aproximadamente, determinando su cota de nivelación y contranivelación hasta obtener errores dentro de la tolerancia admisible. La nivelación del eje de la vía existente se llevó a cabo determinando

cotas en el eje de la vía y en los dos rieles; igualmente se nivelaron los pasos a nivel, puentes, pontones, alcantarillas, cambia vías y demás puntos fijos de la línea.

En puentes, pontones, box couvert y alcantarillas, se determinaron las cotas en la intersección entre el eje de la línea férrea y el eje de la obra, así como en los extremos laterales de entrada y salida de las obras se determinaron las cotas de fondo y en los puentes, se determinaron las cotas de fondo en el eje. Esto para obtener información del sentido de flujo de los cauces y evaluar las soluciones propuestas con respecto a la situación existente en los sitios de obras.

A lo largo de la vía férrea, se detectaron cinco sitios inestables a los cuales se les realizó el levantamiento topográfico de acuerdo con los requerimientos de cada caso y según las exigencias de los estudios hidrológico, hidráulico y geotécnico.

**Planimetría:** Consistió en establecer puntos determinados a partir de los sistemas establecidos por el IGAC en el tramo en estudio. Para establecer los puntos de control, se utilizó la tecnología GPS (Global Position System). Se emplearon los puntos de la Red Básica Nacional, sistema GPS, instalada por el IGAC para materializar puntos cada 5 kilómetros en promedio con el fin de amarrar las poligonales.

**Altimetría:** Se partió de puntos NP's del IGAC distantes no más de 20 kilómetros entre ellos para establecer una red secundaria de BM's, que se encuentran separados 500 metros en promedio y sirvieron para amarrar la nivelación del eje ferroviario. En tangente se tomaron puntos cada 20 metros y para los trayectos en curva cada 10 metros. La tolerancia para cierres de nivelación se estableció con la ecuación  $2\sqrt{k}$ , dónde:

k = Distancia en kilómetros longitud nivelada, en centímetros.

### 2.2.1. Trazado en Planta

La regeometrización de la línea férrea hace referencia a la definición de características geométricas tanto en planta como en perfil, de modo que con base en ellas se pueda construir la rehabilitación.

Estas características permitirán no solamente replantear y reconstruir la vía de acuerdo con parámetros técnicos, sino también la operación férrea sin que esta se vea afectada por deficiencias en las condiciones geométricas, conservando en lo posible el eje y plataforma actuales e introduciendo las mejoras que permitan optimizar las condiciones de operación de los trenes.

Inicialmente se tratará de los parámetros básicos de la geometría de la vía como son la velocidad de diseño para los diferentes tramos y el peralte, los cuales sirven de base fundamental para el estudio del trazado horizontal.

Posteriormente y con base en los levantamientos topográficos realizados, se analizarán los trazados horizontal y vertical existentes a partir de la formulación empleada para determinar los diferentes componentes geométricos de la vía, replanteando las curvas horizontales y verticales, los empalmes tangentes-curva, longitud de las espirales,

desarrollo de peraltes y la corrección de los alineamientos horizontal y vertical para aquellos casos en los que se ha considerado necesario.

El diseño geométrico se ha realizado sobre la misma banca o plataforma existente, haciendo mejoramiento de las características en sitios que las han perdido y tomando como obligados tanto en planta como en perfil, los sitios de paso por estructuras, cambiavías y pasos a nivel. (Ver Anexo 2. Planta- Perfil Tramo Bogotá-Belencito).

En el trazado en planta, el empalme entre tangentes se realiza con curvas circulares, acompañadas con curvas de transición a la entrada y salida, con lo cual el peralte se desarrolla en la longitud de la transición, garantizando durante la curva circular el valor total y constante del peralte correspondiente, es decir que el peralte comenzará a desarrollarse en TE y adquirirá su mayor valor en el EC el cual se mantendrá hasta el CE punto en el cual empezará a disminuir hasta llegar a cero en punto ET.

Para calcular los elementos de las curvas horizontales, circulares y espirales de transición, son:

Para curvas circulares:

$$L_c = \frac{\Delta C}{G},$$

Donde:

Lc = Longitud curva circular

$\Delta$  = Angulo de deflexión

C = cuerda unitaria para grado G

Para curvas de transición: Se emplearon curvas espirales tipo Clotoide:

$$L_e = \frac{A^2}{R} = 2\theta_e R = A\sqrt{2\theta_e}$$

Donde:

Le = Longitud total de la curva espiral

A = Parámetro de la espiral

R = radio de la espiral en el punto de longitud Le

$\theta_e$  = deflexión total de la espiral (rad.)

Las coordenadas de cualquier punto de la espiral con longitud  $l_e$ , para facilitar su deflexión, son las siguientes:

$$X = l_e \left( 1 - \frac{\theta_e^2}{5 \cdot 2!} + \frac{\theta_e^4}{9 \cdot 4!} - \frac{\theta_e^6}{13 \cdot 6!} + \frac{\theta_e^8}{17 \cdot 8!} \right)$$

$$Y = \frac{\theta e}{3} - \frac{\theta e^3}{7 \cdot 3!} + \frac{\theta e^5}{11 \cdot 5!} - \frac{\theta e^7}{15 \cdot 7!}$$

Con  $\theta e$  en radianes.

La longitud de la tangente total para el empalme con la curva circular es:

$$TE = X + (\tan(\Delta/2) (R + \Delta R)), \text{ donde } \Delta = \text{deflexión total de la curva} = 2 \cdot \theta e + \Delta c$$

La longitud de la externa o bisectriz del sistema de empalme es:

$$E = \frac{(R + \Delta R)}{\cos \frac{\Delta}{2}} - R$$

La longitud mínima de la espiral depende del valor del peralte o de una velocidad de elevación del riel, que para esta línea se ha definido en 3 mm/m. Se obtiene la longitud mínima de la espiral con la siguiente expresión:

$$l_s = VPe/90$$

Donde:

$l_s$  = Longitud mínima de la espiral

$V$  = Velocidad en km/hr

$Pe$  = Peralte efectivo para el radio  $R$

$90$  = peralte máximo admisible para la máxima velocidad de la respectiva curva.

### 2.2.2. Trazado Vertical

La regeometrización del perfil se realizó con base en la recuperación de la geometría de la línea actual, salvo en sitios donde se presentan hundimientos de la banca u otros factores que pueden modificar sensiblemente el trazado y obligan a redefinir el diseño.

La cota del proyecto corresponde al valor superior del hongo del riel. En las tangentes la cota corresponde a cualquiera de los dos rieles y en las curvas se toma la del riel interior, es decir, la que no tiene sobreelevación por peralte.

El empalme entre tangentes se realiza con curvas circulares, acompañadas con curvas de transición a la entrada y salida, con lo cual el peralte se desarrolla en la longitud de la transición, garantizando durante la curva circular el valor total y constante del peralte correspondiente. Para definir la geometría aprovechando la plataforma actual pero dejando adecuadas características para el funcionamiento de los trenes, se utilizaron algunas concatenaciones compuestas, ya que la geometría actual no se ajusta exactamente a la curva simétrica espiral-circular-espiral o a la tangente-circular-tangente.

Por lo anterior se utilizaron en algunas curvas, empalmes asimétricos espiral-circular-espiral, espiral-circular-tangente o espiral- circular de radio R1-circular de radio R2-espiral.

La longitud mínima de la espiral se define como la mayor entre la relación del peralte para radio R a la velocidad de diseño y el peralte máximo admisible de 90 mm., o la obtenida de distribuir el desarrollo del peralte en la curva de transición con una determinada inclinación relativa. Para el primer criterio se obtiene la longitud de la curva de transición mediante la expresión:

$$l_s = \frac{vp}{90}$$

Dónde:

$l_s$  = Longitud mínima de la espiral

V = Velocidad en Km/hr

Pe = Peralte efectivo para el radio R:  $P = 7.7 \frac{V^2}{R}$  (mm)

90 = Peralte máximo admisible para la máxima velocidad de la respectiva curva.

En la Tabla 9, se presentan valores de la longitud de la espiral según la velocidad de diseño y el peralte.

Tabla 9. Longitud de curvas de transición (m)

Velocidad de Diseño (K/hr)	Peraltes (mm)																
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	75	80	85	90
20	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	17	18	19	20
25	1	3	4	6	7	8	10	11	13	14	15	17	18	21	22	24	25
30	2	3	5	7	8	10	12	13	15	17	18	20	22	25	27	28	30
35	2	4	6	8	10	12	14	16	18	19	21	23	25	29	31	33	35
40	2	4	7	9	11	13	16	18	20	22	24	27	29	33	36	38	40
45	3	5	8	10	13	15	18	20	23	25	28	30	33	38	40	43	45
50	3	6	8	11	14	17	19	22	25	28	31	33	36	42	44	47	50

$$l_s = \frac{vp}{90}$$

Dentro del segundo criterio se tiene en cuenta que el peralte se materializa elevando convenientemente la cota de balasto bajo el carril exterior de la curva, sin disminuir la que existe bajo el carril interior.

**Tangentes:** Para los empalmes de las tangentes se empleó la curva parabólica de segundo grado:

$$y = (g1 - g2) x^2 / (2L_{cv})$$

Dónde:

$y$  = Ordenada o diferencia de altura entre la línea de pendiente y la curva en cada abscisa.

$g_1, g_2$  = Pendientes de las rasantes a empalmar

$L_{cv}$  = Longitud de la curva de empalme

$x$  = La abscisa del punto a considerar

La longitud mínima de la curva vertical se define haciendo variar la pendiente en 0.2% en curvas convexas y 0.1% en curvas cóncavas por estaciones de 100' (30.48 m.) para el tipo de ferrocarriles que opera en los diferentes tramos:

$$l = (A/0.1\%) \times 30.48m \quad \text{Para las curvas cóncavas}$$

$$l = (A/0.2\%) \times 30.48m \quad \text{Para las curvas convexas}$$

Donde A corresponde a la diferencia algebraica de las pendientes, teniendo en cuenta que la diferencia de los valores absolutos de las pendientes no supere el 0.5%. Esta formulación se emplea en terrenos planos.

Se aplicó un criterio complementario, teniendo en cuenta que dadas las condiciones de montaña de la línea resultan longitudes muy grandes para las curvas verticales. Según la Norma AREMA, para cambios menores o iguales al 0.5% (suma algebraica de pendientes, se hace variación del 1% de pendiente en curvas convexas y del 0.5 % en curvas cóncavas, para estaciones de 20 m. Quedando las expresiones anteriores:

$$l = (A/0.5\%) \times 20m \quad \text{Para curvas cóncavas}$$

$$l = (A/1\%) \times 20m \quad \text{Para curvas convexas}$$

Esta formulación se emplea básicamente para terrenos montañosos. La regeometrización de la rasante se realizó con base en una mínima modificación de la rasante actual y teniendo en cuenta que no habrá cambios ocasionados por la adición de material de balasto, ya que el volumen previsto a adicionar, tiene como fin compensar las posibles pérdidas al depurar el material existente o recuperar la rasante en los sitios donde se presenten deformaciones actualmente.

Se presentan algunos sitios puntuales donde la longitud de la curva vertical no cumple con la mínima especificada, debido a los siguientes factores:

- ✓ Para la recuperación de la rasante en sitios donde se han presentado alteraciones por hundimientos o rehabilitaciones y su recuperación implica evitar cortes o rellenos excesivos, se debe ajustar la nueva rasante a las pendientes existentes con curvas de corta longitud que pueden resultar menores que las mínimas establecidas.
- ✓ En sitios donde se deben hacer empalmes con estructuras como puentes o donde se mejoran hundimientos u ondulaciones excesivas y es necesario modificar los empalmes de entrada o salida por lo cual no cabe la longitud mínima de empalme.

### 2.2.3.1. Parámetros Geométricos.

En la Tabla 10, se muestran las principales características geométricas del trazado horizontal de la línea férrea en los diferentes tramos:

Tabla 10. Características geométricas del Tramo Bogotá-Belencito

SECTOR	ABSCISA INICIAL/FINAL	LON. (Km)	VELOCIDAD DE DISEÑO (Km/hr)	INSUFICIENCIA MÁXIMA DEL PERALTE (mm)	PENDIENTE VERTICAL MÁXIMA (%)
Bogotá – Villapinzón	K5+000 K105+600	100.6	40	60	2.50
Villapinzón – Belencito	K105+600 K262+305	156.7	25	60	2.50

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura. ANI, 2014.

**Radio mínimo:** Cualquier modificación para mejorar los radios de curvatura actual, especialmente en los tramos que tienen mayor pendiente, implican movimientos de tierra importantes que en zonas de montaña no se recomiendan y obras de contención importante, que son costosas.

Por lo anterior y que la vía discurre por zonas potencialmente inestables, se recomienda como radio mínimo: 70 m. Se debe tener presente que la modificación del radio en estos rangos, afecta muy poco la capacidad de arrastre de las locomotoras, más no la variación de la pendiente.

En el tramo Bogotá – Belencito, se presentan tres tramos característicos; uno entre Bogotá y Ventaquemada (130 km), otro entre Ventaquemada y Tunja (50 Km) y el último entre Tunja y Belencito (53 km). La línea en cada uno de estos tramos presenta características topográficas diferentes. En el caso del primer y tercer tramo la mayoría discurre por topografía plana y el segundo tramo por topografía quebrada. El radio mínimo de diseño se tomó de 80 m.

#### Peraltes

El valor máximo de peralte admisible por especificación, será de 90 mm. Para la velocidad máxima en la respectiva curva. El peralte se define por la expresión:

$$P = 7.7 \frac{V^2}{R} (mm)$$

Dónde:

P = Peralte en mm.

V = Velocidad en Km/hora

R = Radio de la curva en metros

Si la distancia entre curvas es muy corta y para disminuir la longitud de la transición, es aceptable una insuficiencia de peralte para un tren tipo hasta de 60 mm. Lo que implicaría una disminución de la velocidad de operación en los posibles sectores afectados de la Red.

**Valor del Peralte:** En el ferrocarril se denomina peralte a la diferencia de cota entre los dos rieles, en un plano normal al eje en la vía. Los objetivos del peralte que combina los efectos del trazado en planta y en perfil son: compensar total o parcialmente, la fuerza centrífuga que origina la circulación en curva, haciendo que la resultante del peso del material rodante y de la aceleración centrífuga sea aproximadamente normal al plano de rodadura, es la práctica habitual en la técnica ferroviaria, equilibrando la distribución de cargas entre ambos rieles, consecuencia de lo indicado anteriormente, para reducir el desgaste de los rieles y del material rodante y mantener el confort de los viajeros, cuando este tipo de transporte exista.

El peralte es normalmente 0 en alineamientos rectos. Cuando un vehículo recorre por una curva circular de radio  $R$  a una velocidad uniforme  $V$ , se estima en una primera aproximación, que sus dimensiones son suficientemente reducidas para considerar que todos sus puntos recorren la misma trayectoria. Un elemento material cualquiera del vehículo de masa  $m$ , está sometido no solamente a su peso:  $W = mg$ , sino además a una fuerza centrífuga:

$$F_c = m \frac{V^2}{R}$$

Y la resultante de estas dos fuerzas está inclinada en relación con la vertical en un ángulo  $\beta$  como se indica en la Figura 24.

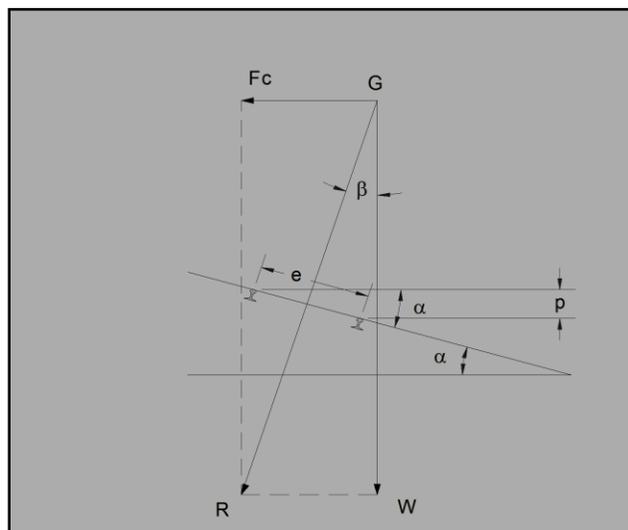


Figura 24. Elementos para definición del peralte  
Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura ANI. (2014).

Dónde:

$p$  = Peralte

$e$  = Distancia entre ejes de los rieles

$R$  = Radio de la curva

$V$  = Velocidad del vehículo normalmente expresada en km/h

En los Ferrocarriles Colombianos, la inclinación de la rampa de peralte está limitada a 3.0mm/m.

Para el riel 7540 ASCE:

$$e = 0.914mts + 0.062mts = 0.976mts$$

$$\therefore p = \frac{0.976}{9.81 * (3.6)^2} \frac{V^2}{R}$$

$$\therefore p = 0.00767 \frac{V^2}{R} (mts)$$

$$\therefore p = 7.67 \frac{V^2}{R} (mm) \approx 7.7 \frac{V^2}{R} (mm)$$

Para el riel ARA-A 90:

$$e = 0.914mts + 0.06509mts = 0.97909mts$$

$$\therefore p = \frac{0.97909}{9.81 * (3.6)^2} \frac{V^2}{R}$$

$$\therefore p = 0.0077 \frac{V^2}{R} (mts) = 7.7 \frac{V^2}{R} (mm)$$

Esta línea, es para trenes de carga únicamente, el peralte a colocar es el que compense totalmente la resultante entre la fuerza centrífuga y el peso del material rodante. Según la Norma AREMA, La relación entre la insuficiencia de peralte y la velocidad es:

$V_{max}$  = velocidad del tren (máxima permitida en MPH)

$E_a$  = peralte real (pulgadas)

$U$  = Insuficiencia de peralte (pulgadas)

$D$  = Ángulo de curvatura (grados decimales)

La norma AREMA obtiene el peralte real restando entre 1 y 4 pulgadas al peralte teórico.

**Peraltes en Curvas para Distintos Radios y Velocidades:** Cuando el vagón circula desde la curva circular a la recta, este alabeo da lugar a una descarga de su rueda exterior delantera que puede producir su descarrilamiento.

Para mantener la descarga en valores tolerables, por ejemplo en los Ferrocarriles Españoles la rampa está limitada a 2.5 mm/m, que también fue adoptado por los Ferrocarriles Británicos y alemanes.

Para los Ferrocarriles Colombianos, la rampa de peralte está limitada a 3.0mm/m. En el tramo Bogotá-Belencito, se encontraron distintos tipos de perfil de riel, entre Bogotá y el K118 el perfil predominante es de 32 Kg/m de fabricación belga y longitud nominal de 10 m. También se encuentran algunos tramos con riel de 60 Lbs/yda del K118 hasta el K152 hay perfil de riel de 75 Lbs/yda serie 40 en barras de 36 m y del K152 a Belencito el perfil del riel predominante es de 30 Km/m.

En las Tablas 11 y 12, se han fijado los peraltes a colocar, para los intervalos de los radios, según las diferentes velocidades de operación y los tramos, cuya velocidad propuesta es de 40 Km/h, salvo donde las curvas tienen radios menores a 125 m, donde se aplicará una velocidad de operación máxima de 30 Km/h, se informará mediante la instalación de señales de velocidad.

$$p = 7.7 \frac{V^2}{R}$$

Tabla 11. Tramo: Bogotá-Villapinzón

RADIO		VELOCIDAD KM/h	PERALTE		
			De equilibrio		Práctico a colocar mm
Inicial	Final		Inicial	Final	
125	140	40	98.56	88.00	90
141	149	40	87.38	82.68	85
150	158	40	82.13	77.97	80
159	169	40	77.48	72.90	75
170	182	40	72.47	67.69	70
183	197	40	67.32	62.54	60
198	214	40	62.22	57.57	55
215	259	40	57.30	47.57	50
260	289	40	47.38	42.63	45
290	328	40	42.48	37.56	40
329	379	40	37.45	32.51	35
380	449	40	32.42	27.44	30
450	547	40	27.38	22.52	25
548	704	40	22.48	17.50	20
705	985	40	17.48	12.51	15
986	1642	40	12.49	7.50	10
1643	4300	40	7.50	2.87	5

Fuente: Agencia Nacional de infraestructura. ANI. Año 2015.

Tabla 12. Tramo Villapinzón – Belencito

RADIO		VELOCIDAD KM/h	PERALTE		
			De equilibrio		Práctico a colocar mm
Inicial	Final		Inicial	Final	
85	91	25	56.62	52.88	55
92	101	25	52.31	47.65	50
102	113	25	47.18	42.59	45
114	128	25	42.21	37.60	40
129	148	25	37.31	32.52	35
149	175	25	32.30	27.50	30
176	213	25	27.34	22.59	25
214	275	25	22.49	17.50	20
276	385	25	17.44	12.50	15
386	642	25	12.47	7.50	10
643	1000	25	7.48	4.81	5

Fuente: Agencia Nacional de infraestructura. ANI. Año 2015.

El peralte se materializa elevando convenientemente la cota de balasto bajo el carril exterior de la curva, sin disminuir la que existe bajo el carril interior.

### 2.2.3 Efecto de la pendiente y curvatura en la tracción

La pendiente y la curvatura juegan un papel determinante en la eficiencia de la vía férrea y cómo se afecta la tracción o capacidad de arrastre de una locomotora, en función de la pendiente y curvatura que recorre. Con base en un estudio sobre las condiciones operativas de los Ferrocarriles Colombianos efectuado por Massachusetts Institute Technology (M.I.T.), se estableció que basados en el Ferrocarril del Atlántico, con curvatura de radio mínimo de 500 metros, y pendiente máxima de 0.5%, una locomotora podría traccionar el 100% de su capacidad tractiva. Basados en esta suposición se estableció la siguiente fórmula:

$$P=20.18 * G^{-0.747} * R^{0.174}$$

Dónde:

P = Porcentaje de arrastre de la locomotora.

G = Pendiente en %

R = Radio de curvatura en metros.

Con la formula anterior, se ha elaborado la Tabla x y el gráfico x, donde se ve claramente cómo se afecta la capacidad de arrastre o tracción en función de los parámetros citados.

En la Tabla 13 y en el Gráfico 1, se evidencia que la pendiente afecta en mucho mayor grado la tracción que el radio de curvatura.

Tabla 13. Efecto de la pendiente y curvatura

RADIO (M)	PENDIENTE EN (%)							
	0.5	1.0	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5	3.0
80	72,60	43,26	31,95	27,88	25,77	24,00	21,82	19,04
100	75,47	44,97	33,22	28,99	26,79	24,95	22,68	19,79
120	77,91	77,91	34,29	29,92	27,66	25,76	23,41	20,43
150	80,99	80,99	35,65	31,11	28,75	26,78	24,34	21,24
180	83,60	83,60	36,80	32,11	29,68	27,64	25,12	21,92
200	85,15	85,15	37,48	32,70	30,23	28,15	25,59	22,33
250	88,52	88,52	38,96	34,00	31,43	29,27	26,60	23,21
300	91,37	91,37	40,22	35,10	32,44	30,21	27,46	23,96
400	96,06	96,06	42,28	36,90	34,10	31,76	28,87	25,19
500	99,86	99,86	43,95	38,36	35,45	33,02	30,01	26,19
1000	100,00	100,00	49,59	43,27	40,00	37,25	33,86	29,55

Fuente: Agencia Nacional de infraestructura. ANI. Año 2015.

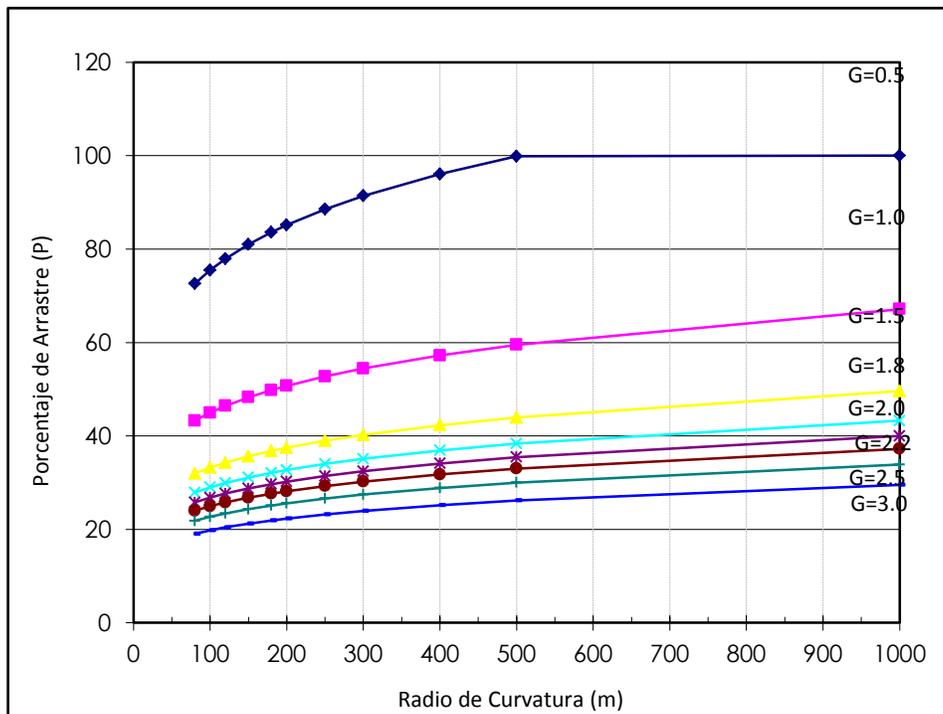


Gráfico 1. Efecto de pendiente y curvatura  
Fuente: Agencia Nacional de infraestructura. ANI. Año 2015.

#### **2.2.4. Secciones Transversales**

Los estudios topográficos permiten obtener las secciones transversales de la línea, las cuales se han elaborado con un espaciamiento promedio de 20 m. A partir de dicha información se han obtenido las características actuales de la plataforma, como anchos de base y corona de terraplén, inclinación y altura de los mismos y el estado de conformación de los terraplenes y cortes.

Esta información, se generó a partir de los datos de puntos representativos del terreno, recolectados mediante estaciones totales y carteras electrónicas, calculadas con sus respectivas coordenadas y elevación, ajustando las cotas con nivel de precisión, permitiendo de esta manera generar el seccionamiento, en los intervalos necesarios para representar confiablemente el terreno existente y el diseño final.

Para el seccionamiento, se levantaron los detalles tanto de la plataforma como de los taludes y del corredor férreo en un ancho mínimo de 30 metros, con el fin de tener la información necesaria para el cálculo del movimiento de tierras y para el diseño de obras de drenaje.

#### **2.2.5. Abscisado de la Vía Férrea**

A partir de los puntos o vértices de la poligonal se determinaron las coordenadas del eje y los detalles planimétricos del corredor férreo. En tangente se tomaron puntos en promedio cada 20 metros mientras que para los trayectos en curva se realizó cada 10 metros.

En el proceso de abscisado, durante el diseño de regeometrización, se referenciaron las diferentes obras como puentes, pontones, box couvert, muros de contención y obras de drenaje, también fueron objeto de abscisado los sitios donde se efectuaron los apiques, invasiones y pasos a nivel.

Para facilitar el replanteo de la poligonal, se materializaron pares de referencias sobre áreas duras encontradas en terreno o en su defecto con mojones de concreto cada 2 kilómetros aproximadamente.

Debido a que algunos tramos empalman con el diseño ya efectuado entre otras estaciones, el abscisado se hizo tomando como abscisa inicial un punto del abscisado encontrado en campo y desde el cual se abscisó la totalidad del tramo correspondiente. En el tramo Bogotá-Belencito, no se abscisó, sino que se realizó una correlación de puntos tomados en planimetría con altimetría, los cuales se marcaron y luego se nivelaron, para luego proceder a abscisar el proyecto.

#### **2.2.6. Plataforma (Obras de tierra)**

Un aspecto determinante del diseño previo de una infraestructura ferroviaria es el adecuado dimensionamiento de las capas de asiento en el caso de la vía sobre balasto (capas de balasto, sub-balasto y coronación de plataforma). En el caso de construcción nueva, se aplicará el método de dimensionado, que permitirá definir los espesores y características de las capas de sub balasto y balasto en función de las características de la nueva plataforma.

### **2.2.6.1 Limpieza de la Plataforma.**

El manejo de la cobertura vegetal removida implica la ejecución de una serie de actividades que requieren del máximo control y cuidado, puesto que su manejo adecuado será una medida de compensación de los impactos causados por la rehabilitación de la vía férrea, servirá significativamente en el éxito del programa de revegetación (aporte de materia orgánica y nutriente) y disminuirá los costos de fertilización.

Comprende el retiro de materiales indeseables según el parcelario de expropiación para la rehabilitación de la línea férrea, particularmente el retiro de zonas de pastos, rastrojo, maleza, escombros, cultivos y arbustos. Comprende también la remoción total de árboles aislados o grupos de árboles, excepto que constituyan elementos estabilizadores de taludes. Todos los troncos muertos que estén en la zona del proyecto, pero por fuera de las áreas de excavación, terraplenes o estructuras, podrán cortarse a ras del suelo.

Los árboles talados que sean susceptibles de aprovechamiento, deberán ser despojados de sus ramas y cortados en trozos de tamaño conveniente, los que deberán apilarse debidamente dentro de la zona de la obra, para su disposición posterior.

La remoción de vegetación del estrato herbáceo se ejecutará previamente a la iniciación de las operaciones de construcción. En las áreas de terraplenes, los tocones y raíces se eliminarán completamente. El resto de los materiales provenientes del desmonte y la limpieza deberán ser retirados del lugar de los trabajos.

La materia vegetal inservible y los demás desechos del desmonte y limpieza podrán quemarse en un momento oportuno y de una manera apropiada para prevenir la propagación del fuego. Solo se podrá utilizar la madera proveniente del desmonte de especies no trasladables, en la construcción de puentes y pasos provisionales y en otras obras que sean parte del objeto de la rehabilitación.

Una vez levantada o desguazada la vía, se incluye el retiro o excavación en una franja de hasta cinco (5) m., dos con cinco (2,5) m. a lado y lado del eje de la vía, de los materiales indeseables que resulten para el trabajo de rehabilitación de la línea férrea, hasta una profundidad de 0,4 m. Medidos sobre la cota actual de la cabeza del riel.

### **2.2.7. Terraplenes**

Todos los materiales que se utilizaron en la construcción de rellenos y terraplenes eran provenientes de las excavaciones de explanación, de préstamos laterales o de fuentes aprobadas; libres de sustancias deletéreas, de materia orgánica, raíces y otros elementos perjudiciales. Las zonas o áreas que presentan indicios o señales de inestabilidad, se les realizó un tratamiento especial. En los casos en que la humedad del material era considerablemente mayor que la adecuada para obtener la compactación prevista.

La compactación mínima de cada capa fue del 90% de la densidad máxima del material, según la especificación T-180 de la AASHTO, método D, con excepción de los treinta (30) cm. superior de la subrasante, cuya compactación mínima fue del 95% de la densidad máxima. La corona con espesor compacto de treinta centímetros (30 cm), los cuales se conformaron utilizando suelos seleccionados o adecuados.

Para la conformación, nivelación y compactación del terreno donde haya de colocarse un relleno nuevo, incluyendo el acarreo del material desde las fuentes de explotación, previa ejecución de las obras de drenaje o sub-drenaje que disponga el diseño y la colocación, humedecimiento o secamiento, conformación y compactación de los materiales de relleno, de acuerdo con las secciones transversales.

Además comprenderá los trabajos previos necesarios para el ensanche de terraplenes existentes o la construcción de terraplenes sobre terreno inclinado y comprende la construcción de relleno con material común, material seleccionado, rocoso o pedraplenes.

Todos los materiales que se empleen en la construcción de rellenos y terraplenes deberán provenir de las excavaciones de explanación, de préstamos laterales o de fuentes aprobadas; deberán estar libres de sustancias deletéreas, de materia orgánica, raíces y otros elementos perjudiciales. Los materiales que se empleen en la construcción de rellenos deberán cumplir los requisitos indicados en la Tabla 14.

Tabla 14. Requisitos de los materiales

SUELOS	Seleccionados	Adecuados	Tolerables
Aplicación	Corona, Núcleo, Cimiento	Corona, Núcleo, Cimiento	Núcleo, Cimiento
Tamaño máximo Pasa tamiz (No.200) C.B.R. laboratorio	75 mm ≤ 25% en peso	100 mm ≤ 35% en peso	150 mm ≤35% en peso
Expansión en prueba C.B.R.	≥10	≥ 5	≥3
Contenido de materia Orgánica	0%	< 2%	<2%
Límite líquido	< 30	<1%	<2%
Índice plástico	<10	<40 <15	<40 -

Fuente: Agencia Nacional de infraestructura. ANI. Año 2015

El tamaño máximo y el porcentaje que pasa el tamiz de 75 µm. (No.200) se determinarán mediante el ensayo de granulometría según norma de ensayo INV E-123, el C.B.R. y la expansión, de acuerdo con lo indicado en la norma de ensayo INV E-148; el contenido de materia orgánica, según lo establecido en la norma INV E-121; y el límite líquido y el índice plástico conforme lo establecen las normas INV E-125 y E-126, respectivamente.

En la construcción de terraplenes sobre terreno inclinado o sobre taludes existentes, en el proceso de construcción, EN cada capa de terraplén nuevo se cortó el terreno natural o talud existente (previamente limpiado o descapotado) en un espesor no menor de cincuenta (50) cm, incorporando el material cortado al terraplén nuevo.

Cuando se amplíe un terraplén en un sobreebanco reducido (menor de 1 m). La cota de cualquier punto de la subrasante en terraplenes, conformada y compactada, no deberá variar en más de (30 mm) de la cota proyectada.

Tabla 15. Características del material seleccionado para relleno

NORMA	DESGASTE LOS ANGELES	PÉRDIDAS EN ENSAYO DE SOLIDEZ EN		C. B. R.	I. P.	EQUIV. ARENA
		Sulfato de sodio	Sulfato de magnesio			
INVÍAS	E-218 y E-219	E.-220	E-220	E-148	E-125 y E-126	E-133
	50 % máx.	12 % máx.	18% máx.	> = 15	<= 5	20 % mín.

Fuente: Elaboración propia. Información tomada de Informe Agencia Nacional de Infraestructura. 2015.

NOTA: El relleno para alcantarillas con tubería metálica debe contener menos (0,5%) de cloruros y sulfatos combinados. No se deben utilizar materiales como césped, desechos y suelos que contengan materia orgánica.

### 2.2.8. Taludes

En taludes de terraplén existentes con pendiente excesiva y con peligro de inestabilidad y erosión, el talud se reconfigurará por medio de protección con material apto para relleno y empradización. Los taludes que tengan una pendiente superior a los 45 grados, se le dará una pendiente máxima de 1:1.5. La reconfiguración de los taludes deberá ejecutarse con personal especializado o acostumbrado a trabajar en paredes verticales usando métodos, herramientas y elementos necesarios para la seguridad del personal. En el tramo Bogotá-Belencito, se presentaron daños en los taludes de los siguientes tramos:

**Bogotá – La Caro:** Depósitos lacustres típicos de la sabana de Bogotá, en los que se presentan deformaciones de la vía por cambios volumétricos de la subrasante o los materiales de terraplén.

**La Caro – Suesca (La Caro – Nemocón):** Se continúa por topografía plana, con algunas excepciones como en cercanía a Zipaquirá. Los suelos están afectados por drenaje insuficiente y deformaciones por presencia de suelos blandos.

**Estación Suesca – Villapinzón:** Los problemas que podrían presentarse se relacionan con el desprendimiento y caída de bloques producto del intenso diaclasamiento que afecta la zona; hundimientos debido a la alta plasticidad y compresibilidad en algunas zonas planas; se presentan además en los cortes expuestos caída de sedimentos, erosión superficial, cárcavas y flujo de suelos.

**Villapinzón - Tunja:** Los taludes que se cortaron para realizar la vía férrea se dejaron desprotegidos por lo que presenta erosión desde superficial (difusa) hasta severa

(cárcavas profundas) con caída de rocas y materiales. Puntualmente se presenta caída de materiales, hundimientos de los niveles arcillosos, reptación y solifluxión.

**Tunja - Tuta:** En general, sector con fuerte erosión, flujos y algunos deslizamientos. Los taludes del ferrocarril presentan desprendimiento y caída de grandes bloques de roca que se encuentran en matriz areno-arcillosa, muy friable con intercalaciones de arenita y arcillolita.

**Tuta - Duitama - Belencito:** Los sedimentos de origen aluvial y la morfología plana, de terrazas bajas presentan buena consolidación y resistencia a la erosión, favoreciendo la estabilidad del sector y limitando la ocurrencia de fenómenos erosivos. Por su naturaleza pueden originar hundimientos del terreno y por lo tanto afectarla línea férrea.

### 2.2.9. Drenajes

De acuerdo a los análisis de necesidades, diseños y cálculos hidráulicos se diseñaron las obras de drenajes de encole y descole y alcantarilla tipo box culvert. Según las dimensiones obtenidas para cada capacidad de desagüe se relacionó el tipo de drenaje.

**Carga de Diseño:** Los box culvert se diseñaron para una carga viva COOPER E-40 y con los diseños de la Norma AREMA. Los materiales utilizados fueron:

Concreto de  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

Acero de Refuerzo  $F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$  para  $\varnothing > 3/8"$ .

$F_y = 2400 \text{ Kg/cm}^2$  para  $\varnothing = 3/8"$

Se realizó la construcción de filtros o sub-drenes de material filtrante para ser utilizados con tubería P.V.C perforada, hasta una anchura y profundidad de 50 cm X 50 cm en los sitios señalados para interceptar y drenar flujos concentrados de agua subterránea (manas, fuentes u ojos de agua), en taludes de corte, cunetas, la propia banca o en áreas donde se construyan terraplenes o estructuras. El material del suelo por drenar se compone de arcillas plásticas de baja permeabilidad. Los materiales filtrantes deben estar limpios, no plásticos y libres de materia orgánica.

Deben cumplir con las siguientes especificaciones y se usará arena con los siguientes límites de gradación:

TAMIZ ICONTEC	% QUE PASA
3/8"	100
No. 4	95-100
No. 16	45- 80
No. 50	10- 30
No. 100	2- 10
No. 200	0- 10

Si el material del suelo por drenar se compone de una combinación de arcilla, limo y arena, se usará una mezcla de los materiales filtrantes, en proporción de un 70% del anterior y un 30% de grava que tendrá los siguientes límites de gradación:

TAMIZ ICONTEC	% QUE PASA
1"	100
3/4"	90-100
3/8"	20- 55
No. 4	0-10

Las zanjas para los filtros de tubería perforada con las dimensiones, pendientes y rasantes con las normas exigidas, con taludes verticales y el ancho que se indique en los planos. Su pendiente mínima será del cinco por mil (0.005).

Una vez realizada la excavación de la zanja para la instalación del filtro, se recubre con geotextil no tejido y se deberá disponer sobre toda el área de la zanja dejando una longitud de traslapo en los extremos que permita recubrir el material filtrante.

Encima del relleno filtrante se colocará y compactará una capa de material proveniente de la excavación, con el espesor necesario para llegar hasta la cota de definida.

La piedra que se emplee deberá ser de buena calidad, sana, homogénea y durable. Se podrán utilizar hasta tres tamaños de piedra, con la mayor uniformidad en cada una para obtener el máximo de vacíos: Piedras de 30cm, de 10 a 15 cm. y de 2 a 5 cm. Medido en la máquina de Los Angeles, el desgaste no podrá ser mayor de (40%).

El geotextil se deberá extender sobre un terreno preparado para tal efecto, nivelado, libre de irregularidades y de materiales protuberantes con aristas punzantes o cortantes que puedan producir la rotura del geotextil.

Igualmente en el relleno y compactación de materiales sobre el geotextil, no se deberán utilizar materiales o equipos que pongan en peligro su integridad.

El geotextil de refuerzo debe ser continuo en el sentido transversal del muro o del relleno de fundación., las uniones se deben hacer en cortes transversales correspondientes al ancho de los rollos del geotextil que se utilicen (generalmente 4.0 metros). El traslapo en estas uniones debe ser de 50 cm. mínimo.

Cuando las tuberías sean embebidas en concreto, se construirá primero una capa de base del espesor especificado y se dejará fraguar lo suficiente para resistir, sin deformarse o fracturarse.

Luego se instalará la tubería y colocará cuidadosamente la capa de concreto restante. El concreto para embebimiento de las tuberías será de 2500 PSI (17,5 Mpa).

Todos los tubos deben colocarse sin interrupciones y sin cambios de pendientes, colocando en sentido contrario al flujo los empalmes hembras, o collares.

La tubería debe colocarse sobre una cimentación estable, siguiendo exactamente los alineamientos y niveles prescritos en los diseños y debe quedar soportada en toda la longitud del tubo.

Para instalación de tubería deben tenerse en cuenta siempre las instrucciones del fabricante. Se excavarán cajas apropiadas para alojar todas las campanas de las tuberías que posean este tipo de unión.

Las juntas deben quedar incrustadas en un bloque de mortero compuesto de una parte en volumen de cemento y dos partes en volumen de arena.

Este bloque debe extenderse a lo largo del tubo en una longitud no menor de 15 cm de distancia del centro de la junta en ambos sentidos y su espesor en la parte superior y alrededor de la campana, al collar o el diámetro mayor del tubo, será por lo menos de 10 cm.

La resistencia promedio de todos los cilindros ( $R_c$ ) deberá ser igual o mayor que la de diseño ( $R_d$ ). Luego:

$$R_c \geq R_d$$

Simultáneamente, no más del diez por ciento (10%) de los cilindros podrá tener resistencia inferior a la especificada y ninguno podrá presentar una resistencia menor al (80%) de ésta.

Los tubos deberán tener un diámetro interno que no exceda los siguientes límites:

Diámetro interno de diseño (mm)	Diámetro interno Máximo (mm)
900	925
1000	1080
1200	1230
1350	1385
1500	1540
1800	1850

Las tuberías de PVC se fijarán a la tubería existente por medio de tacos de madera con longitud máxima de 15cm, los cuales se dispondrán al inicio, en las uniones y al final de la alcantarilla para dar uniformidad al relleno de concreto fluido, en ángulo de 90 grados, con un mínimo de ocho (8) tacos en cada sección.

Se instalarán en tramos no mayores a 12m, verificando la pendiente de instalación la cual será en promedio del 1%.

### **2.2.10. Condiciones de Trazado**

La vía se trazará con base en líneas tangentes y líneas curvas circulares, conectadas entre sí por medio de curvas de transición parabólicas de tercer grado.

#### **2.2.10.1. Tipos de Líneas.**

La vía rehabilitada se colocará básicamente para seguir y dar continuidad a la vía actual en la misma zona de la plataforma, como la línea principal y los cruces en vías de las estaciones, apartaderos y triángulos de inversión para vehículos férreos, seguirán las ubicaciones actuales.

#### **2.2.10.2. Caracterización Geométrica.**

**Ancho de la vía:** Es la distancia entre los bordes interiores de los rieles, medida 14 mm por debajo de la superficie de rodamiento. Su valor normal es de 914 mm, inclusive en los tramos curvos que tengan un radio mayor de 125 m. La trocha de la vía es determinada en relación con la distancia entre las pestañas de las ruedas de los ejes y se tenga:

- ✓ Un juego mínimo de dichos ejes dentro de la vía en recta, para evitar movimientos de lazo demasiado importantes.
- ✓ Un juego adecuado de dichos ejes en las curvas de menor radio, de manera que permita la inscripción de los truques más largos sin esfuerzos dentro de la vía.
- ✓ Con el transcurso del tiempo la trocha de la vía se modifica, generalmente tiende a aumentar. Esta modificación tiene por origen varios factores, de los cuales los principales son:
  - \* Movimiento de lazo de los truques.
  - \* Insuficiencia de peralte en curvas para los trenes rápidos, esto provoca el desplazamiento del riel superior hacia el exterior, en vías montadas en traviesas de madera con fijación rígida y modificación de la inclinación del riel.
  - \* Exceso de peralte en curvas para trenes lentos, lo que provoca el desplazamiento del riel interior hacia el interior de la curva y la modificación de la inclinación del riel.

Dicha modificación de la trocha tiene dos consecuencias principales:

- ✓ Como las variaciones son irregulares se producen defectos de alineación que no se pueden corregir totalmente o por lo menos aparecen siempre en la fila no alineada.
- ✓ En curvas el sobreancho aumenta el ángulo de ataque de los truques, lo que produce un aumento de los esfuerzos transversales con las consecuencias siguientes:
  - \* Aumento del desgaste lateral de los rieles exteriores.
  - \* Aumento de los defectos de trocha con la destrucción sistemática de las fijaciones y en el límite, descarrilamientos por sobreancho exagerado.

**Valores Básicos con Relación a la Trocha:** De acuerdo con las dimensiones y los juegos de los ejes del material rodante que hay actualmente en la Red Ferroviaria Bogotá-Belencito, se han determinado los siguientes valores de sobreancho y trocha en relación con el radio de las curvas.

Radio (m)	Sobreancho (mm)	Trocha (mm)
$R > 125$	0	914
$80 < R \leq 125$	15	929
$R \leq 80$	25	939

**Transiciones de Trocha:** En la colocación de vías nuevas se deben hacer transiciones de trocha de 1 mm por traviesa. La transición debe quedar así:

- ✓ Transición de trocha entre recta y curva (Recta de longitud mayor de 100m).
- ✓ Transición de trocha entre dos curvas de radios diferentes (curvas compuestas).
- ✓ Si la trocha es diferente entre las dos curvas, hacer una transición empezando a la salida de la curva de menor radio hacia la curva de mayor radio.
- ✓ Transición de trocha entre dos curvas separadas por una recta menor a 100 m. La recta debe tener el mismo ancho teórico que la curva de radio mayor. Si las dos curvas tienen el mismo ancho, la recta tendrá el mismo ancho de las curvas.

**Desnivel relativo de los rieles:** variación del nivel de un riel en un tramo de un metro con relación al otro riel. En las curvas de transición se asumirán los valores especificados en los planos de Planta/Perfil. Para curvas circulares y tramos tangentes será igual a cero.

**Flecha:** Es la medida de la distancia entre la cara de guiado y el punto medio de una cuerda trazada entre dos puntos de la misma cara de guiado. Normalmente, la longitud de la cuerda es de 20 m.

En tramos tangentes será igual a cero; en tramos de transición variará en forma lineal entre sus valores extremos y en los tramos circulares será constante. Ver Figura 25.

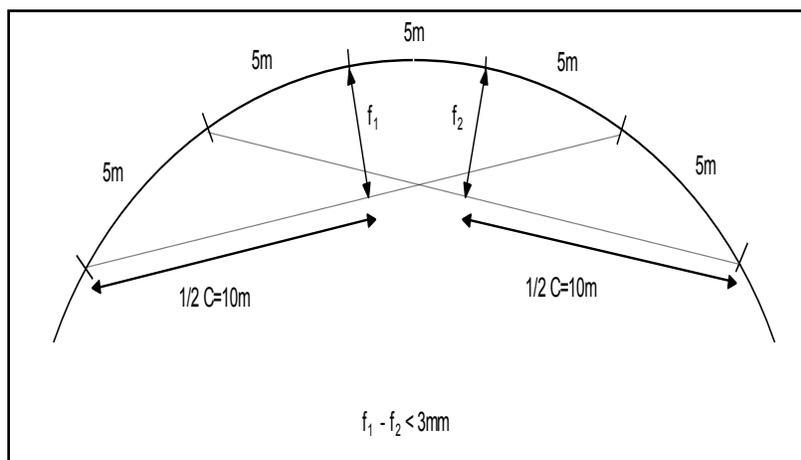


Figura 25. Medición de las flechas  
Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura-ANI. Año 2015.

Nivel longitudinal: Regularidad del nivel del riel.

- ✓ Espaciamiento de las traviesas: Distancia entre los ejes centrales de dos traviesas adyacentes. Será igual a 60 centímetros en vías de circulación de las líneas principales y secundarias.
- ✓ En los tableros de los puentes, la distancia entre ejes de traviesas será de 50 cm.

Antes de poner en servicio la vía y después de la operación de compactación, se hará un control de nivelación, alineación y perfilado del balasto.

Se alistarán las plantillas necesarias y calibradores de precisión adecuados para el chequeo de las características geométricas, ver Tabla 16.

Tabla 16. Características principales de la Vía Férrea Bogotá-Belencito

ELEMENTOS DE DISEÑO	VALORES
Tren de Cargas	COOPER E-40
Carga por eje	18.2 TON. 178 KN
Trocha	914 mm
Radio Mínimo	75 m
Pendiente Máxima	2.8 %
Peralte Máximo	90 mm
Riel	ARA-A-90 y ASCE-7540
Espaciamiento traviesas	60 cm y 50 cm en puentes
Espesor Balasto	10 a 15 cm
Inclinación de los rieles	1:20

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura-ANI. Año 2015.

### 2.3 Caracterización Superestructura

Para establecer las condiciones actuales de la línea férrea se efectuó una inspección detallada a todo lo largo de esta, realizando conteos y mediciones manuales cada kilómetro, para verificar las condiciones que conforman los elementos de la superestructura férrea actual, encontrándose que una muy buena parte de estos elementos son reutilizables en la rehabilitación de la línea.

La superestructura férrea estará compuesta básicamente por los siguientes elementos: Balasto triturado, Traviesas de concreto preesforzado, Traviesas de madera y Rieles.

### 2.3.1. Clasificación y caracterización del sub suelo

Para determinar el perfil del subsuelo y las características geomecánicas de la subrasante de la línea férrea, se llevó a cabo un programa de investigación del subsuelo consistente en la exploración por medio de apiques, toma de muestras, ejecución de ensayos de campo y laboratorio, cálculo y procesamiento de los resultados.

Se programó un apique cada kilómetro sobre el eje de la vía con profundidades variables entre 1.0 y 2.5 metros.

En cada uno de los apiques se tomó un registro en campo con la descripción en sitio de los materiales observados; se midieron los espesores de las capas de balasto y subbalasto y plataforma y se tomaron muestras de cada una de estas.

Con el fin de obtener mayor información sobre las características de soporte de la subrasante, se realizaron pruebas de Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) ya que, por tratarse de una prueba de fácil ejecución, se puede obtener mayor cubrimiento del corredor estudiado con un mayor rendimiento.

En la Tabla que se presenta a continuación, se indica el número de apiques realizados en el Tramo Bogotá-Belencito. (Exploración del subsuelo).

Tabla 17. Exploración del Subsuelo

<b>RED: BOGOTÁ-BELENCITO</b>	<b>No. Apiques</b>
K5 – La Caro	29
La Caro – Sesquilé	37
Sesquilé – Villapinzón	34
Villapinzón – Ventaquemada	30
Ventaquemada –Puente Boyacá	26
Puente Boyacá – Tunja	22
Tunja – Tuta	22
Tuta – Paipa	18
Paipa – Duitama	13
Duitama – Belencito	22

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura-ANI. Año 2015.

En cada uno de los apiques se tomó un registro en campo con la descripción en sitio de los materiales observados; se midieron los espesores de las capas de balasto y subbalasto y plataforma y se tomaron muestras de cada una de estas.

Para obtener mayor información sobre las características de soporte de la subrasante, se realizaron pruebas de Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) pues es una prueba de

fácil ejecución y se puede obtener mayor cubrimiento del corredor estudiado con un mayor rendimiento.

### **2.3.1.1. Características Geotécnicas de los Suelos.**

Se definieron en cada tramo del proyecto zonas de características similares desde los puntos de vista geomorfológico y geotécnico. Se tuvo en cuenta el predominio de sectores con topografía ondulada, plana o baja y se comparó esta sectorización con la variación en los Indicadores de Comportamiento y tipos de suelo.

Se establecieron las siguientes características de los suelos que conforman a subrasante del tramo en estudio:

**Tramo: Bogotá-Belencito:** La línea férrea transcurre inicialmente por la Sabana de Bogotá y por lo tanto las subrasantes están constituidas por suelos de origen fluvio-lacustre, arcillas y limos de alta plasticidad, con contenidos de humedad altos, con alto potencial de cambio volumétrico con los cambios de humedad.

A partir de la zona de Suesca, la línea va paralela y muy cercana al cauce del río Bogotá, donde la topografía es más ondulada y la subrasante está conformada por suelos residuales o coluviales provenientes de las areniscas Guadalupe y Guaduas.

Hasta Tunja, la morfología es similar, lo que genera que la vía se encuentre en zonas de corte con subrasantes en suelos residuales o rocas meteorizadas y en zonas de valles en donde la altura de los terraplenes es considerable. A partir de Tunja hasta Belencito, la topografía es plana o suavemente ondulada, con suelos de poco espesor, que han favorecido la erosión.

**Valoración de la Subrasante:** La subrasante de la línea férrea, está conformada por suelos naturales en los tramos de corte o por plataforma en las zonas de relleno.

Los suelos naturales, presentan diversas características de clasificación y resistencia; la capacidad de soporte de los suelos naturales es variable, aparecen suelos de baja resistencia que requieren de algún tratamiento especial y en otros sectores la capacidad de soporte es alta.

Los materiales de plataforma, son de buenas características, en general similares al subbalasto. La caracterización de la subrasante a lo largo de la línea férrea, se realizó a partir de los CBR en cada punto de exploración.

Con la realización de este ensayo se buscó tener un mayor cubrimiento a lo largo de la vía, aprovechando que se trata de un método de rápida ejecución.

Se definieron en el proyecto zonas de características similares desde el punto de vista geotécnico. Se tuvo en cuenta el predominio de sectores con topografía ondulada, plana o baja y se comparó esta sectorización con la variación en los Indicadores de Comportamiento y tipos de suelo.

Tabla 18. Sectores Homogéneos Tramo Bogotá – Belencito

TRAMO	ABSCISA		DESCRIPCIÓN SUBRASANTE
	INICIAL	FINAL	
Bogotá – La Caro	K5+000	K34+180	Zona urbana de Bogotá, predominan los suelos fluvio-lacustres, arcillas y limos compresibles, de consistencia media a blanda.
La Caro – Suesca	K34+180	K69+000	Zona semi-ondulada, paralela al valle río Bogotá, suelos de origen aluvial, arenas finas, arcillas y limos de baja plasticidad y consistencia media.
Suesca – Villapinzón	K69+000	K105+000	Zona ondulada, paralela al valle río Bogotá en su parte más estrecha; aparecen suelos originados formación Tilatá, gravas, arenas y suelos finos.
Villapinzón–Ventaquemada	K105+000	K135+000	Zona ondulada, hace parte de una terraza alta y suelos de las formaciones Tilatá y Cacho y algunos suelos coluviales; predominan las gravas y arenas.
Ventaquemada – Tunja	K135+000	K184+000	Zona de pendientes más pronunciadas, con suelos de origen fluvio - glacial. La capa orgánica presenta un espesor considerable hasta el Alto del Moral. Son suelos limosos, compresibles, de consistencia media.
Tunja – Duitama	K184+000	K238+000	Zona de pendientes suaves y planas, con presencia erosión. Son suelos residuales, arenas arcillosas o arcillas de baja plasticidad, de consistencia media.
Duitama – Belencito	K238+000	K262+000	La línea transcurre por un valle plano originado por el río Sogamoso, conformado por limos y arcillas de baja plasticidad, de consistencia media.

Fuente: Elaboración Propia. Información Tomada de Informe ANI, 2015.

### 2.3.1.2. Ensayos de Laboratorio

Se elaboró un programa de ensayos con el fin de caracterizar los materiales encontrados durante la exploración. Se definieron en cada tramo, zonas de características similares desde los puntos de vista geomorfológico y geotécnico. Se tuvo en cuenta el predominio de sectores con topografía ondulada, plana o baja y se comparó esta sectorización con la variación en los Indicadores de Comportamiento y tipos de suelo. Se establecieron las siguientes características de los suelos que conforman la subrasante.

**En el tramo Bogotá-Belencito:** La línea férrea discurre inicialmente por la Sabana de Bogotá y por lo tanto las subrasantes están constituidas por suelos de origen fluvio - lacustre, arcillas y limos de alta plasticidad, con contenidos de humedad altos, con alto potencial de cambio volumétrico con los cambios de humedad.

A partir de la zona de Suesca, la línea va paralela y muy cercana al cauce del río Bogotá, donde la topografía es más ondulada y la subrasante está conformada por suelos residuales o coluviales provenientes de las areniscas de Guadalupe y Guaduas.

Hasta Tunja, la morfología es similar, esto genera que la vía se encuentre en zonas de corte con subrasantes en suelos residuales o rocas meteorizadas y en zonas de valles en donde la altura de los terraplenes es considerable. A partir de Tunja hasta Belencito, la topografía es plana o suavemente ondulada, con suelos de poco espesor, que han favorecido la erosión.

**CBR:** La metodología que se siguió, para obtener un valor de CBR de diseño para cada sector de la vía, se describe a continuación:

- ✓ Determinación de sitios representativos del proyecto para la toma de muestras sobre las que se realizaron los ensayos de CBR de laboratorio. Para esto se tuvieron en cuenta aspectos, tales como, el origen del suelo de acuerdo con la litología, la localización y longitud de los tramos.
- ✓ Ejecución de pruebas de Penetración Dinámico con Cono (PDC). Se realizaron en los mismos apiques y en los mismos sitios en donde se tomaron las muestras para CBR de laboratorio, con el fin de obtener una mejor correlación.
- ✓ Ejecución en el laboratorio de ensayos de CBR sobre muestras compactadas, variando el método de ejecución de acuerdo con el tipo de suelo (Método I y II) y sobre muestras inalteradas tomadas por hincado de los moldes en el sitio.
- ✓ Determinación del PDC. Para cada una de las pruebas de PDC, se determinó la pendiente de la curva penetración vs golpes acumulados y se obtuvo el valor de penetración en mm/golpe.
- ✓ Correlación de los resultados. Se analizarán las correlaciones existentes entre PDC y CBR, junto con las parejas de datos de CBR (obtenidos por los Métodos I, II e inalterado) y PDC (expresado en mm/golpe), correspondientes al mismo sitio. Se seleccionó el modelo matemático más aplicable al caso.
- ✓ Definición del CBR del lugar. Los resultados de la prueba de PDC realizada en cada apique, se calcularon los valores del CBR.

Se empleó la ecuación que se ajusta para determinar el CBR en cada punto:

$$CBR (\%) = 268.29 \times PDC^{-1.1507}$$

PDC: mm/golpe

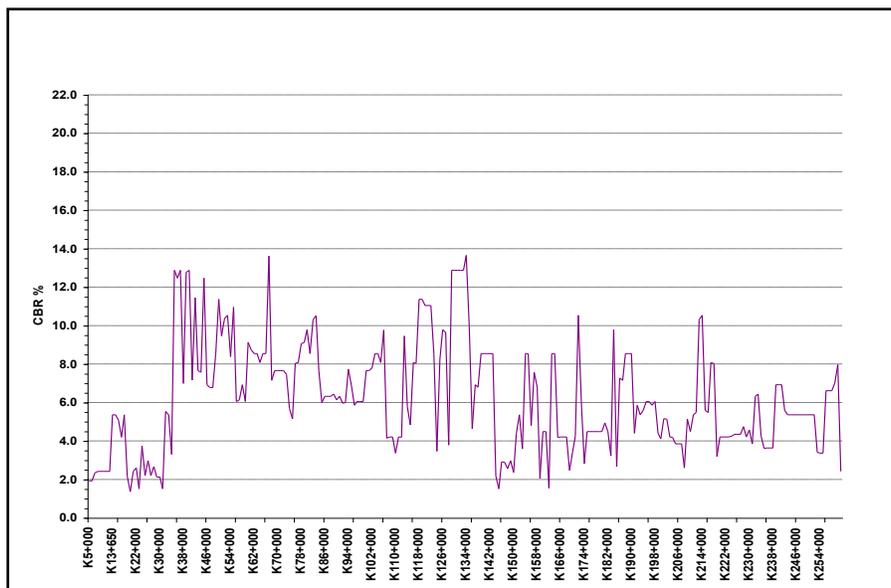


Gráfico 2. Variación del CBR en el tramo Bogotá – Belencito  
Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura-ANI. Año 2015.

### 2.3.2. Caracterización Balasto y Sub balasto Tramo Bogotá – Belencito

Como resultado de la investigación del subsuelo, se obtuvo una caracterización del balasto y subbalasto existente, en cuanto a espesores y calidad de los materiales que lo conforman.

**Balasto:** La sección de balasto encontrada en la vía es muy variable siendo en general escaso y en su generalidad contaminado con otros materiales de menor gradación. También se encuentra balasto con espesores superiores a 50 cm en sitios donde se quería restablecer el nivel del riel por asentamientos de diferente origen. Este balasto, se saneará mediante tamizado para la eliminación de finos y otros contaminantes, y completando como mínimo hasta el 0.8 m<sup>3</sup>/m mediante riego de balasto de nueva aportación.

Los espesores de balasto varían entre 25 y 40 cm. Este tramo se caracteriza por tener altos espesores de balasto ya que transcurre en gran parte sobre suelos compresibles, que ocasionan hundimientos los cuales se han nivelado aumentando el espesor de balasto.

Se analizó la gradación de los materiales de balasto, estableciendo el rango en el que se encuentra la mayor parte de los datos y se comparó con las diferentes normas, concluyendo que a la que mejor se ajusta es a la Norma AREMA, gradación 25. Se trata de una gradación gruesa, con tamaño máximo de 3" y mínimo de tamiz No. 4.

El balasto debe obtenerse mediante triturado mecánico de roca o de material aluvial, el cual debe ajustarse a la gradación, que se muestra a continuación en la tabla de Gradación del Balasto. (Ver Tabla 19 y Gráfico 3.).

Tabla 19. Gradación del Balasto

MALLA (mm)	% QUE PASA	
	AREMA -24	AREMA – 3
76.2 (3")	100	
63,5 (2.5")	90 – 100	100
50,0 (2,0")		95 – 100
38,0 (1,5")	25 – 60	35 – 70
25,0 (1.0")		0 – 15
19.05 (0.75")	0 – 10	
12,7 mm (0,5")	0 – 5	0 – 5

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura-ANI. Año 2015.

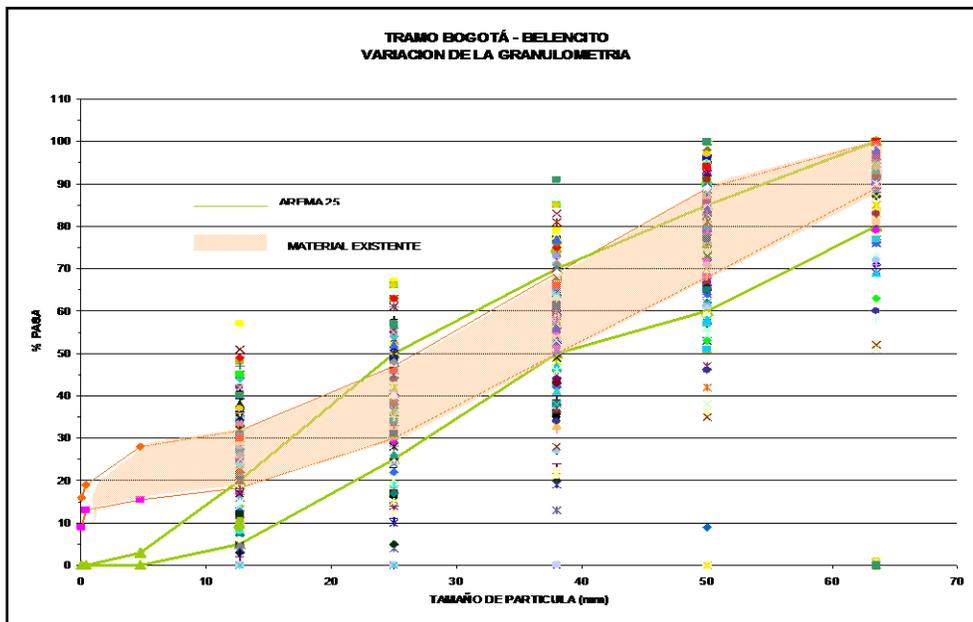


Gráfico 3. Variación de la granulometría del balasto para el tramo Bogotá – Belencito  
Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura-ANI. Año 2015.

- ✓ La resistencia última tomada como el promedio para cuatro núcleos fallados a compresión, debe ser mayor o igual a 600 kg/cm<sup>2</sup>.
- ✓ La pérdida por sanidad de las partículas frente a la acción de los sulfatos no debe ser mayor que 10%.
- ✓ El porcentaje de partículas alargadas y aplanadas no debe ser mayor del 35%.
- ✓ El 95% de partículas deben tener una cara fracturada y el 75% más de dos caras fracturadas.

#### Desgaste en la máquina de Los Angeles:

- ✓ El desgaste, debe ser menor que 25%.
- ✓ Los materiales presentan un desgaste entre de 20% y 35%.
- ✓ La solidez es menor del 10%, luego cumplen con la norma.
- ✓ En cuanto a Índices de Alargamiento y Aplanamiento, el 60% de los materiales ensayados cumplen con la norma de este parámetro.
- ✓ Existe un porcentaje importante de partículas alargadas. El 90% de los materiales cumple con el porcentaje de caras fracturadas que da la norma AREMA.

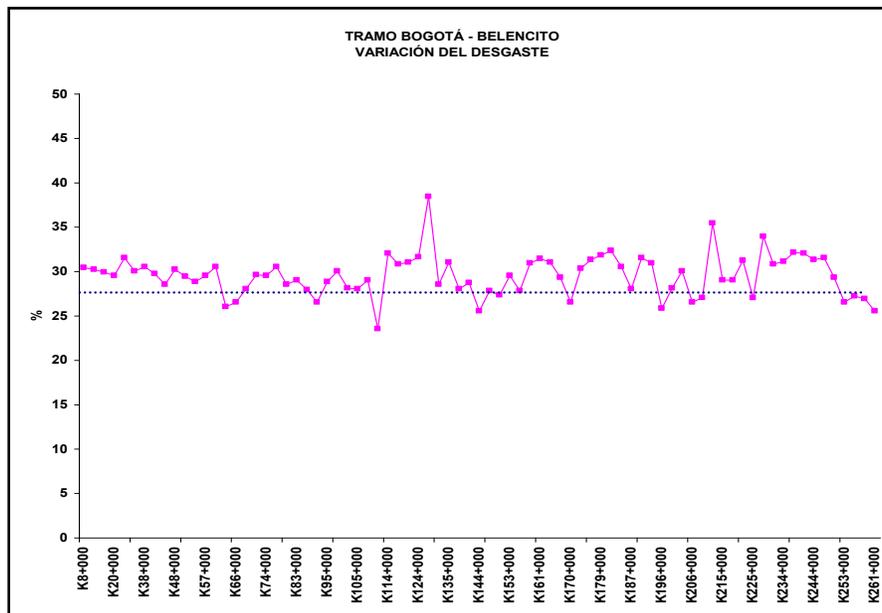


Gráfico 4. Variación del Desgaste en el Tramo Bogotá – Belencito  
Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura-ANI. Año 2015.

En el tramo Bogotá–Belencito, se detectaron varios sitios con algún tipo de afectación o inestabilidad que pueden afectar la estabilidad de la vía. En general, se presentan taludes en roca erosionada con caídas de detritos o flujos de tierra; hundimientos de la banca en zonas de terraplenes mal construidos o colocados sobre subrasantes blandas. Los procesos más comunes son los erosivos en la banca en donde se han formado cárcavas muy cercanas.

### Capas Granulares de la Superestructura tramo Bogotá – Belencito

Teniendo en cuenta las características de la estructura estudiada, se propone aprovechar el material existente, depurándolo de materiales finos, materia vegetal y otros elementos. El material saneado se colocará de nuevo conformando una capa de mínimo 15 cm por debajo de la parte inferior de la traviesa. En los sitios en donde al sanear el balasto se disminuya bastante el volumen, se adicionará el material necesario para obtener este espesor, y este deberá cumplir con las especificaciones de construcción para balasto. Se requiere el siguiente aporte de balasto:

K5+000 al K74+000 (Suesca):                    0.4 m<sup>3</sup>/ml  
K74+000 al K261+025 (Belencito): 0.3 m<sup>3</sup>/ml

**Subbalasto:** El suministro y colocación de material de sub-base o sub-balasto sobre el afirmado existente en las vías cuya rehabilitación se defina dentro del alcance de las obras, en una o varias capas y se extenderá a las bermas o sub-bermas.

La sub-base granular se requiere para rehabilitación de vías que cruzan la línea férrea. Los espesores de subbalasto varían entre 25 y 65 cm, con algunas excepciones en

donde se encuentra hasta 150 cm de espesor y en otros tramos en donde no aparece esta capa y el balasto de espesor considerable se encuentra directamente sobre la subrasante de consistencia blanda.

El material cumple en general con el contenido de finos y la plasticidad de los mismos; aunque en algunos sectores se encuentra contaminado por finos provenientes de la subrasante. El desgaste se encuentra entre el 30% y el 45% en casi todas las muestras representativas ensayadas.

El agregado para la capa de subbalasto debe estar constituido por grava o triturado y arena compuestos por elementos limpios, duros y durables de forma poliédrica y con bordes agudos y debe cumplir con los siguientes requisitos:

- ✓ Resistencia a la abrasión < 40%
- ✓ Índice de plasticidad: 9 máximo
- ✓ Gradación:

Tabla 20. Gradación del subbalasto

TAMIZ No.	% PASA ± 12%
1"	100
¾"	97.5
½"	72.0
3/8"	43.4
¼"	29.2
No. 4	9.8
No. 8	2.0
No. 16	0.1
Fondo	

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura-ANI. Año 2015.

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material deberá dar lugar a una curva granulométrica uniforme y sensiblemente paralela a los límites de la franja, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior de un tamiz adyacente y viceversa.

Los materiales de sub-base o sub-balasto incorporados en la obra deben ser pétreos o granulares y de características uniformes, libres de terrones de arcilla, materia orgánica u otros elementos objetables.

**Geomalla:** La geomalla debe colocarse dentro de la capa de subbalasto, ya que los fragmentos del balasto pueden dañarla o quedar al descubierto. En la Figura 26, se muestra un esquema de sección transversal indicando la instalación de la geomalla.

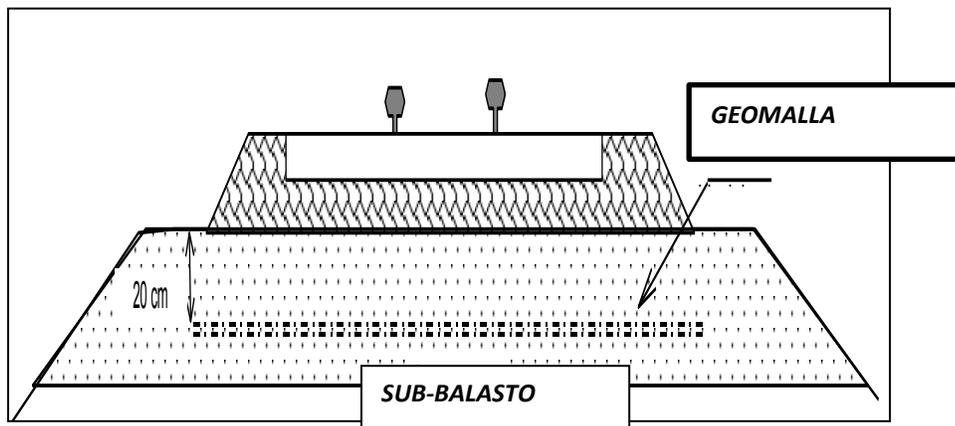


Figura 26. Instalación de la geomalla

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura-ANI. Año 2015.

La estructura final en estos sitios será la siguiente:

Balasto = 15 cm

Subbalasto = 20 cm

Geomalla = Material seleccionado = 10 cm mínimo

Los sitios geotécnicamente inestables de la vía férrea son aquellos en los cuales se presentan problemas relacionados con los suelos o rocas que forman la banca de vía o sus áreas aledañas, de tal magnitud, que afectan de manera grave el normal funcionamiento de la línea férrea.

En el tramo Bogotá – Belencito, se revisaron los puentes existentes y no se presentaron casos de nuevas cimentaciones de estribos o apoyos, o casos de socavación. Algunos casos estaban asociados al manejo de aguas.

### 2.3.3. Traviesas de Madera

Se encontró un bajo porcentaje de traviesas en buenas condiciones, el resto se encuentra en malas condiciones, lo que ocasionó problemas de alineación y desnivel relativo de la vía férrea con su respectiva incidencia en velocidad y seguridad cuando circulaban trenes.

Las especies de madera utilizadas en estos tramos para las traviesas son de origen local (Colombia o de otros Países limítrofes) por lo general no han sido sometidas a procesos de inmunización.

El mayor defecto de las traviesas se debe, no tanto a la falta de tratamiento de inmunización (que para algunas especies de madera no es necesario), sino la vasta gama de maderas aceptadas en los últimos años por los Ferrocarriles locales. La extinción reciente de las especies más utilizadas y su consiguiente aumento de precio, hizo que los proveedores propusieran otras especies de madera menos resistentes, pero aceptables.

Las traviesas deberán ser producto de árboles vivos, sanos y maduros, sin corteza, con fibras duras y compactas, acabado con sierra y con su eje longitudinal paralelo en el



### 2.3.4. Traviesas de Concreto

Las traviesas de concreto, arrojan un total de 10.200 unidades aproximadamente, una parte están fracturadas por falta de uniformidad en plano de apoyo, descarrilamiento por falta de algunos elementos de fijación, debido a la falta de mantenimiento de la vía y el diseño de las traviesas existentes no es el óptimo.

Sus dimensiones tienen una longitud de 180 cm, y un ancho en la base de 20 cm. Estas dimensiones implican una superficie de apoyo sobre el balasto un tanto escasa aunque las traviesas trabajan en mejores condiciones de soporte y nivelación tienen un aceptable comportamiento.

Un bajo porcentaje de estas traviesas, están todavía en buenas condiciones para ser reutilizadas y se deben separar de las dañadas para utilizarlas en los trabajos de recuperación.

Las traviesas actuales en C.R.P. están provistas de elementos de fijación de tipo “*fix and forget*”, exclusivamente DENEK.

Las traviesas nuevas para la rehabilitación de los tramos son diferentes a las dañadas, pues su área de apoyo es suficiente para soportar el peso por eje actual que tienen los trenes. Las traviesas de concreto en el 100% de la longitud de los tramos, tienen pendientes menores de 2.5% (Se descuentan los singulares, tramos metálicos, aproximaciones, cambiavías).

Según la norma AREMA, el mínimo espesor se determina con la siguiente fórmula:

$$P_c = \frac{16.8 \cdot P_m}{h^{1.25}}$$

Donde:

$P_c$  = Intensidad máxima de presión en subbalasto (25 Psi)

$P_m$  = Intensidad de presión de balasto (Psi) / Valor máximo recomendado de presión sobre el balasto será de 60 Psi.

$h$  = espesor de balasto bajo durmiente (pulgadas)

Según la Norma AREMA, también pueden emplearse otras formulaciones, como la Fórmula de los Ferrocarriles Nacionales Japoneses:

$$P_c = \frac{50 \cdot P_m}{10 + h^{1.25}}$$

Donde:

$h$  = espesor de balasto en cm.

En la Tabla 21, se relacionan algunos parámetros para el diseño, fabricación, colocación y uso de las traviesas de concreto pretensado tipo monobloque apropiadas para el proyecto.

Tabla 21. Especificaciones funcionales para las traviesas de concreto pretensado

CARACTERÍSTICAS	VALORES
DIMENSIONES:	
- Longitud Mínima.	1.90 m
- Longitud Máxima.	1.95 m
- Ancho de la Superficie de la Base	0.22 a 0.28 m
- Ancho Máximo.	0.28 m
- Altura Máxima.	0.23
- Altura Mínima.	0.18
- Altura Mínima en el Asiento del Riel	0.21
PESO MÍNIMO:	
- Sin Incluir Elementos de Fijación.	2,16 KN 200 KG
- Espaciamiento.	0.60 m

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura-ANI. Año 2015.

### 2.3.5. Cálculo de comprobación estructural para la Locomotora Cooper E-40

Los elementos de fijación (traviesa-estructura) para evitar el desplazamiento longitudinal lo constituyen elementos metálicos en “L” soldados a la viga longitudinal del puente, los desplazamientos laterales son contrarrestados haciendo una muesca de profundidad de 2.00 cm en la traviesa, que se encaja en la viga del puente y los movimientos verticales son restringidos únicamente por el peso del riel.

Las traviesas no están colocadas uniformemente, algunas están apoyadas sobre su cara de 20 cm y otras sobre la cara de 25 cm. Las dimensiones de estas traviesas son adecuadas para la función que deben realizar.

La comprobación estructural se plantea como una comparación de solicitaciones de la estructura para las cargas totales (carga viva más carga muerta), en donde la carga viva de diseño se supone corresponde a la locomotora COOPER E – 30 y la carga de comprobación a la locomotora COOPER E- 40.

Las especificaciones en estribos para carga total resultan muy similares debido a dos razones:

- a. El impacto por carga viva para la Cooper E – 30 (locomotora de carbón) es mayor que el de la locomotora Cooper E – 40 (locomotora Diesel) el efecto por diferencia de locomotoras se reduce.
- b. La carga viva en estribos es menos representativa que la carga muerta, teniendo en cuenta el peso del concreto y del relleno de los mismos.

De acuerdo a las razones anteriores, se puede establecer en forma general que la diferencia de esfuerzos sólo alcanza un 10%, porcentaje que para factores de seguridad de 3, habituales en los diseños originales de este tipo de estructuras, no representa una disminución considerable, por lo que la infraestructura existente es confiable, cuando se hayan efectuado las reparaciones en los elementos que lo requieren.

Mediante los datos obtenidos en campo (longitud, secciones transversales, etc.), se calcularon las cargas permanentes y las propiedades estructurales de la sección transversal de cada uno de los elementos a comprobar con carga viva equivalente a la locomotora Cooper E – 40.

El cálculo estructural comprobatorio consta de dos partes:

- ✓ Análisis estructural, en el que se empleó el programa de computador SAP y su módulo de puentes.
- ✓ Diseño, para el cual se utilizó una hoja electrónica en la que se incluye todas las ecuaciones de cálculo establecidas en el código de diseño AREMA.

Tabla 22. Relación puentes Superestructura

Nombre puente	Abscisa Campo (Km)	Abscisa Diseño (Km)	No. de Luces	Longitud luz (mts)	Longitud puente (mts)	Sección vigas principales	Carga Viva COOPER	Peso Estructura (Ton)
BUENOS AIRES	36+661	36+748,12	1	4,00	4,00	Alma Llana	E - 40	1,2
	39+373	39+464,95	1	5,10	5,10	Alma Llana	E - 40	1,6
	44+072	44+564,18	1	7,00	7,00	Alma Llana	E - 40	3,0
	69+700	69+767,33	2	4,26	8,44	Alma Llana	E - 40	2,3
				4,18				
	70+079	70+195,31	2	6,04	12,07	Alma Llana	E - 40	5,2
				6,04				
	73+060	73+179,00	1	4,00	4,00	Alma Llana	E - 40	1,2
	84+171	84+312,00	1	21,20	21,20	Celosía	E - 40	29,3
86+554	86+698,00	1	10,75	10,75	Alma Llana	E - 40	10,1	
EL TEJAR								
	93+600	93+801,00	1	7,00	7,00	Alma Llana	E - 40	3,0
	101+103	101+254,00	2	5,00	10,00	Alma Llana	E - 40	3,2
	106+667	106+806,50	1	5,00	5,00	Alma Llana	E - 40	0,9
	107+426	107+569,50	1	5,00	5,00	Alma Llana	E - 40	0,9
	108+021	108+174,00	1	5,00	5,00	Alma Llana	E - 40	0,9
	108+707	108+760,00	1	5,00	5,00	Alma Llana	E - 40	0,9
	121+710	121+845,95	1	7,00	7,00	Alma Llana	E - 40	1,0
	130+086	130+183,00	1	28,00	28,00	Mampostería	E - 40	
	130+286	130+393,00	2	13,50	27,09	Mampostería	E - 40	
				13,59				
155+647	155+843,00	4	9,40	53,35	Mampostería	E - 40		
			23,26					

ALBARRACIN				10,47				
				10,22				
	164+360	164+288,00	1	25,10	25,10	Mampostería	E - 40	
	184+534	184+628,00	1	5,00	5,00	Alma Llena	E - 40	1,7
	209+282	208+947,00	1	10,75	10,75	Alma Llena	E - 40	1,7
	214+542	214+526,00	1	10,80	10,80	Alma Llena	E - 40	6,2
	223+486	223+444,00	1	5,00	5,00	Alma Llena	E - 40	1,8
	225+920	225+885,00	1	5,00	5,00	Alma Llena	E - 40	1,7
	226+587	226+548,00	1	5,00	5,00	Alma Llena	E - 40	1,4
	227+709	227+660,00	1	4,80	4,80	Alma Llena	E - 40	1,9
	228+918	228+886,00	1	5,00	5,00	Alma Llena	E - 40	1,7
	230+514	230+465,00	1	6,80	6,80	Alma Llena	E - 40	3,0
	231+452	231+403,00	1	5,00	5,00	Alma Llena	E - 40	1,4
	234+317	234+265,00	1	2,75	2,75	Alma Llena	E - 40	1,2
	236+070	236+020,00	1	4,90	4,90	Alma Llena	E - 40	2,0
	239+198	239+142,00	1	4,90	4,90	Alma Llena	E - 40	1,4
242+022	241+966,00	1	6,82	6,82	Alma Llena	E - 40	3,0	
RIO CHICAMOCHA	242+583	242+526,00	1	21,40	21,40	Celosía	E - 40	22,3
	244+753	244+745,00	2	4,43	8,86	Alma Llena	E - 40	2,8
	246+525	246+467,00	2	4,43	8,86	Alma Llena	E - 40	2,8
	246+613	246+575,00	1	4,00	4,00	Alma Llena	E - 40	1,4
	246+715	246+724,00	2	4,44	8,79	Alma Llena	E - 40	2,8
				4,35				
	251+970	251+666,00	1	8,20	8,20	Alma Llena	E - 40	4,3
	252+273	251+913,00	1	6,02	6,02	Alma Llena	E - 40	2,6
RIO CHIQUITO	253+471	253+441,00	1	10,77	10,77	Alma Llena	E - 40	12,5
	254+057	254+000,00	1	14,00	14,00	Alma Llena	E - 40	13,8
	255+304	255+246,00	3	4,90	14,40	Alma Llena	E - 40	7,9
				5,00				
				4,50				
	259+031	258+970,00	3	4,40	13,51	Alma Llena	E - 40	4,3
				4,81				
				4,31				
	261+685	261+653,00	2	5,01	10,04	Alma Llena	E - 40	3,4
				5,03		Alma Llena		
261+714	262+024,00	3	4,39	14,30	Alma Llena	E - 40	4,4	
			5,06					
			4,85					
EL BOYERO	262+086	262+024,00	2	16,48	32,96	Alma Llena	E - 40	29,6

Fuente: Elaboración Propia. Información tomada del Informe Final Agencia Nacional de Infraestructura-ANI, Marzo 2015.

**Tramo Bogotá – Belencito:** Para desarrollar la comprobación estructural, se dividieron los 47 puentes que existen en este tramo según sus características en 4 tipos a saber: Puentes DECK metálicos, Puentes de concreto reforzados con rieles, Puentes de

Concreto o Mampostería y Puentes Pony y/o Trough (celosía) metálicos. Las estructuras de los puentes en su totalidad se encuentran en buen estado, se realizaron cambios de traviesas y pintura. (Ver Tabla 23. Inventario de Puentes).

Tabla 23. Relación Puentes Bogotá-Belencito

ABSCISA	CAUCE	TIPO PUEBTE	LONGITUD (m)	ESTADO	No. TRAVIESAS TOTAL
k36+743		Deck	4,0	Bueno	8,0
k39+460		Deck	5,0	Bueno	10,0
k44+568	Río Teusake	Deck	7,0	Bueno	14,0
k69+813	Río Bogotá	Deck	8,0	Bueno	19
k70+194	Río Bogotá	Deck	12,0	Bueno	24
k73+173	Río Buenos Aires	Deck	4,0	Bueno	10
k84+308	Río Bogotá	Deck	21,0	Bueno	32
k86+687	Río Bogotá	Deck	11,0	Bueno	24
k93+789	Río Bogotá	Deck	8,0	Bueno	14
k101+254	Río Bogotá	Deck	11,0	Bueno	22
k106+739		Deck	4,5	Bueno	11
k107+606		Deck	5,0	Bueno	12
k108+200		Deck	6,0	Bueno	12
k108+785		Deck	5,0	Bueno	12
k121+845	Albarracín	Deck	7,0	Bueno	14
k130+174		Viaducto	74,0	Bueno	75
k130+393		Viaducto	49,0	Bueno	90
k155+833	Río Teatinos	Viaducto	60,0	Bueno	104
k164+292		Viaducto	50,0	Bueno	81
k184+675	Río Jordan	Deck	4,0	Bueno	12
k184+950	Río Jordan	Deck	12,0	Bueno	20
k209+261	Río Chicamocha	Deck	11,0	Bueno	18
k214+519		Deck	11,0	Bueno	19
k233+995	Quebrada	Deck	3,0	Bueno	6
k235+750	Quebrada	Deck	5,0	Bueno	8
k238+886	Quebrada	Deck	3,8	Bueno	7
k242+016	Quebrada	Deck	7,0	Bueno	11
k242+577	Río Chicamocha	Pony	21,5	Bueno	38
k244+794		Pontón	10,0	Bueno	15
k246+521	Quebrada	Pontón	10,0	Bueno	24
k246+628	Quebrada	Pontón	7,0	Bueno	7
k246+711	Quebrada	Pontón	10,0	Bueno	30
k246+778		Pontón	5,0	Bueno	18
k251+959	Río Sucio	Deck	8,0	Bueno	22

k254+637	Río Chiquito	Deck	11,0	Bueno	22
k254+638		Deck	14,0	Bueno	36
k255+292	Río Manquirá	Deck	15,0	Bueno	34
k259+026	Quebrada	Viga-riel	14,0	Bueno	39
k260+587	Quebrada	Viga-riel	3,0	Bueno	9
k261+166	Quebrada		17,0	Bueno	37
k262+047	Quebrada Boyso	Deck	33,0	Bueno	63

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). (2015). Información tomada de Informe Final. Comisión Verificación.

Tabla 24. Relación de Puentes Infraestructura

Nombre puente	Abscisa de Campo (Kms)	Abscisa de Diseño (Kms)	No. de Luces	Long. luz (Mts)	Long. puente (Mts)	Sección vigas principales	Carga Viva COOPER
BUENOS AIRES	36+661	36+748,12	1	4,00	4,00	Alma Llena	E - 40
	39+373	39+464,95	1	5,10	5,10	Alma Llena	E - 40
	44+072	44+564,18	1	7,00	7,00	Alma Llena	E - 40
	69+700	69+767,33	1	4,26	8,44	Alma Llena	E - 40
				4,18			
	70+079	70+195,31	2	6,04	12,07	Alma Llena	E - 40
				6,04			
	73+060	73+179,00	1	4,00	4,00	Alma Llena	E - 40
	84+171	84+312,00	1	21,20	21,20	Celosía	E - 40
	86+554	86+698,00	1	10,75	10,75	Alma Llena	E - 40
EL TEJAR	93+600	93+801,00	1	7,00	7,00	Alma Llena	E - 40
	101+103	101+254,00	2	5,00	10,00	Alma Llena	E - 40
				5,00			
	106+667	106+806,50	1	5,00	5,00	Alma Llena	E - 40
	107+426	107+569,50	1	5,00	5,00	Alma Llena	E - 40
	108+021	108+174,00	1	5,00	5,00	Alma Llena	E - 40
	108+707	108+760,00	1	5,00	5,00	Alma Llena	E - 40
ALBARRACIN	121+710	121+845,95	1	7,00	7,00	Alma Llena	E - 40
	130+086	130+183,00	1	28,00	28,00	Mampostería	E - 40
	130+286	130+393,00	2	13,50	27,09	Mampostería	E - 40
				13,59			
	155+647	155+843,00	4	9,40	53,35	Mampostería	E - 40
				23,26			
				10,47			
				10,22			
	164+360	164+288,00	1	25,10	25,10	Mampostería	E - 40
	184+534	184+628,00	1	5,00	5,00	Alma Llena	E - 40
	209+282	208+947,00	1	10,75	10,75	Alma Llena	E - 40
214+542	214+526,00	1	10,80	10,80	Alma Llena	E - 40	

	223+486	223+444,00	1	5,00	5,00	Alma Llena	E - 40
	225+920	225+885,00	1	5,00	5,00	Alma Llena	E - 40
	226+587	226+548,00	1	5,00	5,00	Alma Llena	E - 40
	227+709	227+660,00	1	4,80	4,80	Alma Llena	E - 40
	228+918	228+886,00	1	5,00	5,00	Alma Llena	E - 40
	230+514	230+465,00	1	6,80	6,80	Alma Llena	E - 40
	231+452	231+403,00	1	5,00	5,00	Alma Llena	E - 40
	234+317	234+265,00	1	2,75	2,75	Alma Llena	E - 40
	236+070	236+020,00	1	4,90	4,90	Alma Llena	E - 40
	239+198	239+142,00	1	4,90	4,90	Alma Llena	E - 40
	242+022	241+966,00	1	6,82	6,82	Alma Llena	E - 40
RIO CHICAMOCHA	242+583	242+526,00	1	21,40	21,40	Celosía	E - 40
	244+753	244+745,00	2	4,43	8,86	Alma Llena	E - 40
				4,43			
	246+525	246+467,00	2	4,43	8,86	Alma Llena	E - 40
				4,43			
	246+613	246+575,00	1	4,00	4,00	Alma Llena	E - 40
	246+715	246+724,00	2	4,44	8,79	Alma Llena	E - 40
				4,35			
251+970	251+666,00	1	8,20	8,20	Alma Llena	E - 40	
252+273	251+913,00	1	6,02	6,02	Alma Llena	E - 40	
RIO CHIQUITO	253+471	253+441,00	1	10,77	10,77	Alma Llena	E - 40
	254+057	254+000,00	1	14,00	14,00	Alma Llena	E - 40
	255+304	255+246,00	3	4,90	14,40	Alma Llena	E - 40
				5,00			
				4,50			
	259+031	258+970,00	3	4,40	13,51	Alma Llena	E - 40
				4,81			
				4,31			
	261+685	261+653,00	2	5,01	10,04	Alma Llena	E - 40
				5,03			
261+714	262+024,00	3	4,39	14,30	Alma Llena	E - 40	
			5,06				
			4,85				
EL BOYERO	262+086	262+024,00	1	16,48	32,96	Alma Llena	E - 40

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). (2015). Información tomada de Informe Final. Comisión Verificación.

**Cambivías:** se suministraron cambivías nuevos en la línea principal y en las estaciones. La especificación del cambivías es tg 1/12, 1/9, 1/8 según los casos definidos en diseño con un radio del desvío > 100 m, este tipo de cambivías deberá permitir una velocidad de desvío de 20 km/h aproximadamente y velocidad de libre paso de 50 km/h. La curvatura del tramo desviado inicia en las puntas de aguja y termina al final del corazón.

El primer tipo de cambiavías se utilizó para desvíos de la línea principal y el segundo para desvíos de líneas secundarias, terciarias, etc. y serán unos a la izquierda y otros a la derecha de la vía principal. Todos los materiales que conforman el cambiavía cumplen con las características técnicas exigidas por las normas AREMA.

### 2.3.6. Rieles

Teniendo en cuenta el incremento de los pesos axiales de las velocidades, se adoptó por el acero tipo A, según definición del código UIC 860/0 o similar que garantiza una larga vida de riel, permite una amortización más ventajosa de los costos de soldadura y permite en el tiempo realizar correcciones en plano de rodamiento del riel *In Situ*, en ralladuras o patinazos mediante esmerilado.

El riel es el elemento que mejor caracteriza y distingue al transporte ferroviario. Es un componente esencial de la superestructura ferroviaria y cualquier defecto sustancial en el mismo se puede traducir en un grave accidente o en una dificultad importante para la circulación. Es por lo tanto, imprescindible asegurar su calidad y su correcta conservación, lo que implica un análisis sistemático y continuo de sus defectos y desgastes. Adaptándose naturalmente a las nuevas exigencias del transporte moderno ferroviario, el riel o carril desde su origen ha tenido sus funciones esenciales:

- ✓ Transmisión de las cargas de las ruedas al resto de la superestructura.
- ✓ Guiado unidireccional de los trenes.
- ✓ Principio del rozamiento metal – metal.

Un carril se caracteriza por dos parámetros fundamentales: su perfil y su composición metalúrgica. Desde el punto de vista mecánico es esencial la inercia vertical, por lo que en la evolución del carril a lo largo del tiempo y como consecuencia de las exigencias de mayores cargas y velocidades por una parte se trata de aumentar su masa característica, la cual se mide por el peso en kg por metro lineal de su longitud y su esbeltez.

La evolución de los perfiles que se han venido utilizando, demuestra que la inercia vertical se incrementa más rápidamente que el peso por ml, al contrario de la inercia transversal. Por otra parte, al ser mayor el peso del carril, se reduce el costo de su conservación y se disminuyen las deformaciones al paso de los trenes, con economía en la tracción. El carril debe estar provisto para resistir un conjunto de esfuerzos, su longitud y composición metalúrgica, se presentan de las siguientes formas:

- ✓ Esfuerzos verticales y horizontales de carácter estático y dinámico aleatorio.
- ✓ Esfuerzos de arranque y frenado de los trenes.
- ✓ Esfuerzos que se producen por las variaciones de la temperatura, para los carriles antiguos soldados.
- ✓ Tensiones residuales del laminado y estirado, como consecuencia del proceso de fabricación.
- ✓ Esfuerzos debidos a la inscripción del material rodante en las curvas.
- ✓ Choques al paso de las ruedas por las juntas de los carriles, especialmente cuando aquellas presentan aplanamiento de su circunferencia, defecto conocido en términos ferroviarios como rueda aplanada.

- ✓ Esfuerzos por el contacto carril–rueda. Basados en los parámetros tonelaje bruto anual (5-10-15 millones de ton/Año); peso por eje (15 ton) y velocidad máxima (50.0 Km. /h), trenes de carga.

El riel que ofrece mayores garantías en cuanto a comportamiento y durabilidad es el de 45 Kg/m (ARA-A-90), la longitud mínima de las barras es de 24 m, lo que reduce deficiencias de alineación y nivel producido por las soldaduras con respecto a los rieles de 18 m o 12 m. Los rieles que puedan reutilizarse, ya sea porque no presentan defectos o que puedan corregirse mediante corte de sus extremos, se someterán a uno de los siguientes procesos alternativos:

- ✓ Soldadura “in situ” para formar barras largas (LBS) mediante equipo de soldadura eléctrica por arco o fusión.
- ✓ Soldadura en la vía, luego de puestos en obra, para formar largas barras de la misma longitud y con el mismo tipo de equipo del proceso anterior.
- ✓ Soldadura con el método aluminotérmico para formar barras largas de igual longitud de los procesos anteriores.

Para los casos en que se proyecten uniones convencionales (con eclisas) se perforarán los rieles en los extremos de las barras.

Los rieles fueron seleccionados con el fin de clasificarlos en reutilizables y no reutilizables. Se apilarán en capas separadas con tablas de madera para evitar el contacto entre rieles y entre éstos y el terreno. En la Figura 28, se aprecia la sección de un riel.

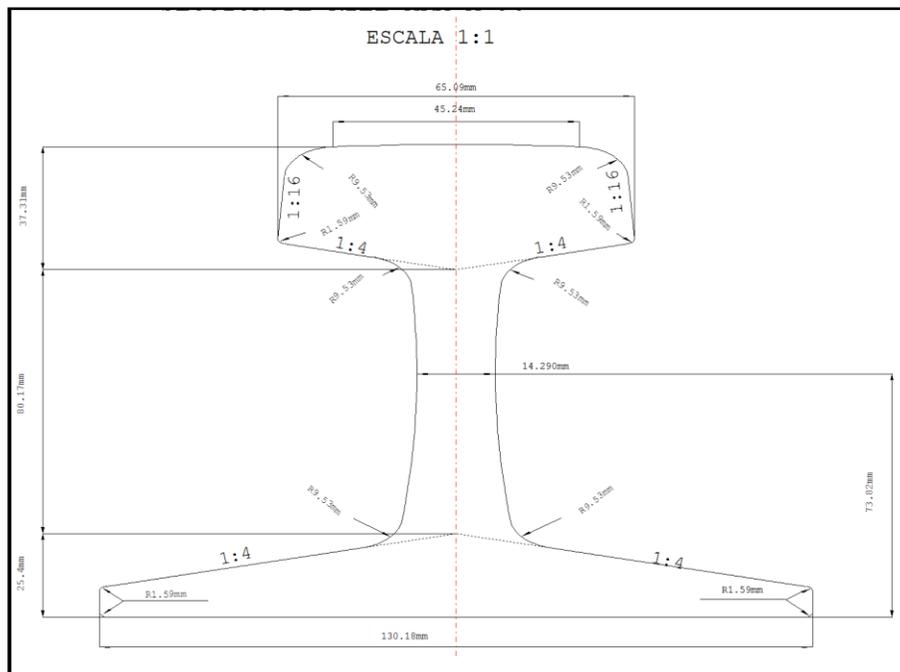


Figura 28. Sección de Riel ARA-A-90

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura-ANI. Informe Superestructuras. Año, 2015

**Peso y tipo de riel:** A efecto de determinar el calibre del riel requerido (peso por metro lineal), se asumirán los siguientes parámetros:

T = Tonelaje bruto anual : 15 x 106 Tons.  
Peso por eje actual : 15.0 Tons  
Peso por eje futuro : 18.2 Tons  
V = 50 km/h.

## **2.4. Aspectos Geotécnicos**

### **2.4.1. Análisis de Estabilidad Geotécnica**

Los análisis de estabilidad se realizan para una condicional bidimensional asumiendo un estado plano de deformaciones. Después de determinar el modelo topográfico existente, se adicionan las condiciones actuales y con las propiedades de los suelos presentes en el sitio de estudio, se procede a realizar el modelo geotécnico para así establecer las condiciones críticas.

Los modelos se corren para la sección longitudinal central del movimiento o sección crítica, donde los espesores son mayores, determinando el factor de seguridad (FS) para la superficie de falla más crítica. Los parámetros geotécnicos al igual que las condiciones y mecanismos de falla son ajustados en la revisión inicial de los modelos implementados y probados bajo la condición de falla que se presentó en el talud.

Se prevé que una de las medidas a implementar es el manejo de aguas superficial y subsuperficial y la construcción de obras de confinamiento.

Los Estudios Geotécnicos tienen como objetivo principal definir las características geomecánicas de los materiales que conforman la estructura de la línea férrea.

Como objetivos particulares se tiene, entre otros, definir la estructura final de la línea férrea, en cuanto a tipo y espesores de materiales, para los requerimientos de carga que tendrá en operación; realizar el diseño de las obras necesarias en puntos especiales que garanticen la estabilidad externa de la vía; definir las características de resistencia del terreno de fundación para estructuras nuevas, definir el plan de uso de las fuentes de materiales.

### **2.4.2. Caracterización Geológica y Geotécnica de la Red Bogotá-Belencito**

De acuerdo a los resultados de los ensayos realizados en las actividades de campo y laboratorio, se evalúan las propiedades básicas e Índice para establecer la estratigrafía del sitio y que son la base para la caracterización de los materiales de manera que se puedan asignar las propiedades de deformabilidad y resistencia para los diferentes estratos encontrados a partir de los resultados de los ensayos realizados para los materiales del sector y de esta manera, evaluar la respuesta que va tener el suelo y los materiales de la ladera, establecer los parámetros geotécnicos más representativos para el subsuelo en las condiciones del sitio y desarrollar el diseño de la medida correctiva para controlar los movimientos de los materiales del talud.

A continuación, se presentan las características geológicas, correspondientes a los tramos de la Red Ferroviaria:

**Tramo: La Caro-Suesca:** La vía férrea presenta en este sector una morfología plana con pendiente suave, sobre la margen izquierda del Valle del río Bogotá, se encuentra sobre terrazas aluviales. En los cerros orientales afloran rocas del grupo Guadalupe y en algunos sectores afloran las formaciones Guaduas y las areniscas del Cacho.

**Tramo: Suesca - Villapinzón:** La vía férrea continúa por el valle del Río Bogotá hasta el fin de la cuenca a la altura del Km 109 al Norte de Villapinzón, en donde el Valle es estrecho y en la parte baja afloran arcillas, limos y arenas. En un nivel de terraza alta, se observaron materiales de la formación Tilatá, dando a la subrasante una aceptable condición de estabilidad. A la altura de Villapinzón la vía corta la formación Bogotá e intercepta coluviones antiguos. En estas superficies se aprecian efectos erosivos fuertes.

**Tramo Villapinzón – Tunja:** El corredor avanza a media ladera, siguiendo paralelamente el curso del Río Bogotá, sobre gravas, arenas, limos y arcillas correspondientes a la Formación Tilatá y formaciones terciarias, donde sobresale la presencia de coluviones colgados en el escarpe arenoso de ésta formación. Posteriormente la vía entra en un depósito de origen fluvio - glacial extenso.

**Tramo Tunja- Duitama:** En este tramo las pendientes son suaves a planas, colinas de poca altura conformadas por los sedimentos de la Formación Tilatá, formas bajas y planas constituidas por depósitos cuaternarios aluviales. Formas de relieve más quebrado en los sectores de Paipa y Duitama respondiendo a las rocas Cretácicas y Terciarias.

**Tramo Duitama - Belencito:** La vía férrea transcurre sobre un terraplén de poca altura sobre la morfología plana del Valle del río Sogamoso y se recarga hacia el piedemonte oriental en dirección a Belencito, donde afloran unidades geológicas antiguas constituidas esencialmente por intercalaciones de areniscas cuarzosas y arcillolitas rojas de formaciones del Jurásico, en tanto que en la secuencia Cretácica aflora la parte basal de la Formación Tibasosa, que se compone básicamente de intercalaciones de areniscas conglomeráticas, limolitas y calizas.

#### **2.4.2.1. Caracterización Geotécnica**

**Tramo: Bogotá - La Caro:** Depósitos lacustres típicos de la sabana de Bogotá, donde se presentan deformaciones de la vía por cambios volumétricos de la subrasante o los materiales de terraplén.

**Tramo: La Caro-Suesca (La Caro–Nemocón):** Se continúa por topografía plana, con algunas excepciones como en cercanía a Zipaquirá. Los suelos están afectados por drenaje insuficiente y deformaciones por presencia de suelos blandos.

**Tramo: Suesca-Villapinzón:** Se podrían presentar problemas que se relacionan con el desprendimiento y caída de bloques producto del intenso diaclasamiento que afecta la zona; hundimientos por la alta plasticidad y compresibilidad en algunas zonas planas. Se presentan cortes expuestos a caída de sedimentos, erosión superficial, cárcavas y flujo de suelos.

**Tramo: Villapinzón-Tunja:** Los taludes que se cortaron para realizar la vía férrea se dejaron desprotegidos por lo que presenta erosión desde superficial (difusa) hasta severa (cárcavas profundas) con caída de rocas y materiales. Puntualmente se presenta caída de materiales, hundimientos de los niveles arcillosos, reptación y solifluxión.

**Tramo: Tunja-Tuta:** En este tramo, se presenta una fuerte erosión, flujos y algunos deslizamientos. Los taludes del ferrocarril presentan desprendimiento y caída de grandes bloques de roca que se encuentran en matriz areno-arcillosa, muy friable con intercalaciones de arenita y arcillolita.

**Tramo Tuta-Duitama-Belencito:** Los sedimentos de origen aluvial y la morfología plana, terrazas bajas con buena consolidación y resistencia a la erosión, favoreciendo la estabilidad del sector y limitando la ocurrencia de fenómenos erosivos. Por su naturaleza pueden originar hundimientos del terreno y por lo tanto afectar el ferrocarril.

#### **2.4.2.2. Estudio Geotécnico para la línea férrea**

Para determinar el perfil del subsuelo y las características geomecánicas de la subrasante de la línea férrea, se llevó a cabo un programa de investigación del subsuelo consistente en la exploración por medio de apiques, toma de muestras, ejecución de ensayos de campo y laboratorio, cálculo y procesamiento de los resultados.

Se realizó un apique cada km sobre el eje de la vía, para un total de 1107 y con profundidades variables entre 1.0 y 2.5 m.

En cada uno de los apiques se tomó un registro en campo con la descripción en sitio de los materiales observados; se midieron los espesores de las capas de balasto y subbalasto y plataforma y se tomaron muestras de cada una de estas; se realizaron pruebas de Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) para obtener la capacidad de soporte de la subrasante (CBR) utilizada en el diseño.

Con base en los tipos de suelos encontrados en los apiques y su relación con la morfología, se hizo la siguiente sectorización de la vía: Bogotá-Belencito.

La línea férrea transcurre inicialmente por la Sabana de Bogotá y por lo tanto las subrasante están constituidas por suelos de origen fluvio lacustre, arcillas y limos de alta plasticidad, con contenidos de humedad altos, alto potencial de cambio volumétrico con los cambios de humedad.

A partir de la zona de Suesca, la línea va paralela y muy cercana al cauce del río Bogotá; allí la topografía es más ondulada y la subrasante está conformada por suelos residuales o coluviales provenientes de las areniscas de Guadalupe y Guaduas.

Hasta Tunja, la morfología es similar, lo que genera que la vía se encuentre en zonas de corte con subrasantes en suelos residuales o rocas meteorizadas y en zonas de valles en donde la altura de los terraplenes es considerable. Desde Tunja hasta Belencito, la topografía es plana o suavemente ondulada, con suelos de poco espesor, que han favorecido la erosión.

### 2.4.3. Geología del Tramo Bogotá-Belencito

#### 2.4.3.1. Estratigrafía.

El área de la Red Ferroviaria Bogotá-Belencito, está localizada en la Cordillera Oriental de Colombia, la cual es una cadena montañosa que limita al oriente con los Llanos Orientales y al occidente con el valle del Río Magdalena, sobre un basamento formado por rocas metamórficas de edad Precámbrica o Paleozoica inferior e intrusivos Precretáceos y en cuencas subsidentes, se depositaron sedimentos durante el Cretáceo y el Terciario inferior.

Estas cuencas fueron deformadas (principalmente por esfuerzos de tipo compresional) durante el Terciario a causa de la Orogenia Andina, hasta alcanzar la configuración actual.

Como consecuencia de los esfuerzos, se presentan pliegues con rumbo preferencial N-S y fallas inversas que afectan la cobertura sedimentaria. Localmente se desarrollan pequeñas fallas transversales a las estructuras principales.

**Tramo: La Caro – Suesca (La Caro – La Laguna en la vía a Lenguaque):** La vía férrea en este tramo, presenta una morfología plana con pendiente suave, sobre la margen izquierda del Valle del Río Bogotá, se encuentra sobre terrazas aluviales. En los cerros orientales afloran rocas del grupo Guadalupe y en algunos sectores afloran las formaciones Guaduas y las areniscas del Cacho.

**Tramo: Suesca –Villapinzón (La Laguna – Lenguaque):** La vía férrea continúa por el valle del Río Bogotá hasta el cierre de la cuenca a la altura del Km 109 al Norte de Villapinzón, el Valle es estrecho y en la parte baja afloran arcillas, limos y arenas. En un nivel de terraza alta se observaron materiales de la formación Tilotá, que dan a la subrasante una aceptable condición de estabilidad; a la altura de Villapinzón la vía corta la formación Bogotá e intercepta coluviones antiguos. En estas superficies se aprecian efectos erosivos fuertes.

**Tramo: Villapinzón–Tunja:** El corredor avanza a media ladera siguiendo paralelamente el curso del Río Bogotá, sobre gravas, arenas, limos y arcillas correspondientes a la Formación Tilotá y formaciones terciarias; sobresale la presencia de coluviones colgados en el escarpe arenoso de ésta formación. Posteriormente la vía entra en un depósito de origen fluvio - glacial extenso.

**Tramo: Tunja–Duitama:** Este tramo, presenta pendientes suaves a planas, colinas de poca altura conformadas por los sedimentos de la Formación Tilotá, formas bajas y planas constituidas por depósitos cuaternarios aluviales. Formas de relieve más quebrado en los sectores de Paipa y Duitama respondiendo a las rocas Cretácicas y Terciarias.

**Tramo: Duitama–Belencito:** La vía férrea transcurre sobre un terraplén de poca altura sobre la morfología plana del Valle del río Sogamoso y luego se recarga hacia el piedemonte oriental en dirección a Belencito. Afloran unidades geológicas antiguas constituidas esencialmente por intercalaciones de areniscas cuarzosas y arcillolitas rojas de formaciones del Jurásico, en tanto que en la secuencia Cretácica aflora la parte basal

de la Formación Tibasosa la cual se compone básicamente de intercalaciones de areniscas conglomeráticas, limolitas y calizas.

#### **2.4.3.2. Geología Estructural.**

La zona se localiza en la región central de la cordillera Oriental y regionalmente se caracteriza por una tectónica compresiva producto de la Orogenia Andina desarrollada durante el Terciario superior, que originó una serie de pliegues grandes y pequeños con rumbo aproximado Norte - Sur, que afectan la cobertera sedimentaria.

Este plegamiento se caracteriza por la presencia de anticlinales estrechos y sinclinales amplios. Asociados a éstos se presentan cabalgamientos regionales paralelos a las estructuras principales, rampas laterales y ocasionales fallas normales de menor magnitud perpendiculares a la dirección preferencial. Como consecuencia de esta tectónica, se presenta un fuerte acortamiento de la cobertera en sentido Este - Oeste.

En la región de Sogamoso y la subcuenca de Villa de Leiva (sector de Tunja), se presentan anticlinales y sinclinales tanto apretados como amplios, asociados a estos se encuentra una tectónica de escama delgada "*thin-skin*", presentándose fallas de tipo inverso; estas están asociadas a algunas fallas grandes como las de Soapaga, características de una tectónica de escama gruesa "*thick-skin*". También se caracteriza por la presencia de fallas de rumbo que cortan de forma perpendicular a subperpendicular las estructuras y en menor proporción algunas fallas normales menores.

**Pliegues:** En la Sabana de Bogotá se destacan los sinclinales de Bogotá, Teusacá-Suesca, Sesquilé y los anticlinales de Bogotá, Usaquén, Sopó-Sesquilé, Nemocón, Chocontá y Suesca. Para el resto de la vía se encuentran como estructuras principales los sinclinales de Tunja, de los Medios y los anticlinales de Ventaquemada y Arcabuco.

**Fallas:** Para la cuenca de la Sabana de Bogotá se destacan las fallas de Bogotá, Suesca y Nemocón. Para el resto del corredor férreo sobresalen la de Boyacá, la de Soapaga, y la de Chivatá.

#### **2.4.4. Caracterización Geomorfológica**

La geología de los tramos en estudio, se definió a partir de la información existente y de las verificaciones hechas en campo. Se consultaron los estudios de Geología y Geotecnia elaborados en los estudios previos por parte de Ferrovías y las entidades especializadas tales como Ingeominas e IGAC.

El área estudiada se encuentra ubicada en la cordillera Oriental de Colombia y se caracteriza por presentar sabanas intramontañosas y valles amplios formados por los ríos principales que transcurren por la zona, enmarcados dentro de un paisaje fuertemente montañoso.

En el trazado general de la vía férrea, geomorfológicamente pueden diferenciarse tres zonas:

- ✓ Inicialmente una plana formada por la Sabana de Bogotá y el valle del río Bogotá, que cubre aproximadamente hasta Villapinzón, con excepción de la región Suesca - Santa Rosita, la cual es montañosa.
- ✓ Está compuesta por depósitos recientes, de origen lacustre en la zona de la Sabana de Bogotá y aluviales en el valle del Río Bogotá, que forman terrazas altas y bajas, compuestas por arcillolitas, limolitas y eventualmente cantos de grava. Estos se encuentran limitados por montañas formadas de rocas sedimentarias Cretácicas y Terciarias, compuestas por areniscas, limolitas y arcillolitas.
- ✓ Una segunda zona en la parte media del recorrido, caracterizada por ser montañosa, la cual ocupa desde Villapinzón hasta Tunja. Está formada por rocas sedimentarias de edad Cretácica y Terciaria, con eventuales depósitos recientes.
- ✓ La otra, nuevamente plana a ligeramente ondulada, formada por el valle del río Chulo - Chicamocha, la cual se extiende desde Tunja hasta Belencito. Se compone de sedimentos aluviales Cuaternarios y del Terciario superior que originan terrazas bajas y de moderada altitud principalmente con areniscas, limolitas, gravas y bloques de roca.

#### **2.4.5. Sectorización Geológica y Geomorfológica**

Se establecieron dos sectores:

**Sector: Villapinzón - Tunja**, debido a que los taludes que se abrieron durante la construcción del ferrocarril no se protegieron

**Estación Suesca hasta 2 km. antes de Santa Rosita:** Los taludes de la zona conocida como "Rocas de Suesca", a pesar de su gran altura e inclinación, son muy estables, principalmente por el tipo de litología (cuarzo areniscas de grano medio muy bien cementadas) y buzamiento favorable (de bajo ángulo contrario a la pendiente topográfica). La vegetación los ha cubierto parcialmente mejorando la estabilidad.

Los problemas que podrían presentarse se relacionan con el desprendimiento y caída de bloques producto del intenso diaclasamiento que afecta la zona; sin embargo salvo situaciones muy puntuales, este proceso no se evidenció. La zona tiene baja pluviosidad por lo que se reduce el riesgo y se limita la erosión.

**Tramo: 2 km Antes de Santa Rosita hasta antes de las Canteras de Saucio:** Las arcillolitas de este sector son susceptibles a hundimientos debido a la alta plasticidad y compresibilidad y se refleja en las grietas que presentan las construcciones debido a los asentamientos del terreno. Además debido al intenso pastoreo, se presenta erosión laminar y en algunos casos desarrollo de grietas y cárcavas. Localmente se presentan pequeños deslizamientos de material.

**Canteras de Saucio:** Debido a que su explotación no ha sido muy técnica, se han generado varios procesos los cuales afectan la vía férrea por su cercanía. Originan aporte de sedimentos, erosión superficial, cárcavas, caída de bloques, flujo de suelos etc.

**Tramo: Adelante de las canteras de Saucio hasta 3 km. antes de Villapinzón:** Los sedimentos recientes de origen aluvial presentan mejor consolidación y resistencia a la erosión que los de origen lacustre del primer sector. La morfología predominantemente

plana, de terrazas bajas formadas por el Río Bogotá, favorece la estabilidad del sector, limitando la ocurrencia de fenómenos erosivos.

**Tramo: 3 km antes de Villapinzón hasta km 125:** Los taludes que se cortaron para realizar la vía férrea se dejaron desprotegidos por lo que presenta erosión desde superficial (difusa) hasta severa (cárcavas profundas) con caída de rocas y materiales. La zona está influenciada por precipitación constante pero no muy fuerte que incrementa el escurrimiento y la meteorización. Se destaca el hecho de que algunos terraplenes fueron mal conformados por lo que se han perdido parcialmente generando hundimientos y deslizamientos en la vía férrea.

**Tramo: Entre el km 112 y el km 125:** estos fenómenos son más evidentes y severos. Km. 125 hasta Km. 180: Puntualmente se presenta caída de materiales y rocas que originan depósitos de pie de talud. También se observaron hundimientos de los niveles arcillosos, reptación y soliflucción.

**Tramo: Km. 180-Tunja:** Frente a Tunja se presentan las montañas fuertemente meteorizadas y erosionadas. Se observa erosión laminar difusa, cárcavas, ausencia de vegetación. Alta influencia antrópica. Dentro de la zona urbana de Tunja: Taludes bajos con erosión, desprovistos de vegetación, caída de materiales. Posibles problemas con aguas negras. Algunas quebradas tienen sus orillas erosionadas. Cárcavas.

**Sector: Tunja – Tuta:** En este sector, se presentan grandes bloques de roca en matriz areno - arcillosa la cual al perderse ésta última se produce el desplome de los materiales. En general, sector con fuerte erosión, flujos y algunos deslizamientos. Los taludes del ferrocarril presentan desprendimiento y caída de grandes bloques de roca que se encuentran en matriz areno - arcillosa, muy friable con intercalaciones de arenita y arcillolita. El drenaje dendrítico, difuso genera la formación de surcos y cárcavas; se presenta erosión selectiva de acuerdo con el tipo de material. Al frente del corredor férreo, en el otro costado del Río Chulo, se encuentran las montañas con un grado de erosión que varía desde superficial hasta moderada, por la ausencia de vegetación y el tipo de material; puede observarse erosión difusa, desarrollo de surcos y cárcavas.

**Tramo: Tuta-Duitama-Belencito:** Los sedimentos de origen aluvial y la morfología predominantemente plana, de terrazas bajas formadas por el Río Chicamocha presentan buena consolidación y resistencia a la erosión, favoreciendo la estabilidad del sector y limitando la ocurrencia de fenómenos erosivos. Por su naturaleza pueden originar hundimientos del terreno y por lo tanto afectar el ferrocarril. Las corrientes son meándricas por lo que pueden producir socavación de orillas (no se presenta). El sector de Duitama es bastante lluvioso, con aguaceros de fuerte intensidad en cortos períodos de tiempo. La zona de Sogamoso y Belencito es seca.

## **2.5 Caracterización Hidrometeorológica**

En estudios realizados por el IDEAM, FERROVIAS, CAR de la Sabana de Bogotá, se recolectó la información hidrometeorológica que existe en la zona de influencia del proyecto, en donde seleccionaron las estaciones pluviométricas, climatológicas e hidrométricas existentes. El procedimiento consiste en comprobar las capacidades de las obras de paso existentes, tales como puentes, pontones, alcantarillas circulares y box-

culverts.

### **2.5.1. Ríos con Estaciones Hidrométricas**

En los ríos que tienen estaciones hidrométricas se hicieron análisis de frecuencia de las series históricas de caudales máximos para determinar los máximos instantáneos en los sitios de localización de las estaciones. Se calcularon crecientes de 2, 25, 50, 100 y 1000 años utilizando la distribución de probabilidades de Gumbel. Las estaciones hidrométricas están muy cerca de la vía férrea, de manera que la información registrada es aceptable para la revisión de los puentes que existen sobre los ríos.

En las corrientes que no tienen registros de caudales la metodología para determinar caudales de creciente se basa en la aplicación de relaciones lluvia-cuenca. De esta manera se calculan los caudales de revisión de las obras de cruce de las corrientes naturales que atraviesan la vía.

Los análisis de sedimentación y colmatación de las obras se realizan mediante observación de las estructuras existentes. También se determinan las zonas potencialmente erosionables que pueden generar sedimentos o movimientos de remoción en masa hacia la vía.

### **2.5.2. Régimen pluviométrico**

Con el fin de establecer el régimen pluviométrico a lo largo de la vía y en las cuencas que drenan hacia el ferrocarril se utilizaron los registros de precipitaciones totales mensuales. Estos valores permiten tener un conocimiento general de la distribución y magnitud de las lluvias medias mensuales pero no se utilizan para calcular caudales de diseño de obras de drenaje. Esta información se tomó de Monografías departamentales del Instituto Geográfico Agustín Codazzi y de las publicaciones del IDEAM.

#### **2.5.2.1. Lluvias de corta duración.**

En el estudio hidrológico se determinan con base en la información disponible y en las observaciones de campo, los regímenes de lluvias y caudales en las cuencas de las corrientes superficiales que cruzan la vía, con el propósito de proporcionar los siguientes valores de diseño:

- ✓ Caudales de creciente con frecuencias entre 2 y 100 años, de acuerdo con la importancia de las obras.
- ✓ Niveles máximos, características hidráulicas y estimativas de la capacidad de transporte de sedimentos de las corrientes que drenan hacia la vía.
- ✓ Dimensiones de las obras de drenaje requeridas para que operen con la capacidad suficiente que demandan los caudales líquidos y sólidos.

### **2.5.3 Caracterización Hidrológica Red Ferroviaria Bogotá-Belencito**

El trazado de la vía transcurre en el altiplano cundiboyacense bordeando, primero el río Bogotá hasta el límite de los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, y luego el río Chicamocha en el departamento de Boyacá. La vía pasa por los municipios de Bogotá,

Chía, Sopó, Tocancipá, Gachancipá, Sesquilé, Chocontá y Villapinzón en Cundinamarca, y Ventaquemada, Tunja, Paipa, Tibasosa, Duitama, Nobsa, Sogamoso y Belencito en Boyacá.

La vía comienza a una altura de 2500 msnm en la Sabana de Bogotá y continúa con pequeñas oscilaciones entre 2500 y 2700 msnm hasta Belencito, que está situado a una altura de 2400 msnm. En todo el recorrido la pluviosidad es baja y el clima frío. Se seleccionaron 7 estaciones pluviométricas, 5 estaciones climatológicas y 11 estaciones hidrométricas.

Las estaciones pluviométricas y climatológicas se recolectaron en la CAR y en el IDEAM, y tienen un cubrimiento suficiente para la realización de los estudios hidrológicos. Están repartidas entre alturas de 2400 y 2800 msnm y permiten analizar las características de precipitación y clima a lo largo de la vía y en las cuencas vertientes de las corrientes que drenan hacia ella.

Las estaciones hidrométricas están localizadas en los ríos Chicamocha, Sotaquirá, Chiquito, Bogotá y Teusacá. Fueron recolectadas en la CAR y en el IDEAM. Cubren períodos diferentes, entre 20 y 50 años, y constan de registros de caudales medios diarios, máximos instantáneos y mínimos diarios. Para efectos del estudio se utilizaron los registros de los últimos 20 años.

En su recorrido por el departamento de Cundinamarca la vía férrea atraviesa la cuenca del río Bogotá, de manera que está influenciada por el río Bogotá y por sus afluentes. En este tramo el río Bogotá está regulado por los embalses del Sisga y Tominé, lo que hace que las crecientes extraordinarias del río resulten moderadas. Hay 4 estaciones hidrométricas sobre el río Bogotá, localizadas en Villapinzón cerca al nacimiento del río, en Chocontá, Tocancipá y Chía. En el departamento de Boyacá el ferrocarril cruza la cuenca del río Chicamocha, el cual transcurre paralelo a la vía entre Tunja y Belencito. Sobre el río Chicamocha existen 3 estaciones hidrométricas.

#### **2.5.4. Cartografía**

Utilizando la cartografía 1:25000 y 1:100000, se delimitaron las cuencas vertientes de las corrientes naturales que drenan hacia la vía y se localizan en la línea férrea, las estaciones hidrometeorológicas y los sitios de cruce de las corrientes de drenaje. En cada cuenca se midieron sus características morfométricas: Área, Longitud del cauce, Ancho medio y Pendiente media.

#### **2.5.5. Clima**

El clima a lo largo del corredor férreo es frío. En Bogotá la temperatura media anual es de 14.0 °C; en Tunja disminuye a 13 °C y en Belencito se registran 14 °C. La distribución de la temperatura en el año es aproximadamente uniforme, con pocas variaciones. Los meses más cálidos son Marzo, Abril y Mayo, y los menos cálidos son Febrero y Julio.

La humedad relativa varía entre 82% en Bogotá y 75% en Duitama. Los valores más bajos se observan en Febrero y los más altos en y Noviembre.

La precipitación promedio anual en el tramo se encuentra entre 585.9 mm en el sur hasta 840.0mm en el norte. En general, el comportamiento del tramo es similar registrando los mayores valores de precipitaciones en el último sector según el abscisado (norte).

El régimen de lluvias mensual multianual es bimodal. Los meses de diciembre hasta febrero presentan menor valor de precipitación y a partir del mes de marzo se incrementa hasta el pico en abril y disminuye hasta alcanzar los menores registros en los meses de julio y agosto. El último pico se presenta en el segundo semestre del año en los meses de octubre y noviembre.

#### **2.5.5.1. Lluvias**

En este sector se presentan lluvias de corta duración y gran intensidad. Por ejemplo para una frecuencia de 100 años y una duración de 10 minutos la intensidad de la lluvia es de 74.9mm/hr, mientras para una duración del aguacero de 30 minutos la intensidad para la misma frecuencia es de 52.6 mm/hr, entre más larga la duración del aguacero menos corta la intensidad de la lluvia.

En el tramo Bogotá-Belencito las corrientes principales corresponden a los ríos Bogotá, Teusacá, Teatinos, Sotaquirá, Chulo, Chicamocha, Chiquito. Los ríos Bogotá y Chicamocha actúan como interceptores de la mayor parte de las quebradas que fluyen hacia la vía.

Las frecuencias de las crecientes de revisión se aplicaron de la siguiente manera:

- ✓ Alcantarillas circulares y box culverts: 25 años
- ✓ Pontones y puentes pequeños: 50 años
- ✓ Puentes medianos: 100 años
- ✓ Puentes sobre ríos principales: 1000 años

Cuando se considera que las alcantarillas existentes están demasiado apartadas, se localizan alcantarillas complementarias de 90 cm de diámetro. Su instalación depende de la relación que existe entre la rasante de la vía y la cota del terreno natural en cada caso.

Las cunetas longitudinales tienen por objeto facilitar el flujo del agua que se deposita contra los terraplenes de la vía en tramos localizados entre obras de paso, o en los tramos en corte cuando llegan aguas de escorrentía de los taludes a la vía.

Para la localización de las cunetas, se tuvo en cuenta lo siguiente:

- ✓ Las cunetas existentes se someterán a limpieza y mantenimiento.
- ✓ En tramos en corte, siempre que se disponga de espacio suficiente se colocarán cunetas sobre los dos costados de la vía.
- ✓ En tramos en terraplén se colocarán cunetas solamente sobre un costado de la vía.
- ✓ No se colocarán cunetas en los tramos señalados en el numeral anterior como vulnerables a la acción de los ríos.
- ✓ No se colocarán cunetas cuando la pendiente longitudinal de la vía sea inferior al 0.5 %.
- ✓ Se colocarán cunetas nuevas en tramos en corte y en aquellos sitios recomendados por los estudios de Estabilidad de los Terraplenes que cumplan con los requisitos

anteriores.

- ✓ Se colocarán cunetas cuya función es la comunicación de flujo entre obras, para controlar casos de crecientes y preservar las obras existentes.

Cuando se recolectan aguas lluvias con cunetas de coronación en las partes altas de los taludes que drenan hacia la vía, es necesario conducir dichas aguas hasta las cunetas o hacia las corrientes naturales cercanas.

Debido a que se tienen pendientes fuertes en los taludes, se deben utilizar canales escalonados bajo las siguientes condiciones:

- ✓ Los canales en concreto sólo se aceptan cuando estén cimentados sobre una base estable y no en cárcavas que estén en proceso de formación.
- ✓ Para un buen funcionamiento hidráulico de los canales escalonados la relación entre la altura (V) del escalón y la longitud (H) horizontal del paso debe ser del orden de 1V a 2H. Además, el caudal por unidad de ancho del canal no debe superar 1 m<sup>3</sup>/s/m.
- ✓ El tratamiento de cárcavas se puede hacer con instalación de obras transversales o trinchos flexibles que se pueden construir con elementos prefabricados de madera, rieles, gaviones, casetones de guadua rellenos de piedra, etc.

#### **2.5.6. Caudales para revisión de obras de drenaje**

Entre Bogotá y Villapinzón, en el departamento de Cundinamarca la vía férrea transcurre por la cuenca del río Bogotá. A partir de Villapinzón entra al departamento de Boyacá y cruza parcialmente las cuencas de los ríos Upía y Chicamocha.

Los ríos Bogotá y Chicamocha pertenecen a la vertiente del río Magdalena. El río Upía está localizado en la Orinoquia colombiana.

Las corrientes principales que cruzan la vía férrea entre Bogotá y Belencito pertenecen a las cuencas de los ríos Bogotá, Upía y Chicamocha. En la cuenca del río Bogotá están los ríos Bogotá y Teusacá. El río Teatinos es tributario del río Upía. Pertenecen a la cuenca del río Chicamocha los ríos Chulo, Sotaquirá, Chicamocha, Surba, Chiticuy, Monquirá y Chiquito.

**Río Bogotá:** La hoya del río Bogotá comprende dos partes principales: las cabeceras de los ríos, generalmente abruptas y de escasa vegetación y el área plana con pendientes muy suaves y presencia de pantanos.

El escurrimiento en la parte alta, entre Villapinzón y Chocontá, tiene características torrenciales; es rápido, produce una fuerte erosión y decrece al mínimo en pocos días o semanas. Aguas abajo de Chocontá el régimen del río es regulado por los embalses de Sisga y Tominé, los cuales controlan parcialmente las magnitudes de las inundaciones en la parte plana de la Sabana de Bogotá.

En el tramo Bogotá-Belencito hay aproximadamente 1000 quebradas pequeñas, con área vertiente menor de 7 km<sup>2</sup>.

Para calcular los caudales de creciente a lo largo del río Bogotá se utilizaron los registros de 2 estaciones hidrométricas que están localizadas en Chocontá, y Tocancipá. (Ver Tabla 25).

Tabla 25. Características de las Estaciones Hidrométricas

RÍO BOGOTÁ-CHOCONTÁ										
Elevación (m.s.n.m)	Área Vertiente (km <sup>2</sup> )	CMA (m <sup>3</sup> /s)	RMA (lps/km <sup>2</sup> )	PCMI (m <sup>3</sup> /s)	Δ Máx (m <sup>3</sup> /s)	CM 20 Años (m <sup>3</sup> /s)	Creciente Anual (m <sup>3</sup> /s)	Creciente 25 Años (m <sup>3</sup> /s)	Creciente 100 Años (m <sup>3</sup> /s)	Creciente 1000Años (m <sup>3</sup> /s)
2618	272	2.60	9.6	30.9	11.4	64.2	29.2	60.3	75.6	101.0
RÍO BOGOTÁ-TOCANCIPÁ										
2549	1008	9.05	9.0	22.8	8.2	45.2	21.6	43.7	54.7	72.8

CMA= Caudal Medio Anual

RMA = Rendimiento Medio Anual

PCMI = Promedio de Caudales Máximos Instantáneos

CM = Caudal Máximo

## Capítulo 3

### **Análisis de la Infraestructura existente Red Ferroviaria Bogotá-Belencito Tramo: Suesca-Villapinzón-Tunja**

La información para la elaboración de este capítulo, fue tomada del Informe final de los estudios realizados para la rehabilitación de la Red Férrea Bogotá-Belencito y que fueron suministrados por la Agencia Nacional de Infraestructura-ANI.

Para el estudio, se escogió este tramo por ser el más representativo, pues tiene problemas geotécnicos, se requieren rectificaciones de trazado y presenta problemas graves para la movilización de la red férrea y es el tramo que reviste más daños, ocasionados entre otros, por la ola invernal del 2011 y 2012, causó daños al Corredor Férreo Bogotá - Belencito, lo que llevó a que quedara fuera de operación desde entonces y se consideró prioritario cumplir con las estrategias planteadas en el PND, de incrementar los kilómetros férreos en operación, fortalecer la conectividad de zonas de producción y contribuir a la integración del territorio nacional.

Por lo anterior, se hicieron intervenciones como obras de contención a través de la construcción de muros (en concreto y en gaviones) y de anclajes para estabilizar el terreno y los taludes. Así mismo, se contemplan intervenciones para mejorar el drenaje y evitar filtraciones de agua que puedan provocar mayores afectaciones en el corredor.

Cada punto crítico presenta daños particulares que requieren intervenciones diferentes, por lo tanto se mencionarán los daños más representativos y las soluciones planteadas para el corredor.

En el tramo que corresponde al departamento de Cundinamarca, la ANI identificó 21 puntos críticos entre los cuales están los deslizamientos de talud y los hundimientos de terraplén, para este tipo de daño se construirán obras de estabilización (muro en gavión, muro en concreto, pantalla de tablestacas) y se instalarán drenajes superficiales para el manejo de agua.

En el tramo férreo correspondiente al Departamento de Boyacá, se identificaron 50 puntos críticos, que en su mayoría, fueron provocados por colapsos de alcantarillas y filtraciones de agua que causaron hundimientos en el corredor que se busca sean atendidos mediante la construcción de nuevas alcantarillas con mayor capacidad hidráulica.

En el Corredor Bogotá-Belencito, se presentan 5 hundimientos causados por significativos movimientos en masa causados por fallas y se agravaron por las filtraciones de agua durante el periodo intenso de lluvias y una gran inundación que afectó 450 metros del corredor adyacente a la laguna de Termopaipa.

En el tramo Suesca –Villapinzón, se presentaron deslizamientos a causa de la socavación de taludes por la cercanía de la Red Férrea al Río Bogotá, ocasionando derrumbes por inestabilidad en los taludes y causando daños a la infraestructura y superestructura de la vía. Estos terrenos presentan inestabilidad, pues los casos más conocidos de deslizamientos de rotación se presentan en suelos arcillosos, afectando los terraplenes.

En el tramo Villapinzón-Tunja, se presentaron deslizamientos rotacionales, por existencia de reservorios de agua y presencia de infiltraciones permanentes de agua, lo que ocasionó hundimientos de la banca, colapso de alcantarillas, afectando seriamente en este tramo la infraestructura y la superestructura de la vía férrea y algunos predios aledaños a la vía.

En este trayecto, no existían obras de drenaje suficientes ni ninguna obra de manejo y evacuación de las aguas (superficiales ni profundas). La zona es inestable, por su cercanía al Río Bogotá, lo que ocasiona socavación en los taludes dando lugar a los deslizamientos y movimientos de masa bastante graves.

En general, la vía es afectada por hundimientos o deformaciones marcadas en los tramos localizados sobre suelos compresibles como es el caso de la Sabana de Bogotá. A partir de Villapinzón, empiezan a aparecer cortes importantes en roca y en ocasiones en coluviones, los cuales son afectados marcadamente por la erosión.

Existen otros problemas asociados a la falta de drenaje en los tramos en cajón o en terraplenes altos, en donde se han presentado colapso de las tuberías de alcantarillado.

Algunas alternativas de solución a los daños graves presentados, son las obras de estabilización, que estarán dirigidas a la protección con recubrimientos de los taludes expuestos, ya sea en suelo o en roca. En los tramos en donde se requiera la recuperación de la banca, se utilizarán estructuras reforzadas mecánicamente, las cuales permiten el manejo de taludes empinados y una disminución en el área de influencia de los rellenos.

Los sitios localizados en la sabana, requieren de la adecuación de los drenajes existentes y el refuerzo de la estructura con elementos que trabajen a tensión y que eviten la intervención a mayores profundidades. En estos casos, se emplearán geomallas biaxiales como refuerzo. En todo el tramo en estudio, se presentaron deslizamientos rotacionales, ocasionados en su mayoría por encontrarse en suelos cohesivos, este tipo de deslizamiento posee una serie de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento, lo que produce un área superior de hundimiento y otro inferior de deslizamiento, generando flujos de materiales por debajo del pie de deslizamiento.

El tramo en estudio, se dividió en subtramos, siendo estos los puntos más críticos, donde se presentan graves daños tanto en la infraestructura como en la superestructura de la vía y se muestra dónde se presentaron deslizamientos y cuáles zonas son inestables y en qué tramos se podrían presentar nuevos deslizamientos que como todos los movimientos en masa, involucran el movimiento, pendiente abajo, de los materiales que componen la ladera bajo la influencia de la gravedad.

La falta de sistemas de drenaje adecuados y el mal estado de los existentes, han venido degradando aceleradamente la banca, se ha hecho evidente en las dos últimas temporadas invernales y sin un adecuado mantenimiento de estos, se empeorará la situación de la vía, lo que se traducirá en nuevos deslizamientos afectando seriamente las obras de recuperación de la vía férrea, generando a su vez costos más grandes para poder poner al servicio el corredor férreo.

A continuación, en la tabla 26, se realiza un análisis del estado de la Superestructura e infraestructura existente en la Red Férrea Bogotá-Belencito. Tramo: Suesca-Villapinzón-Tunja

Tabla 26. Tipología deslizamientos Tramo: Suesca-Villapinzón-Tunja

TRAMO	SUB-TRAMO	COORDENADAS	DESlizAMIENTOS		ZONA INESTABLE		TIPO DE MOVIMIENTO
			Talud	Terraplén	SÍ	NO	
<b>SUESCA – VILLAPINZÓN</b>	Suesca-Santa Rosa	PK 076 + 670	X	X	X		Desprendimiento de rocas. Afecta infra y superestructura de la vía.
	Suesca-Santa Rosa	PK 076 + 800	X	X	X		Deslizamiento rotacional con derrumbe por socavación de ladera Río Bogotá.
	Suesca-Santa Rosa	PK 077 + 000	X	X	X		Deslizamiento rotacional con derrumbe por socavación de ladera Río Bogotá.
	Suesca-Santa Rosa	PK 077 + 520	X	X	X		Deslizamiento rotacional con derrumbe por socavación del talud, afecta la superestructura de la vía.
	Suesca-Santa Rosa	PK 077 + 900	X	X	X		Desprendimiento de rocas, por saturación material orgánico desplazado.
	Suesca-Santa Rosa	PK 079 + 250	X	X	X		Deslizamiento rotacional con derrumbe por saturación del terreno, afectación en la superestructura de la vía.
	Suesca-Santa Rosa	PK 079 + 800		X	X		Deslizamiento rotacional, con hundimiento y pérdida de banca, afecta super e infraestructura de la vía.
	Chocontá-Villapinzón	PK 103 + 470	X		X		Deslizamiento rotacional, por desplazamiento lateral Río Bogotá, afecta super e infraestructura de la vía.
	Chocontá-Villapinzón	PK 103 + 770	X		X		Deslizamiento rotacional con derrumbe de talud, por socavación de muro con desplazamiento lateral Río Bogotá, afecta super e infraestructura de la vía.
<b>VILLAPINZÓN – TUNJA</b>	Villa Pinzón-Albarracín	PK 112 + 500	X		X		Deslizamiento rotacional con derrumbe de talud, por infiltración de agua, afecta predios aledaños a la vía.
	Villa Pinzón-Albarracín	PK 112 + 720	X	X	X		Deslizamiento rotacional con derrumbe por inestabilidad del talud, y saturación del terreno, afecta la superestructura y los predios aledaños a la vía.
	Villa Pinzón-Albarracín	PK 117 + 150		X	X		Deslizamiento rotacional, ocasionado por hundimiento de banca, compromete super e infraestructura de la vía.
	Villa Pinzón-Albarracín	PK 117 + 750		X	X		Deslizamiento rotacional, ocasionado por hundimiento de banca, compromete super e infraestructura de la vía.
	Villa Pinzón-Albarracín	PK 119 + 250		X	X		Deslizamiento rotacional, hundimiento de la banca, por saturación del terraplén, afecta la super e infraestructura de la vía.
	Villa Pinzón-Albarracín	PK 120 + 800		X	X		Deslizamiento rotacional, hundimiento de la banca, por saturación del terraplén, afecta super e infraestructura de la vía.
	Albarracín-Ventaquemada	PK 123 + 000		X	X		Deslizamiento rotacional desestabilización del terraplén a media ladera, por falta de mantenimiento de cunetas, afecta la infraestructura de la vía.
	Albarracín-Ventaquemada	PK 123 + 200	X	X	X		Deslizamiento rotacional, deslizamiento de talud por saturación de material y falta de obras de drenaje y manejo de aguas.

TRAMO	SUB-TRAMO	COORDENADAS	DESlizAMIENTOS		ZONA INESTABLE		TIPO DE MOVIMIENTO
			Talud	Terraplén	SÍ	NO	
	Albarracín-Ventaquemada	PK 126 + 200	X	X	X		Deslizamiento rotacional, hundimiento de banca, por, falta obras de drenaje, se afecta la super e infraestructura de la vía.
VILLAPINZÓN - TUNJA	Albarracín-Ventaquemada	PK 126 + 700	X	X	X		Deslizamiento rotacional, hundimiento de banca, por colapso de alcantarilla, se afecta la super e infraestructura de la vía.
	Albarracín-Ventaquemada	PK 127 + 280		X	X		Deslizamiento rotacional, hundimiento de banca, por colapso de alcantarilla y saturación del terraplén, se afecta la super e infraestructura de la vía.
	Albarracín-Ventaquemada	PK 128 + 400	X	X	X		Deslizamiento rotacional por saturación del terreno y falta de obras de drenaje se afecta la super e infraestructura de la vía.
	Albarracín-Ventaquemada	PK 129 + 900	X	X	X		Deslizamiento rotacional, hundimiento de la banca por saturación del terraplén, se afecta la super e infraestructura de la vía.
	Albarracín-Ventaquemada	PK 134 + 100	X	X	X		Deslizamiento rotacional, hundimiento de la banca por saturación del terraplén, se afecta la super e infraestructura de la vía.
	Ventaquemada-Tierra Negra	PK 137 + 500	X	X	X		Deslizamiento rotacional, derrumbe por inestabilidad talud, se afectan predios aledaños a la vía.
	Ventaquemada-Tierra Negra	PK 137 + 900		X	X		Deslizamiento rotacional, por colapso de alcantarilla, compromete predio aledaño.
	Ventaquemada-Tierra Negra	PK 139 + 100		X	X		Deslizamiento rotacional, hundimiento de banca, por colapso de alcantarilla, por falta de manejo de aguas., afectando la infraestructura de la vía.
	Ventaquemada-Tierra Negra	PK 139 + 350	X		X		Deslizamiento rotacional, por saturación del terreno e inestabilidad del talud, afecta predios aledaños a la vía.
	Ventaquemada-Tierra Negra	PK 139 + 400		X	X		Deslizamiento rotacional, por saturación del terreno y falta de obras de drenaje.
	Ventaquemada-Tierra Negra	PK 139 + 600	X		X		Deslizamiento rotacional, por saturación del terreno e inestabilidad del talud, infiltración de agua permanente, afecta super e infraestructura de la vía.
	Ventaquemada-Tierra Negra	PK 140 + 280		X	X		Deslizamiento rotacional, hundimiento de banca, por infiltración de aguas, no hay ningún tipo de drenajes.
	Ventaquemada-Tierra Negra	PK 140 + 435		X	X		Deslizamiento rotacional, por colapso de alcantarilla, desprendimiento material de ladera, afecta super e infraestructura de la vía.
	Ventaquemada-Tierra Negra	PK 140 + 650	X		X		Deslizamiento rotacional, por saturación del terreno, afecta superestructura de la vía, infiltración de agua permanente.
	Ventaquemada-Tierra Negra	PK 142 + 700		X	X		Deslizamiento rotacional, hundimiento de banca, por colapso de alcantarilla, afecta super e infraestructura de la vía y predio aledaño.
	Ventaquemada-Tierra Negra	PK 146 + 960	X		X		Deslizamiento rotacional, derrumbe por inestabilidad del talud, infiltración aguas permanente, no existen drenajes.
Tierra Negra-Samacá	PK 153 + 540	X		X		Deslizamiento rotacional, derrumbe por inestabilidad del talud, infiltración de agua permanente, no existen manejo de aguas, afecta superestructura de la vía.	

TRAMO	SUB-TRAMO	COORDENADAS	DESlizAMIENTOS		ZONA INESTABLE		TIPO DE MOVIMIENTO
			Talud	Terraplén	SÍ	NO	
	Tierra Negra-Samacá	PK 153 + 680		X	X		Deslizamiento rotacional, hundimiento de banca, por existencia reservorios de agua, afecta super e infraestructura de la vía.
VILLAPINZÓN – TUNJA	Tierra Negra-Samacá	PK 158 + 100		X		X	Deslizamiento rotacional, desprendimiento de material, por colapso de alcantarilla, afecta super e infraestructura de la vía.
	Samacá-Tunja	PK 161 + 700		X		X	Deslizamiento rotacional, desprendimiento de material, por colapso de alcantarilla, afecta super e infraestructura de la vía.
	Samacá-Tunja	PK 163 + 584		X		X	Deslizamiento rotacional, hundimiento de terraplén, por filtración de aguas en el talud, afecta super e infraestructura de la vía.
	Samacá-Tunja	PK 164 + 300	X			X	Deslizamiento rotacional, por saturación de material, no existen obras de drenaje, afecta superestructura de la vía.
	Samacá-Tunja	PK 175 + 865		X		X	Deslizamiento rotacional, por colapso de alcantarilla, afecta super e infraestructura de la vía.
	Samacá-Tunja	PK 179 + 305		X		X	Deslizamiento rotacional, hundimiento de la banca y deformación de la subrasante, por colapso de alcantarilla, afecta super e infraestructura de la vía.
	Samacá-Tunja	PK 179 + 430		X		X	Deslizamiento rotacional, hundimiento de la banca, por colapso de alcantarilla, afecta super e infraestructura de la vía.
	Samacá-Tunja	PK 181 + 200		X		X	Deslizamiento rotacional, hundimiento de la banca, por colapso de alcantarilla, afecta super e infraestructura de la vía.

Fuente: Elaboración propia. Bogotá, D.C., Noviembre de 2015.

### 3.1. Tramo: Suesca-Villapinzón

#### 3.1.1. Sub-Tramo: Suesca-Santa Rosa

##### Sub-Tramo: Suesca-Santa Rosa (PK 076 + 670)

Departamento de Cundinamarca

**Deslizamiento de Talud con terraplén ferroviario a pie de ladera:** Se presentó deslizamiento de Talud con terraplén ferroviario a pie de ladera PK 076 + 670 sector Suesca-Santa Rosa.

Se presenta un gran desprendimiento de rocas de grandes proporciones sobre la vía (comprometiendo la superestructura de la misma), debido a la infiltración de agua en la parte superior del mismo.

Se evidenció infiltración de agua por las grietas, lo que ocasionó saturación del material y el disgregamiento del mismo. Adicionalmente no existe ninguna obra de manejo y evacuación de las aguas (superficial ni profundo). Se encontró que en la ladera hay socavación por la corriente del Río Bogotá, lo que pone en riesgo la estabilidad de la superestructura e infraestructura de la vía.



Figura 29. Fotografías Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario al pie de ladera sector Suesca-Santa Rosa- PK 076 + 670

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). Año, 2012

**Afectaciones a la Vía Férrea:**

Superestructura: Rieles, traviesas

Infraestructura: Ninguna

Drenajes: ninguna

**Condiciones de Ladera:**

Material de conformación: Roca

Clasificación del material: Roca

Tipo de movimiento: Caídas de roca

Humedad del Material: Seco.

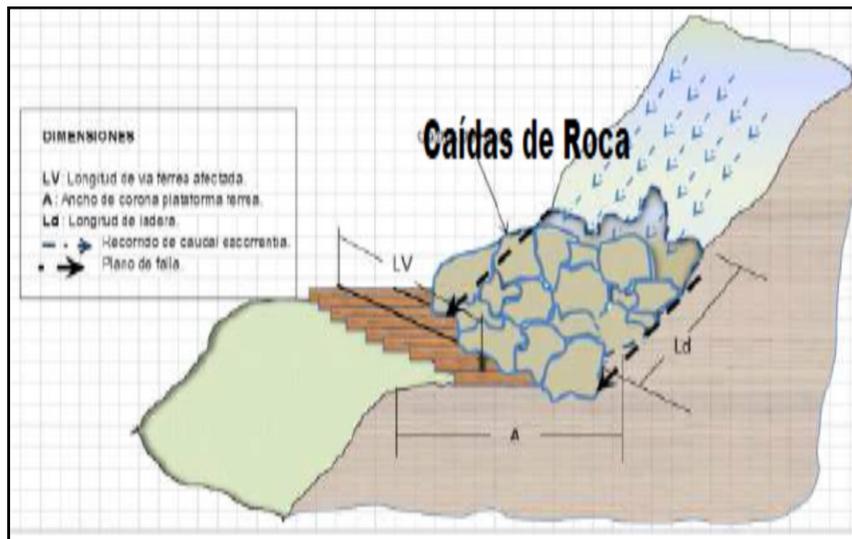


Gráfico 5. Sección Típica deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de ladera-DTFPL- ladera sector Suesca-Santa Rosa- PK 076 + 670

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). Año, 2012

### Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	27,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base terraplén férreo	ML	NA
H	Altura de terraplén férreo	ML	NA
Ld	Longitud de la masa deslizada	ML	2,00
Dd	Profundidad de la masa deslizada	ML	2,50
Hc	Altura de contención	ML	2,00
Pc	Profundidad de cimentación	ML	1,00
Ba	Puntos de bombeo de aguas	ML	NA

**Recomendaciones técnicas:** Se deben llevar a cabo estudios de suelos, geotécnicos e hidráulicos, para determinar qué obras de contención son necesarias construir en el costado izquierdo de la vía, para la estabilización del talud a media ladera, así como, el manejo de aguas.

Se recomienda igualmente hacer la demolición de la roca con retroexcavadora de oruga y hacer su retiro y acopio a patios de la estación de Suesca.

Se recomienda utilizar el material como material de gavión para las obras que requieran la implementación de muros de este tipo.

### Sub-Tramo Suesca-Santa Rosa (PK 076 + 800)

Departamento de Cundinamarca

**Deslizamiento de Talud con terraplén ferroviario a pie de ladera:** Se presenta deslizamiento del talud, ocasionado por la saturación del mismo, comprometiendo la superestructura de la vía.

Se evidencia que no existe ningún tipo de obras hidráulicas que garanticen el manejo y evacuación de estas, adicionalmente se aprecia que la infiltración de aguas es constante hacia la parte superior del talud.

También se aprecia que por el costado izquierdo de la vía se encuentra el cauce del Rio Bogotá, cuyas aguas están igualmente socavando la ladera, por lo que puede llegar a presentarse un deslizamiento a media ladera y con ello comprometer seriamente la infraestructura de la vía. El material es arena arcillosa y material de conformación: suelo seco y con deslizamiento rotacional.



Figura 30. Fotografías Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario al pie de ladera sector Suesca-Santa Rosa- PK 076 + 800  
 Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). Año 2012

**Afectaciones a la Vía Férrea:**

Superestructura: Ninguna  
 Infraestructura: Ninguna  
 Drenajes: ninguna

**Condiciones de Ladera:**

Material de conformación: Suelo  
 Clasificación del material: Arena arcillosa  
 Tipo de movimiento: Deslizamiento rotacional  
 Humedad del Material: Seco.  
 No existen drenajes superficiales y/o profundos.

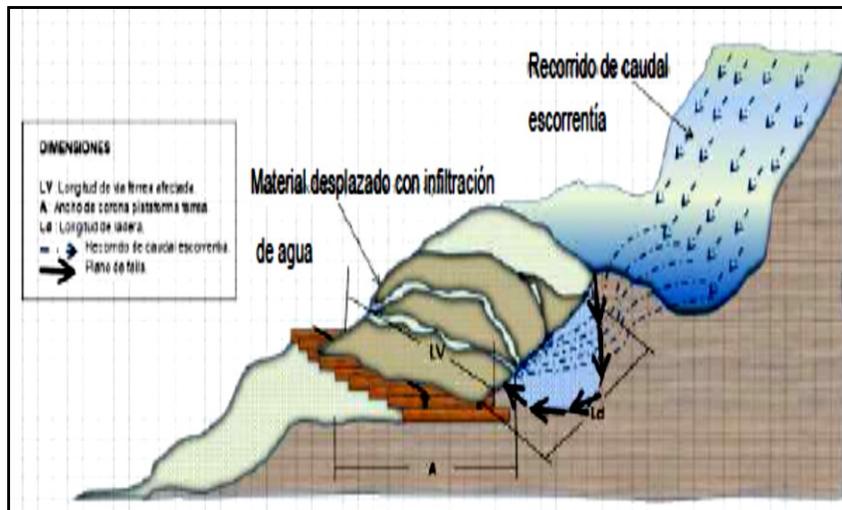


Gráfico 6. Sección Típica deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de ladera-DTFPL Sector Suesca-Santa Rosa- PK 076 + 800  
 Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). Año 2012

### Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	30,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base terraplén férreo	ML	4,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	2,00
Ld	Longitud de la masa deslizada	ML	24,00
Dd	Profundidad de la masa deslizada	ML	2,00
Hc	Altura de contención	ML	3,00
Pc	Profundidad de cimentación	ML	1,00

**Recomendaciones técnicas:** Es necesario realizar estudios de suelos, geotécnicos e hidráulicos para determinar las obras de contención que son necesarias construir para la estabilización y contención del talud y las obras hidráulicas para el manejo de aguas tanto superficiales como profundas. Se recomienda hacer la remoción del derrumbe.

### Sub-Tramo Suesca-Santa Rosa (PK 077 + 000)

Departamento de Cundinamarca

#### Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de ladera:

Se presenta deslizamiento del talud, ocasionado por la saturación del mismo, comprometiendo la superestructura de la vía. En visita técnica, se evidencia que no existe ningún tipo de obras hidráulicas que garanticen el manejo y evacuación de estas y se aprecia que la infiltración de aguas es constante hacia la parte superior del talud. Por el costado izquierdo de la vía, se encuentra el cauce del río Bogotá, cuyas aguas están socavando la ladera, por lo que se puede presentar un deslizamiento a media ladera y con ello comprometer seriamente la infraestructura de la vía.



Figura 31. Fotografías Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario al pie de ladera sector Suesca-Santa Rosa- PK 077 + 000

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). Año 2012

### Afectaciones a la Vía Férrea:

Superestructura: Ninguna  
 Infraestructura: Ninguna  
 Drenajes: ninguna

### Condiciones de Ladera:

Material de conformación: Suelo  
 Clasificación del material: Arena arcillosa  
 Tipo de movimiento: Deslizamiento rotacional  
 Humedad del Material: Seco.  
 No existen drenajes superficiales y/o profundos.

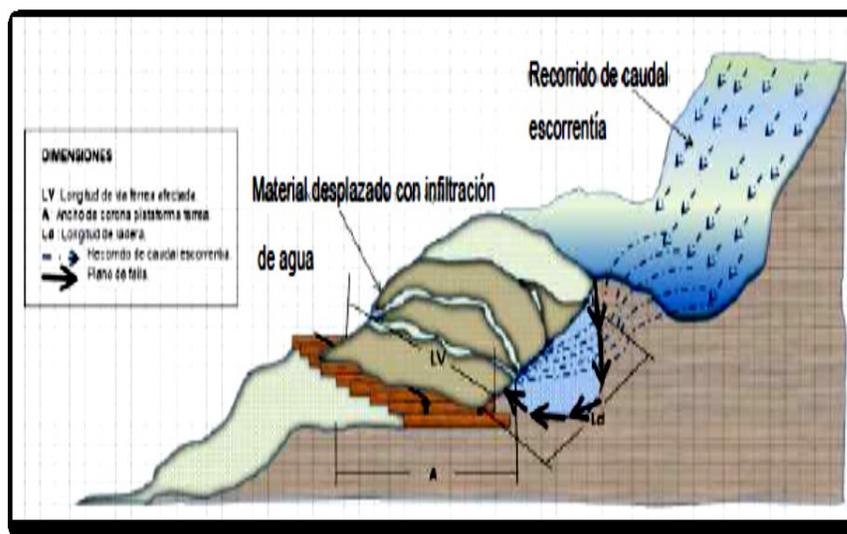


Gráfico 7. Sección típica deslizamiento de talud con terrapién ferroviario a pie de ladera-DTFPL Sector Suesca-Santa Rosa- PK 077 + 000  
 Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). Año 2012

### Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	120,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base terraplén férreo	ML	4,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	2,00
Ld	Longitud de la masa deslizada	ML	40,00
Dd	Profundidad de la masa deslizada	ML	2,00
Hc	Altura de contención	ML	4,00
Pc	Profundidad de cimentación	ML	1,00

**Recomendaciones Técnicas:** Se deben realizar estudios de suelos, geotécnicos e hidráulicos, los cuales determinen las obras de contención que son necesarias construir para la estabilización y contención del talud. Así mismo, las obras hidráulicas para el manejo de aguas tanto superficiales como profundas. Se recomienda hacer la remoción del derrumbe.

#### **Sub-Tramo Suesca-Santa Rosa (PK 077 + 520)**

Departamento de Cundinamarca

**Deslizamiento de Talud con terraplén ferroviario a pie de ladera:** Se presenta derrumbe por inestabilidad del talud, ocasionado por la saturación del terreno, comprometiendo la superestructura de la vía.

En visita técnica, se evidencia que no existe ningún tipo de obras para el manejo hidráulico de las aguas superficiales y profundas. Se aprecia que la infiltración de agua es constante, con lo cual la falla persiste y la inminencia de nuevos acontecimientos de este tipo se puede presentar.

También se aprecia que al costado izquierdo de la vía se encuentra el Río Bogotá, cuyas aguas producen problemas de socavación a la pata del talud, con lo cual se puede llegar a presentar deslizamiento a media ladera, lo cual afectaría tanto la infraestructura como la superestructura de la vía.



Figura 32. Fotografías Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario al pie de ladera sector Suesca-Santa Rosa- PK 076 + 800 Margen derecha Río Bogotá.

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). Año 2012

#### **Afectaciones a la Vía Férrea:**

Superestructura: Ninguna

Infraestructura: Ninguna

Drenajes: ninguna

**Condiciones de Ladera:**

Material de conformación: Suelo  
 Clasificación del material: Arena arcillosa  
 Tipo de movimiento: Deslizamiento rotacional  
 Humedad del Material: Seco.  
 No existen drenajes superficiales y/o profundos.

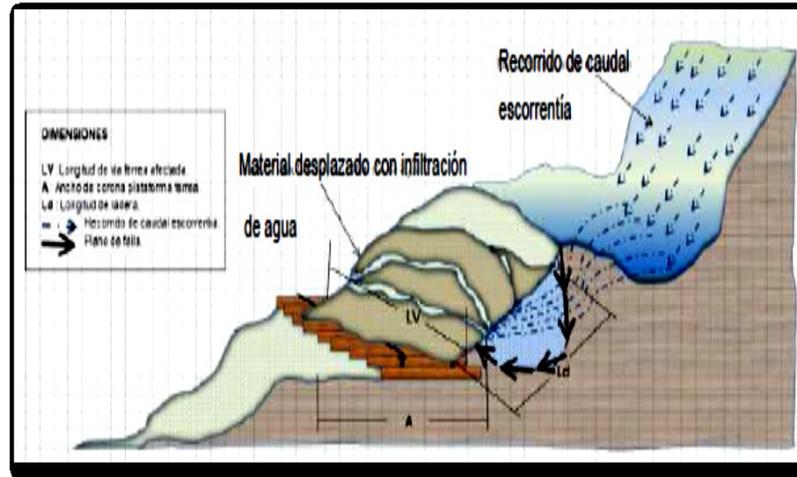


Gráfico 8. Sección Típica: Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario al pie de ladera sector Suesca-Santa Rosa- PK 076 + 800 Margen derecha Río Bogotá.  
 Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). Año 2012

**Medidas de Estabilización:**

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	30,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base terraplén férreo	ML	4,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	2,00
Ld	Longitud de la masa deslizada	ML	27,00
Dd	Profundidad de la masa deslizada	ML	1,50
Hc	Altura de contención	ML	4,00
Pc	Profundidad de cimentación	ML	1,00

**Recomendaciones Técnicas:** Es necesario llevar a cabo estudios de suelos, geotécnicos e hidráulicos, los cuales determinen las obras de contención que son necesarias construir, para la estabilización y contención del talud. Así mismo, las obras hidráulicas para el manejo de aguas tanto superficiales como profundas. Se recomienda hacer la remoción del derrumbe.

### Sub-Tramo Suesca-Santa Rosa (PK 077 + 900)

Departamento de Cundinamarca

**Deslizamiento de Talud con terraplén ferroviario a pie de ladera:** Se presenta un pequeño desprendimiento de material rocoso sobre la superestructura férrea, el cual obstaculiza la vía, por causa de la saturación del material orgánico desplazado.



Figura 33. Fotografías Deslizamiento de Talud con terraplén ferroviario a pie de ladera  
Sector: Suesca-Santa Rosa (PK 077 + 900)  
Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). Año 2012

### Afectaciones a la Vía Férrea:

Superestructura e Infraestructura Ninguna

### Condiciones de Ladera:

Material de conformación: Roca.

Clasificación del material: Roca.

Tipo de movimiento: Caídas de roca.

Humedad del Material: Seco. No existen drenajes superficiales y/o profundos.

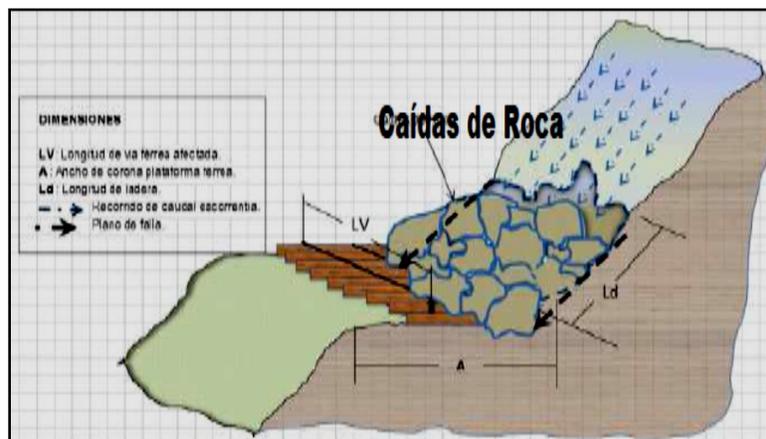


Gráfico 9. Sección Típica. Deslizamiento de Talud con terraplén ferroviario a pie de ladera Sector: Suesca-Santa Rosa (PK 077 + 900)  
Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). Año 2012

### Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	25,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base terraplén férreo	ML	4,00
Ld	Longitud de la masa deslizada	ML	2,00
Dd	Profundidad de la masa deslizada	ML	1,50

**Recomendaciones Técnicas.** Se recomienda realizar remoción del derrumbe.

### Sub-Tramo Suesca-Santa Rosa (PK 079 + 250):

Departamento de Cundinamarca.

**Deslizamiento de Talud con terraplén ferroviario a pie de ladera:** Se presenta deslizamiento de material del talud, debido a la saturación del terreno y a la inexistencia de obras de drenaje, comprometiendo la superestructura de la vía. El material componente del talud es catalogado como areno - arcilloso, el cual ante la presencia de agua se vuelve altamente inestable.



Figura 34. Fotografías Deslizamiento de Talud con terraplén ferroviario a pie de ladera  
Sector Suesca-Santa Rosa PK 079 + 250

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). Año 2012

### Afectaciones a la Vía Férrea:

Superestructura: Ninguna

Infraestructura: Ninguna

Drenajes: Ninguna

### Condiciones de Ladera.

Material de conformación. Suelo

Clasificación del material: Arcilla

Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional

Humedad del Material: Seco

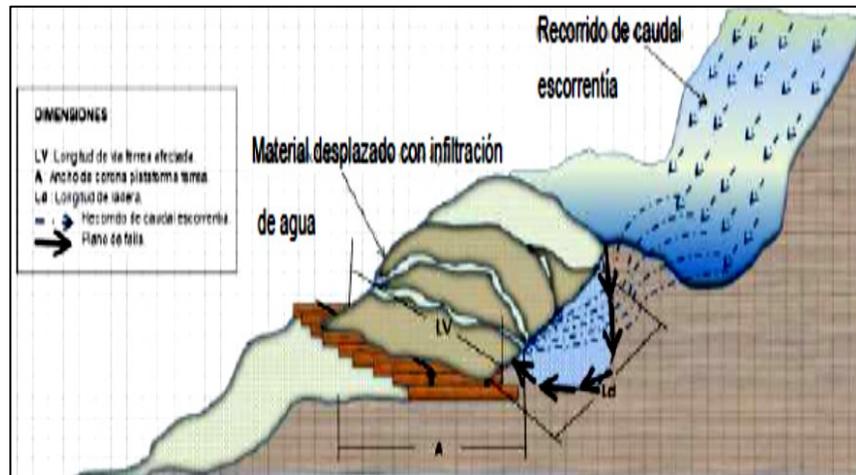


Gráfico 10. Sección Típica: Deslizamiento de Talud con terraplén ferroviario a pie de ladera Sector Suesca-Santa Rosa PK 079 + 250.

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). Año 2012

### Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	25,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base terraplén férreo	ML	4,00
Ld	Longitud de la masa deslizada	ML	8,00
Dd	Profundidad de la masa deslizada	ML	1,50
Hc	Altura de contención	ML	2,00
Pc	Profundidad de cimentación	ML	1,00

**Recomendaciones Técnicas:** Se recomienda hacer estudio de suelos y de geotecnia para determinar cuál es la obra que se requiere para la contención del talud y para el

manejo de aguas tanto superficiales como profundas y se recomienda hacer la remoción del derrumbe.

**Tramo: Suesca-Santa Rosa (PK 079 + 800)**

Departamento de Cundinamarca

**Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera:** Se presenta hundimiento de grandes proporciones del terraplén de la vía, con pérdida de la banca, el cual afectó tanto la superestructura como la infraestructura de la vía férrea en una longitud de 250 ML.

Adicionalmente, como efecto de dicha falla, se presenta el colapso de una alcantarilla y la caída y demolición de los muros y aletas.

Como efecto paralelo a esta condición, se aprecia el desplazamiento del material a media ladera.

Esta situación fue generada por la saturación del terraplén ocasionada por la depositación de aguas de escorrentía de la vía que conduce de Suesca a Santa Rosa y la inexistencia de obras de drenaje y de encauzamiento de estas aguas, como de las aguas lluvias.

Igualmente con el movimiento de masas sucedido, los rieles y las traviesas resultaron totalmente averiados.



Figura 35. Fotografías Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Suesca-Santa Rosa PK 079 + 800

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). Año 2012

**Afectaciones a la Vía Férrea:**

Superestructura: Rieles, traviesas y balasto

Infraestructura: Terraplén

Drenajes: Ninguna

### Condiciones de Terraplén:

Material de relleno: Suelo  
 Clasificación del material: Arcilla  
 Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional  
 Humedad del Material: Saturado  
 No existen drenajes superficiales y/o profundos.  
 Estructuras de Contención: Muro en concreto

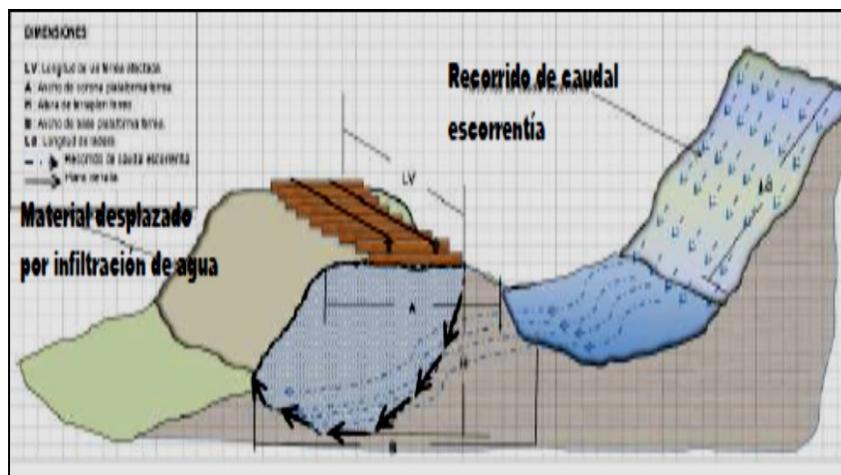


Gráfico 11. Sección Típica: Deslizamiento del terraplén ferroviario media ladera Sector Suesca-Santa Rosa PK 079 + 800

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). Año 2012

### Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	250,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base terraplén férreo	ML	20,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	5,00
Ld	Longitud de la masa desplazada	ML	20,00
Dd	Profundidad de la masa desplazada	ML	2,50
Hc	Altura de contención	ML	15,00
Pc	Profundidad de cimentación	ML	7.50

**Recomendaciones Técnicas:** Se recomienda hacer estudios de suelos, geotécnicos e hidrológicos, con el fin de determinar cuáles son las obras que se requieren para estabilizar el terreno, para las estructuras de contención del terraplén y para el manejo de las aguas superficiales y profundas.

Se recomienda hacer el retiro de los elementos que se encuentran como rieles y traviesas y hacer la remoción del material suelto.

La interventoría propone hacer un tablestacado, la construcción de dos alcantarillas, mejoramiento del piso con una capa de 1,50 m de rajón (pedraplén), que sirve como elemento estabilizante y de capacidad de soporte del piso y además como filtro.

Se propone también hacer un relleno en recebo de 1,5 m y la construcción de cunetas en concreto que recojan las aguas en una longitud de 250m.

### 3.1.2. Sub-Tramo: Chocontá-Villa Pinzón

#### Sub-Tramo: Chocontá-Villa Pinzón (PK 0103 + 470)

Departamento de Cundinamarca

**Desplazamiento Lateral del cauce del Río:** Se presenta el colapso de un muro sobre la margen derecha del Rio Bogotá con derrumbe a media ladera del talud de la vía férrea, comprometiendo la infraestructura y la superestructura. Dicha falla se presentó por socavación de la pata del muro por acción de las aguas dicho rio, ya que la fuerza de la corriente es mayor en tramos curvos por el efecto rotacional que se produce en ellos.



Figura 36. Fotografías Desplazamiento Lateral del cauce del Río. Sector: Chocontá-Villa Pinzón (PK 0103 + 470)

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). Año 2012

#### Afectaciones a la vía férrea:

Superestructura: Ninguna

Infraestructura: Terraplén

Drenajes: Ninguna.

#### Condiciones del Terraplén:

Material de Relleno: Suelo

Clasificación del material: Arcilla

Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional  
 Humedad del Material: Seco.  
 No existen drenajes superficiales y/o profundos  
 Estructura de Contención: Muro en concreto.

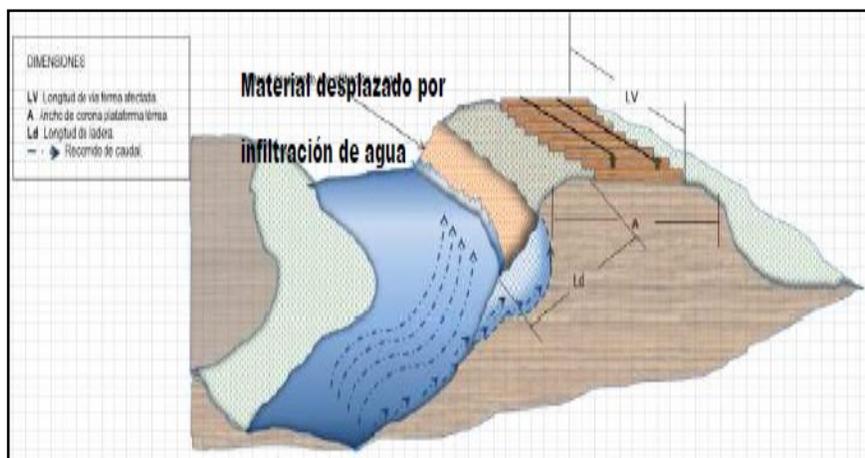


Gráfico 12. Sección Típica: Desplazamiento Lateral del cauce del Río. Sector: Chocontá-Villa Pinzón (PK 0103 + 470)

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). Año 2012

**Medidas de Estabilización:**

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	250,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base terraplén férreo	ML	20,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	5,00
Ld	Longitud de la masa deslizada	ML	20,00
Dd	Profundidad de la masa deslizada	ML	2,50
Hc	Altura de contención	ML	15,00
Pc	Profundidad de cimentación	ML	7.50

**Recomendaciones técnicas:** Se recomienda hacer estudios de geotecnia, de suelos e hidrológicos, con el fin de establecer las obras que garanticen la estabilidad de la ladera, de la vía y determinar cuál es la cimentación que debe llevar y a que profundidad estará el muro que se contempla construir. Así mismo, se recomienda evaluar qué obras de protección se implementarán para amortiguar el impacto erosivo de la corriente de agua en los tramos curvos.

**Sub-Tramo: Chocontá-Villa Pinzón (PK 0103 + 770)**

Departamento de Cundinamarca

**Desplazamiento lateral del cauce del Río:** Se presenta el colapso de un muro sobre la margen derecha del Río Bogotá y el derrumbe a media ladera del talud de la vía férrea, comprometiendo la infraestructura y la superestructura de la misma. Dicha falla se presentó por socavación de la pata del muro por acción de las aguas del río, la fuerza de la corriente es mayor en tramos curvos por el efecto rotacional que se produce en ellos.



Figura 37. Fotografías Desplazamiento Lateral del cauce del Río. Sector Chocontá-Villa Pinzón (PK 0103 + 770)

**Afectaciones de la vía férrea:**

Superestructura: Ninguna  
 Infraestructura: Terraplén.  
 Drenajes: Ninguna.

**Condiciones del Terraplén**

Material de Relleno: Suelo  
 Clasificación del material: Arcilla  
 Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional  
 Humedad del Material: Seco.  
 No existen drenajes superficiales y/o profundos.

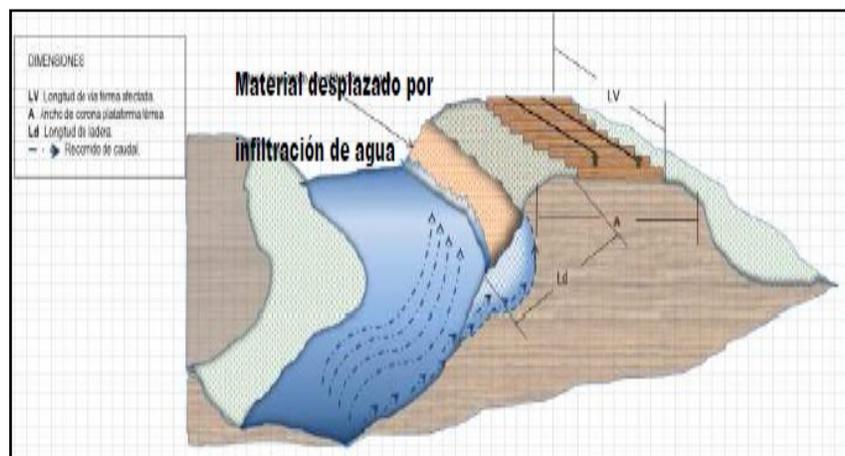


Gráfico 13. Sección típica de desplazamiento lateral del cauce del Río Sector Chocontá-Villa Pinzón (PK 0103 + 770)

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). Año 2012

### Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	30,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base terraplén férreo	ML	4,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	3,00
Hc	Altura de contención	ML	3,00
Pc	Profundidad de cimentación	ML	1,00

### Recomendaciones técnicas:

Se recomienda hacer estudios de geotecnia, de suelos e hidrológicos, con el fin de establecer las obras que garanticen la estabilidad de la ladera y del terraplén de la vía, así como, determinar cuál es la cimentación que debe llevar y a que profundidad para el muro que se contempla construir. Igualmente se recomienda evaluar que obras de protección se implementaran para amortiguar el impacto erosivo de la corriente de agua en los tramos curvos.

### 3.2. Tramo Villapinzón-Tunja

#### 3.2.1. Sub-Tramo: Villa Pinzón-Albarracín

##### Sub-Tramo: Villa Pinzón-Albarracín (PK 0112 + 500)

Departamento de Cundinamarca

**Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de ladera:** Se presenta derrumbe por inestabilidad del talud, ocasionado por la saturación del terreno, comprometiendo la superestructura de la vía.

En visita técnica, se evidencia que no existe ningún tipo de obras para el manejo hidráulico tanto de las aguas superficiales como profundas, igualmente se aprecia que la infiltración de agua es permanente, por lo que la falla persiste y la inminencia de nuevos deslizamientos de este tipo se pueden presentar.

También se aprecia que por el costado izquierdo de la vía el talud se encuentra saturado, lo que afecta los predios aledaños a la vía en ambos costados.



Figura 38. Fotografías Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de ladera Sector Villa Pinzón-Albarracín (PK 0112 + 500)  
Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). Año 2012

### Afectaciones de la vía férrea

Superestructura: Ninguna  
Infraestructura: Terraplén  
Drenajes: Ninguna

### Condiciones de Ladera:

Material de conformación: Suelo  
Clasificación del material: Arcilla de alta plasticidad  
Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional  
Humedad del Material: Seco.  
No existen drenajes superficiales y/o profundos.

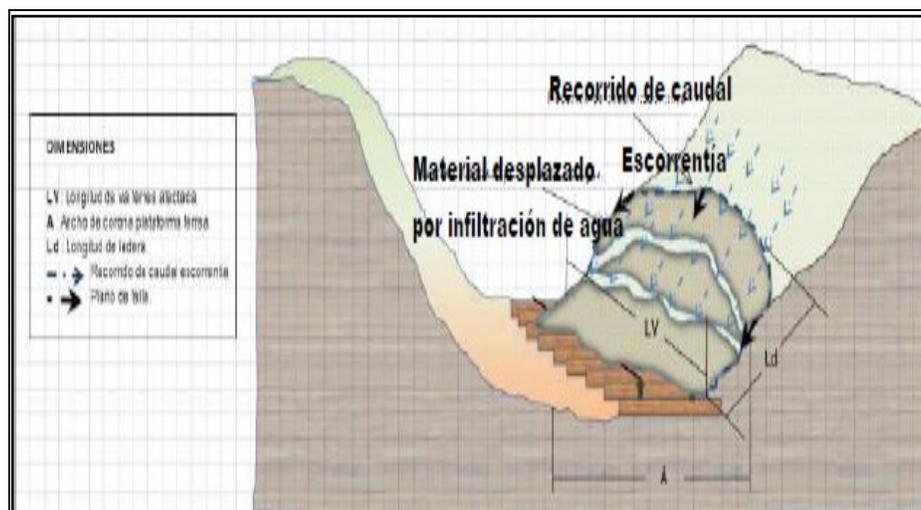


Gráfico 14. Sección Típica Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de ladera. Sector Villa Pinzón-Albarracín (PK 0112 + 500).  
Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). Año 2012

### Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	70,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base terraplén férreo	ML	5,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	3,00
Ld	Longitud de la masa deslizada	ML	4,00
Dd	Profundidad de la masa deslizada	ML	1,50
Hc	Altura de contención	ML	2,00
Pc	Profundidad de cimentación	ML	1,00

**Recomendaciones Técnicas:** Se recomienda hacer estudio de suelos, de geotecnia e hidrología, con el fin de determinar cuáles son las obras que se requieren para estabilizar el terreno, las estructuras de contención del talud y para el manejo de las aguas tanto superficiales como profundas. Se recomienda hacer la remoción del material suelto. Es necesaria la construcción de cunetas revestidas en concreto en la pata del talud en una longitud de 70 ml, para la captación y evacuación del agua y protección del talud.

### Sub-Tramo: Villa Pinzón-Albarracín (PK 0112 + 720)

Departamento de Boyacá

**Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de ladera:** Se presenta derrumbe por inestabilidad del talud, ocasionado por la saturación del terreno, comprometiendo la superestructura de la vía. En visita técnica, se evidencia que no existe ningún tipo de obras para el manejo hidráulico tanto de las aguas superficiales como profundas. Igualmente, se aprecia que la infiltración de agua es permanente. Este problema afecta los predios aledaños a la vía en el costado derecho.



Figura 39. Fotografías Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de ladera Villa Pinzón-Albarracín (PK 0112 + 720)

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). Año 2012

### Afectaciones a la Vía Férrea:

Superestructura: Ninguna

Infraestructura: Ninguna

Drenajes: Ninguna

### Condiciones de Ladera:

Material de conformación: Suelo

Clasificación del material: Arcilla de alta plasticidad

Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional

Humedad del Material: Seco.

No existen drenajes superficiales y/o profundos.

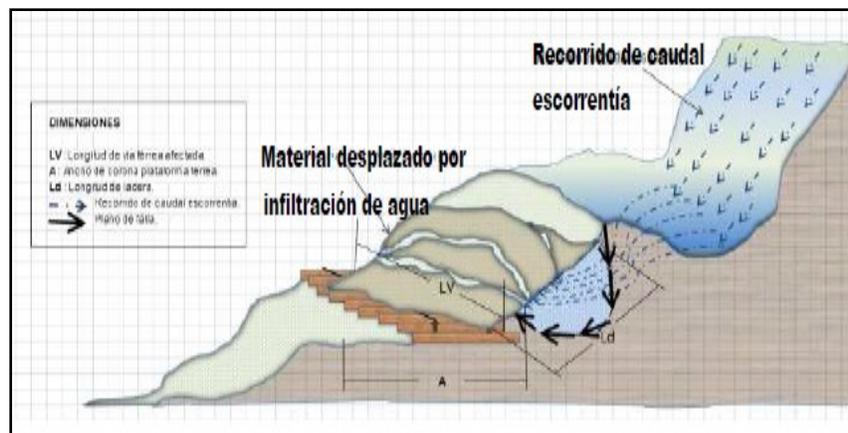


Gráfico 15. Sección Típica: Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de ladera Sector Villa Pinzón-Albarracín (PK 0112 + 720).

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

### Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	19,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base terraplén férreo	ML	4,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	2,00
Ld	Longitud de la masa deslizada	ML	9,00
Dd	Profundidad de la masa deslizada	ML	1,00
Hc	Altura de contención	ML	2,00
Pc	Profundidad de cimentación	ML	1,00

**Recomendaciones Técnicas:** Se recomienda hacer estudio de suelos, de geotecnia e hidrología, con el fin de determinar cuáles son las obras que se requieren para estabilizar y contener el talud, así como para el manejo tanto de las aguas superficiales como profundas. Se recomienda hacer la remoción del material suelto.

#### **Sub-Tramo Villa Pinzón-Albarracín (PK 0117 + 150)**

**Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera:** Se presenta hundimiento de la banca de la vía, afectando el terraplén y comprometiendo la infraestructura y la superestructura. En el costado izquierdo del terraplén existe un reservorio de agua del predio que se encuentra a media ladera, las aguas se filtraron al terraplén desestabilizándolo, ocasionando el fallo presentado.



Figura 40. Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Villa Pinzón-Albarracín (PK 0117 + 150)

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

#### **Afectaciones a la vía férrea:**

Superestructura: Rieles, Traviesas y Balasto

Infraestructura: Terraplén

Drenajes: Ninguna

#### **Condiciones del Terraplén:**

Material de Relleno: Suelo

Clasificación del material: Arcilla

Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional

Humedad del Material: Seco.

No existen drenajes superficiales y/o profundos.

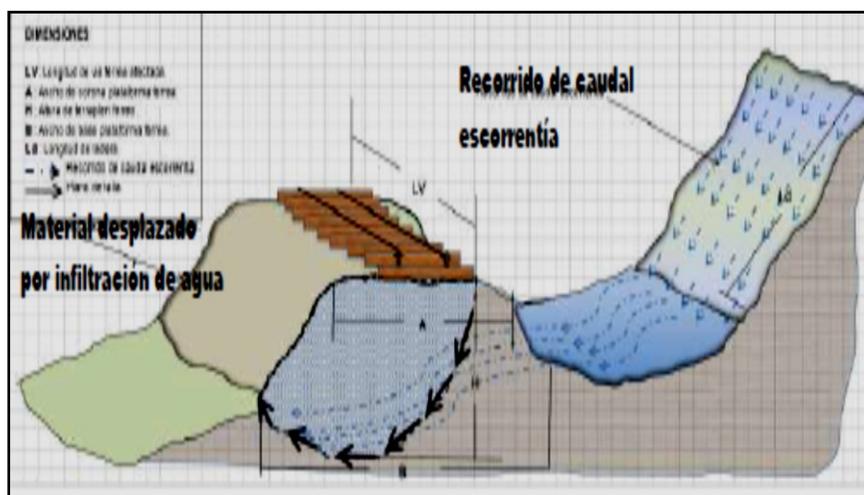


Gráfico 16. Sección Típica: Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Villa Pinzón-Albarracín (PK 0117 + 150).

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

#### Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	60,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base terraplén férreo	ML	28,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	6,00
Hc	Altura de contención	ML	7,50
Pc	Profundidad de cimentación	ML	7,50
Dt	Diámetro tubería	ML	1,50

**Recomendaciones Técnicas:** Se recomienda hacer estudio de suelos, de geotecnia e hidrología, con el fin de determinar cuáles son las obras que se requieren para estabilizar y contener el terraplén, para el manejo de las aguas tanto superficiales como profundas. Se recomienda hacer la remoción del material suelto. La interventoría recomienda la construcción de una alcantarilla y de un sistema de drenajes para evitar que esta concentración de aguas siga saturando y desestabilizando el terraplén.

#### Sub-Tramo: Villa Pinzón-Albarracín (PK 0117 + 750)

**Deslizamiento del Terraplén ferroviario a media ladera:** Se presenta hundimiento de la banca de la vía, afectando el terraplén de la misma, comprometiendo la infra y la superestructura.

En visita de interventoría, se encontró que en el costado izquierdo del terraplén existe un reservorio de agua del predio que se encuentra a media ladera, también se aprecia que la alcantarilla existente colapso y que estas aguas se filtraron al terraplén ocasionando el fallo presentado.



Figura 41. Fotografías Deslizamiento del Terraplén ferroviario a media ladera Sector Villa Pinzón-Albarracín (PK 0117 + 750).

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

**Afectaciones a la vía Férrea:**

Superestructura: Rieles, Traviesas y balasto  
 Infraestructura: Terraplén  
 Alcantarillado: Tubería

**Condiciones del Terraplén:**

Material de relleno: Suelo  
 Clasificación del material: Arcilla  
 Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional  
 Humedad del Material: Seco.  
 No existen drenajes superficiales y/o profundos.

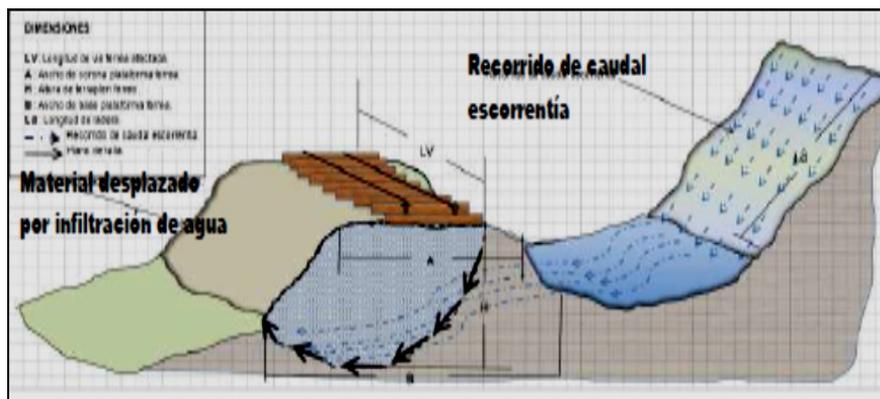


Gráfico 17. Sección Típica: Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Villa Pinzón-Albarracín (PK 0117 + 750).

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

### Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	65,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base terraplén férreo	ML	20,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	3,00
Ld	Longitud de la masa deslizada	ML	6,00
Dd	Profundidad de la masa deslizada	ML	3,00
Hc	Altura de contención	ML	4,00
Pc	Profundidad de cimentación	ML	8,00

**Recomendaciones Técnicas:** Se recomienda hacer estudio de suelos, de geotecnia e hidrología, con el fin de determinar cuáles son las obras que se requieren para estabilizar y confinar el terraplén existente en el costado derecho, así como para el manejo tanto de las aguas superficiales como profundas. Se recomienda hacer la remoción del material suelto. La interventoría recomienda la reposición de la alcantarilla y de un sistema de drenajes para evitar que la concentración de aguas siga saturando y desestabilizando el terraplén. También se hace necesario el desarme y la recuperación de las traviesas y rieles afectados.

### Sub-Tramo: Villa Pinzón-Albarracín (PK 0119 + 250)

**Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera:** Se presenta hundimiento de la banca de la vía, ocasionado por saturación de la pata del terraplén, ya que en el costado izquierdo de la vía, el terreno se presenta a media ladera y las aguas de escorrentía se depositan en la parte baja de la ladera. En visita de interventoría se encontró, que no existe ningún tipo de obra de drenaje y de recolección y manejo de aguas.



Figura 42. Fotografías Deslizamiento del Terraplén ferroviario a media ladera Sector Villa Pinzón-Albarracín (PK 0119 + 250).

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

### Afectaciones a la vía Férrea:

Superestructura: balasto  
Infraestructura: Terraplén  
Drenajes: Ninguna

### Condiciones del Terraplén:

Material de relleno: Suelo  
Clasificación del material: Arcilla  
Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional  
Humedad del material: seco.  
No existen drenajes superficiales y/o profundos.

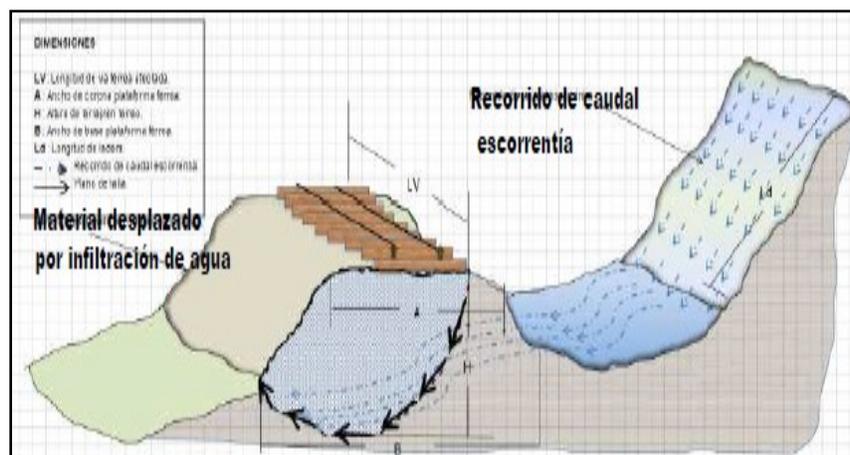


Gráfico 18. Sección Típica: Deslizamiento del Terraplén ferroviario a media ladera Sector Villa Pinzón-Albarracín (PK 0119 + 250).

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

### Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	30,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base terraplén férreo	ML	4,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	5,00
Ld	Longitud de la masa desplazada	ML	4,00
Dd	Profundidad de la masa desplazada	ML	1,00
Hc	Altura de contención	ML	10,00
Pc	Profundidad de cimentación	ML	8,00

**Recomendaciones Técnicas:** Se recomienda hacer estudio de suelos, de geotecnia e hidrología, con el fin de determinar cuáles son las obras que se requieren para estabilizar y confinar el terraplén, así como para el manejo tanto de las aguas superficiales como profundas.

Se recomienda hacer la remoción del material suelto. Adicionalmente la interventoría recomienda la construcción de una cuneta por el costado izquierdo, con el fin de recoger las aguas y entregarlas a alcantarilla existente.

#### **Sub-Tramo: Villa Pinzón-Albarracín (PK 0120 + 800)**

Departamento de Cundinamarca

**Deslizamiento de terraplén ferroviario a Media Ladera:** Se presenta hundimiento de la banca de la vía, comprometiendo tanto la infraestructura como la superestructura, debido a saturación del terraplén y a un movimiento en masa de grandes proporciones de la ladera por el costado izquierdo del corredor férreo.

En la visita de interventoría se aprecia el desplazamiento de la vía hacia la parte derecha de la misma.



Figura 43. Fotografías Deslizamiento de terraplén ferroviario a Media Ladera Sector Villa Pinzón-Albarracín (PK 0120 + 800)

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

#### **Afectaciones a la vía Férrea:**

Superestructura: rieles  
Infraestructura: Terraplén  
Drenajes: Ninguna

#### **Condiciones del Terraplén:**

Material de relleno: Suelo  
Clasificación del material: Arcilla  
Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional

Humedad del material: seco.  
 No existen Drenajes superficiales y/o profundos.

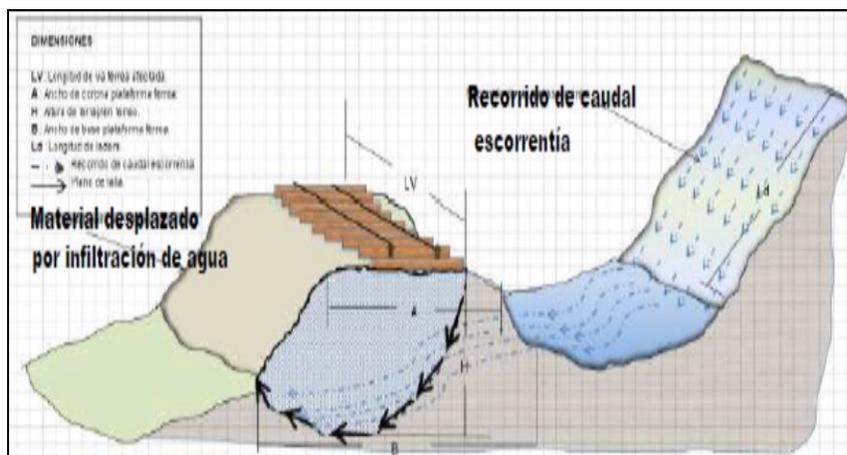


Gráfico 19. Sección Típica: deslizamiento del terraplén ferroviario a Media Ladera Sector Villa Pinzón-Albarracín (PK 120 + 800)  
 Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

**Medidas de Estabilización:**

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	260,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base terraplén férreo	ML	20,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	4,00
Ld	Longitud de la masa deslizada	ML	10,00
Dd	Profundidad de la masa deslizada	ML	1,00
Hc	Altura de contención	ML	4,00
Pc	Profundidad de cimentación	ML	4,50

**Recomendaciones técnicas:** Se recomienda para este sitio hacer estudios de geotecnia, de suelos e hidrológicos, con el fin de determinar cuáles son las obras que garantizan la estabilidad de la vía en este tramo, ya que se evidencia que el problema se generó por un gran movimiento en masa de la ladera por el costado izquierdo.

**3.2.2. Sub-Tramo: Albarracín-Venta Quemada**

**Sub-Tramo: Albarracín-Venta Quemada PK 0123 + 000**

Departamento de Cundinamarca.

**Deslizamiento del terraplén Ferroviario a media ladera:** Se presenta desestabilización del terraplén con deslizamiento a media ladera, comprometiendo el terraplén de la vía. En visita de la interventoría se encontró que la ladera es bastante profunda y que la filtración de aguas por el costado izquierdo afecta el tramo de vía en este sector, ya que las labores de mantenimiento de cunetas son mínimas.



Figura 44. Fotografías Deslizamiento de Terraplén ferroviario a media ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 0123 + 000).

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

**Afectaciones a la vía Férrea:**

Superestructura: Ninguna  
 Infraestructura: Terraplén

**Condiciones del Terraplén:**

Material de relleno: Suelo  
 Clasificación del material: Arcilla  
 Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional  
 Humedad del material: seco.  
 No existen drenajes superficiales y/o profundos

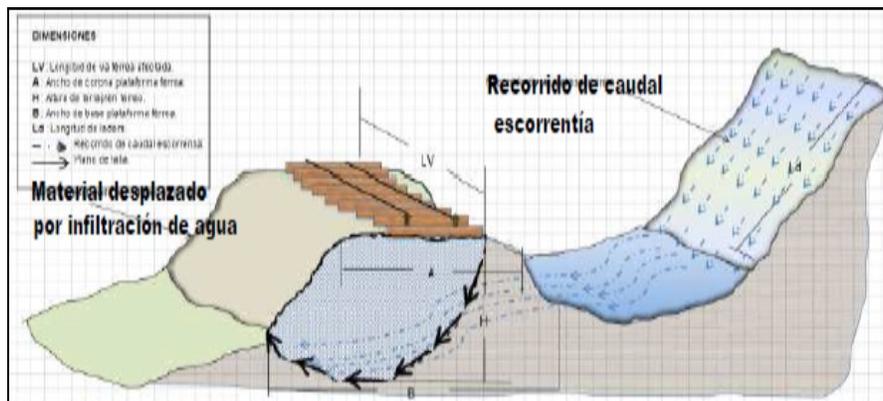


Gráfico 20. Sección Típica: deslizamiento del terraplén ferroviario a Media Ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 0123 + 000).

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

### Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	15,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base terraplén férreo	ML	4,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	5,00
Ld	Longitud de la masa deslizada	ML	3,00
Dd	Profundidad de la masa deslizada	ML	5,00
Hc	Altura de contención	ML	3,00
Pc	Profundidad de cimentación	ML	1,00

**Recomendaciones técnicas:** Se recomienda hacer estudio de suelos y de geotecnia, con el fin de determinar cuáles son las obras que se requieren para estabilizar y confinar el terraplén, así como para el manejo de las aguas superficiales como profundas. Adicionalmente la interventoría recomienda la construcción de una cuneta por el costado izquierdo, con el fin de recoger las aguas y entregarlas a alcantarilla existente.

### Sub-Tramo: Albarracín-Ventaquemada (PK 0123 + 200)

Departamento de Boyacá.

**Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de ladera:** Se presenta deslizamiento del talud en el costado izquierdo de la vía, ocasionado por la saturación del material y a la inexistencia de obras de drenaje y manejo de aguas superficiales.



Figura 45. Fotografías Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 0123 + 200).

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

## Afectaciones a la vía Férrea

Superestructura: Ninguna

Infraestructura: Ninguna

Drenajes: Ninguna

## Condiciones de ladera

Material de conformación: Suelo

Clasificación del material: Arcilla de alta plasticidad

Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional

Humedad del material: seco.

No existen drenajes superficiales y/o profundos.

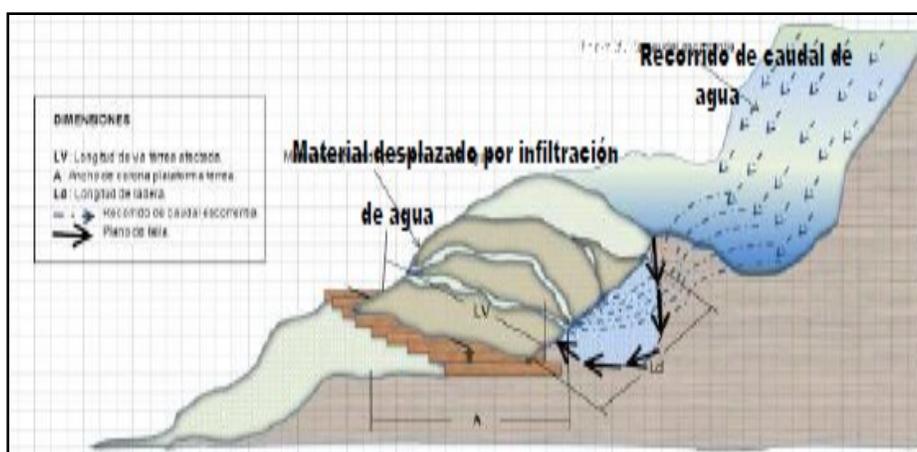


Gráfico 21. Sección Típica: deslizamiento del terraplén ferroviario a Media Ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 0123 + 200)

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

## Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	20,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base terraplén férreo	ML	5,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	2,00
Ld	Longitud de la masa desplazada	ML	4,00
Dd	Profundidad de la masa desplazada	ML	2,00
Hc	Altura de contención	ML	2,00
Pc	Profundidad de cimentación	ML	1,00

**Recomendaciones Técnicas:** Se recomienda hacer estudio de suelos y de geotecnia, con el fin de determinar cuáles son las obras que se requieren para estabilizar el talud, así como para el manejo tanto de las aguas superficiales como profundas.

Adicionalmente la interventoría recomienda la construcción de una cuneta por el costado izquierdo a pie de talud, con el fin de recoger las aguas y entregarlas a la alcantarilla existente.

### **Sub-Tramo: Albarracín-Ventaquemada (PK 0126 + 200)**

Departamento de Boyacá

**Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de ladera:** Se presenta hundimiento de la banca de la vía, ocasionado por saturación de la pata del terraplén, ya que en el costado izquierdo de la vía, el terreno se presenta a media ladera y las aguas de escorrentía se depositan en la parte baja de la ladera.

En visita de la interventoría, se encontró que no existe ningún tipo de obra de drenaje y de recolección y manejo de aguas.



Figura 46. Fotografías Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 0126 + 200).

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

### **Afectaciones de la vía férrea**

Superestructura: Rieles, traviesas y balasto

Infraestructura: Terraplén

Drenajes: Ninguna.

### **Condiciones de Terraplén:**

Material de Relleno: Suelo

Clasificación de material: Arcilla.

Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional

Humedad del Material: Saturado.  
 No existen drenajes superficiales y/o profundos.

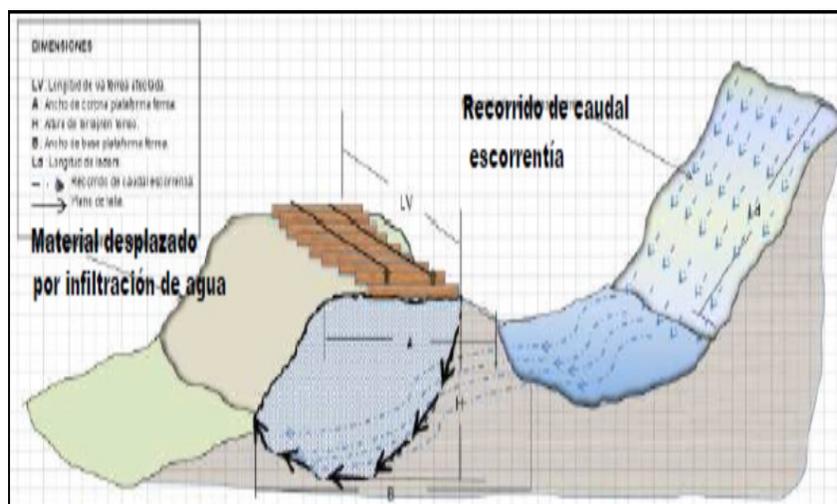


Gráfico 22. Sección Típica: deslizamiento del terraplén ferroviario a pie de Ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 126 + 200).  
 Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

**Medidas de Estabilización:**

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	35,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base terraplén férreo	ML	24,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	5,00
Hc	Altura de contención	ML	7,50
Pc	Profundidad de cimentación	ML	7,50
Da	Diámetro tubería	ML	1,50

**Recomendaciones técnicas:** Se recomienda hacer estudio de suelos y de geotecnia, con el fin de determinar cuáles son las obras que se requieren para estabilizar y confinar el terraplén, así como para el manejo tanto de las aguas superficiales como profundas.

Adicionalmente la interventoría recomienda la construcción de una alcantarilla con el fin de recoger y evacuar las aguas.

## Sub-Tramo: Albarracín-Ventaquemada (PK 0126 + 700)

Departamento de Boyacá

**Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de ladera:** Se presenta hundimiento de la banca de la vía, ocasionado por colapso de alcantarilla y a que en el costado izquierdo de la vía, el terreno se presenta a media ladera y se encuentra un reservorio de aguas del predio a alledaño a la misma.

Las aguas de escorrentía se depositan en la parte baja de la ladera. En visita de interventoría se encontró, que la alcantarilla que existe se encuentra colmatada y colapsada.



Figura 47. Fotografías Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 0126 + 700).

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

### Afectaciones de la vía férrea

Superestructura: traviesas y balasto

Infraestructura: Terraplén

Drenajes: Tubería

### Condiciones del terraplén:

Material de Relleno: Suelo

Clasificación de material: Arcilla.

Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional

Humedad del Material: Saturado.

No existen Drenajes Superficiales y/o profundos

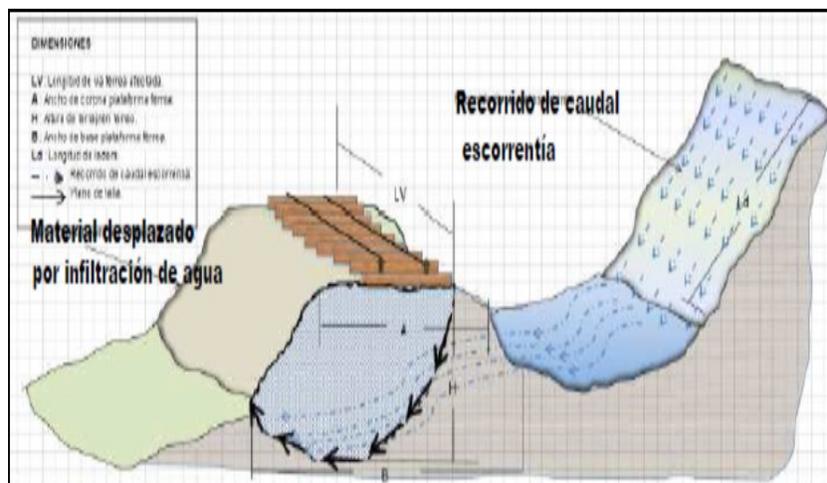


Gráfico 23. Sección Típica: deslizamiento del terraplén ferroviario a pie de Ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 126 + 700).

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

#### Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	18,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base terraplén férreo	ML	40,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	9,00
Hc	Altura de contención	ML	7,50
Pc	Profundidad de cimentación	ML	7,50
Da	Diámetro tubería	ML	1,50

#### Recomendaciones técnicas

Se recomienda hacer estudio de suelos y de geotecnia, con el fin de determinar cuáles son las obras que se requieren para estabilizar y confinar el terraplén, así como para el manejo tanto de las aguas superficiales como profundas. Adicionalmente la interventoría recomienda hacer el desarme de la vía y la recuperación de las traviesas y de los rieles que se encuentran en el aire.

#### Sub-Tramo: Albarracín-Ventaquemada (PK 0127 + 280)

Departamento de Boyacá

**Deslizamiento de terraplén a media ladera:** Se presenta hundimiento de la banca de la vía, ocasionado por colapso de alcantarilla en el costado izquierdo de la vía, el terreno se presenta a media ladera y el agua de esta se deposita saturando el pie del terraplén. En visita de la interventoría se encontró, que la alcantarilla que existe se encuentra colmatada y colapsada.



Figura 48. Fotografías Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 0127 + 280)  
Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

### Afectaciones de la vía férrea

Superestructura: traviesas y balasto

Infraestructura: Terraplén

Drenajes: Tubería

### Condiciones del terraplén

Material de Relleno: Suelo

Clasificación de material: Arena Arcillosa.

Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional

Humedad del Material: Saturado.

No existen Drenajes superficiales y/o profundos.

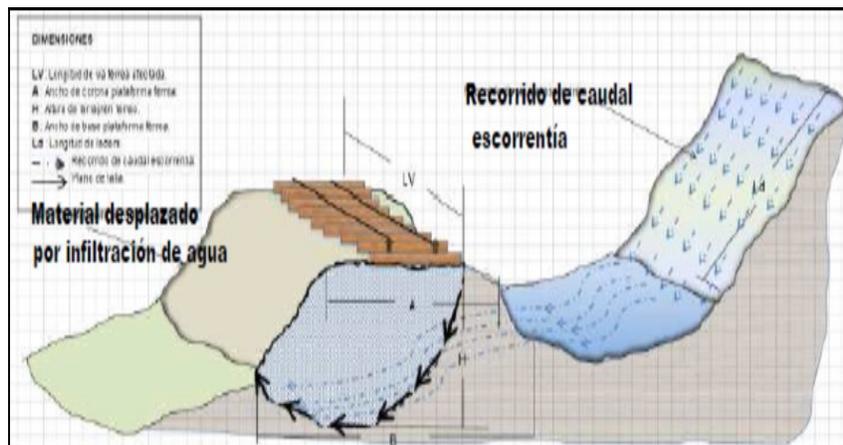


Gráfico 24. Sección Típica: deslizamiento del terraplén ferroviario a media Ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 127 + 280).

### Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	60,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base terraplén férreo	ML	20,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	4,00
Hc	Altura de contención	ML	4,00
Pc	Profundidad de cimentación	ML	1,00

### Recomendaciones técnicas:

Se recomienda hacer estudio de suelos y de geotecnia, con el fin de determinar cuáles son las obras que se requieren para estabilizar y confinar el terraplén, así como para el manejo tanto de las aguas superficiales como profundas. Adicionalmente la interventoría recomienda hacer la construcción de una alcantarilla.

### Sub-Tramo: Albarracín-Ventaquemada (PK 0128 + 400)

Departamento de Boyacá

**Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de ladera:** Se presenta deslizamiento de la ladera por el costado derecho de la vía, ocasionado por la saturación del terreno y a la falta de obras de drenaje y de conducción de aguas por el costado izquierdo de la vía, pues este terreno se presenta a media ladera y el agua de esta se infiltra saturando el pie del terraplén. En visita de la interventoría se encontró, que no existe obra alguna de manejo y evacuación de aguas.



Figura 49. Fotografías Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 0128 + 400)

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

## Afectaciones de la vía férrea

Superestructura: Balasto  
Infraestructura: Terraplén  
Drenajes: Ninguna

## Condiciones del terraplén

Material de Relleno: Suelo  
Clasificación de material: Arcilla.  
Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional  
Humedad del Material: Saturado.  
No existen Drenajes superficiales y/o profundos

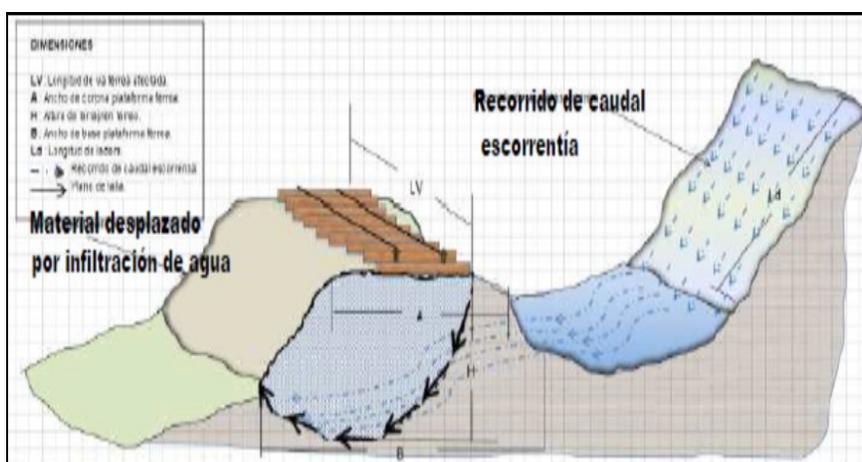


Gráfico 25. Sección Típica: deslizamiento del terraplén ferroviario a media Ladera Sector Albarracín-Ventaquemada PK 128 + 400.

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

## Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	40,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base terraplén férreo	ML	20,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	4,00
Ld	Longitud de la masa deslizada	ML	4,00
Dd	Profundidad de la masa deslizada	ML	3,00
Hc	Altura de contención	ML	3,00
Pc	Profundidad de cimentación	ML	1,00

**Recomendaciones técnicas:** Se recomienda hacer estudio de suelos y de geotecnia, con el fin de determinar cuáles son las obras que se requieren para estabilizar y confinar el terraplén, así como para el manejo tanto de las aguas superficiales como profundas.

Adicionalmente la interventoría recomienda hacer la construcción de una alcantarilla.

**Sub-Tramo: Albarracín-Ventaquemada (PK 0129 + 900)**

Departamento de Boyacá

**Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de ladera:** Se presenta hundimiento de la banca de la vía, comprometiendo tanto la infraestructura, como la superestructura de la misma, debido a la saturación del terraplén por aguas de escorrentía y superficiales del talud izquierdo, el cual no cuenta con obras de drenaje y de recolección y evacuación de aguas.



Figura 50. Fotografías Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 0129 + 900)  
Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

**Afectaciones de la vía férrea**

Superestructura: Rieles y Balasto

Infraestructura: Terraplén

Drenajes: Ninguna

**Condiciones del terraplén**

Material de Relleno: Suelo

Clasificación de material: Arcilla.

Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional

Humedad del Material: Saturado.

No existen Drenajes superficiales y/o profundos.

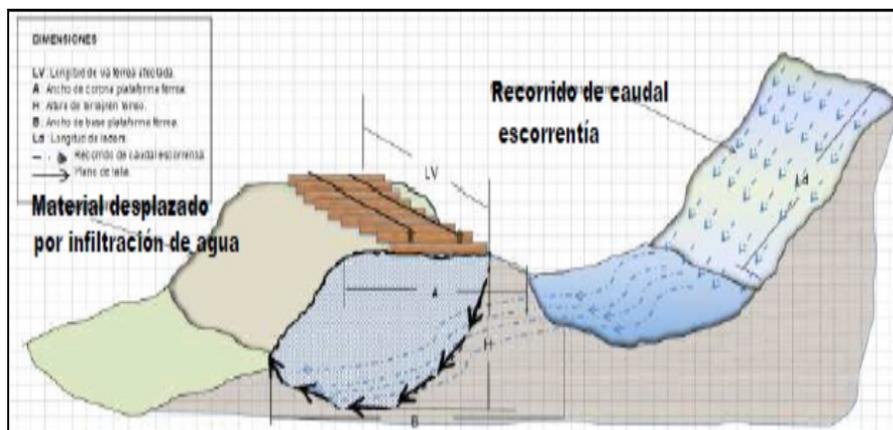


Gráfico 26. Sección Típica: deslizamiento del terraplén ferroviario a pie de Ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 129 + 900).

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

**Medidas de Estabilización:**

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	15,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base terraplén férreo	ML	5,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	3,00
Ld	Longitud de la masa deslizada	ML	12,00
Dd	Profundidad de la masa deslizada	ML	3,00
Hc	Altura de contención	ML	4,00
Pc	Profundidad de cimentación	ML	1,00

**Recomendaciones Técnicas:** Se recomienda hacer estudio de suelos y de geotecnia, para determinar cuáles son las obras que se requieren para estabilizar y confinar el terraplén y para el manejo tanto de las aguas superficiales como profundas. La interventoría recomienda hacer la construcción de una cuneta en concreto y conectarla a la alcantarilla existente.

**Sub-Tramo: Albarracín-Ventaquemada (PK 0130 + 000)**

Departamento de Boyacá

**Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de ladera:** Se presenta hundimiento de la banca de la vía, comprometiendo la infraestructura y superestructura

de la misma, debido a saturación del terraplén por aguas de escorrentía y superficiales del talud derecho, no cuenta con obras de drenaje y de recolección y evacuación de aguas.



Figura 51. Fotografías Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 0130 + 000)  
Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

### Afectaciones de la vía férrea

Superestructura: Rieles, traviesas y Balasto  
Infraestructura: Terraplén.  
Drenajes: Ninguna.

### Condiciones del terraplén

Material de Relleno: Suelo  
Clasificación de material: Arcilla.  
Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional  
Humedad del Material: Saturado.  
No existen Drenajes superficiales y/o profundos

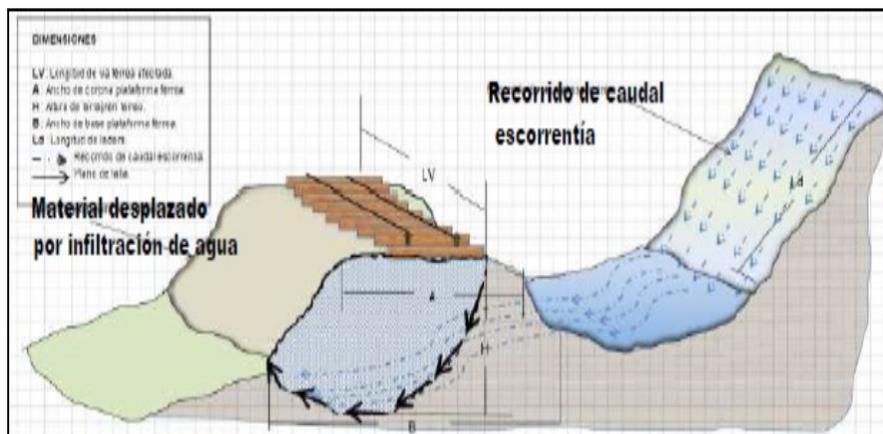


Gráfico 27. Sección Típica: deslizamiento del terraplén ferroviario a pie de Ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 130 + 000).  
Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

### Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	25,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base terraplén férreo	ML	12,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	3,00
Ld	Longitud de la masa deslizada	ML	3,00
Dd	Profundidad de la masa deslizada	ML	1,50
Hc	Altura de contención	ML	2,00
Pc	Profundidad de cimentación	ML	1,00

**Recomendaciones Técnicas:** Se recomienda hacer estudio de suelos y de geotecnia, con el fin de determinar cuáles son las obras que se requieren para estabilizar y confinar el terraplén, así como para el manejo tanto de las aguas superficiales como profundas. Adicionalmente la interventoría recomienda hacer la construcción de una alcantarilla.

### Sub-Tramo: Albarracín-Ventaquemada (PK 0134 + 100)

Departamento de Boyacá.

**Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de ladera:** Se presenta hundimiento de la banca de la vía, ocasionado por saturación de la pata del terraplén, ya que en el costado derecho de la vía, el terreno se presenta a media ladera y en la parte baja existe un reservorio de agua de grandes dimensiones.

En visita de interventoría se encontró, que no existe ningún tipo de obra de drenaje y de recolección y manejo de aguas.



Figura 52. Fotografías Deslizamiento de talud con terraplén ferroviario a pie de ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 0134 + 100).

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

## Afectaciones de la vía férrea

Superestructura: Rieles, traviesas y Balasto

Infraestructura: Terraplén

Drenajes: Ninguna

## Condiciones del terraplén

Material de Relleno: Suelo

Clasificación de material: Arcilla.

Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional

Humedad del Material: Saturado.

No existen Drenajes Superficiales y/o profundos.

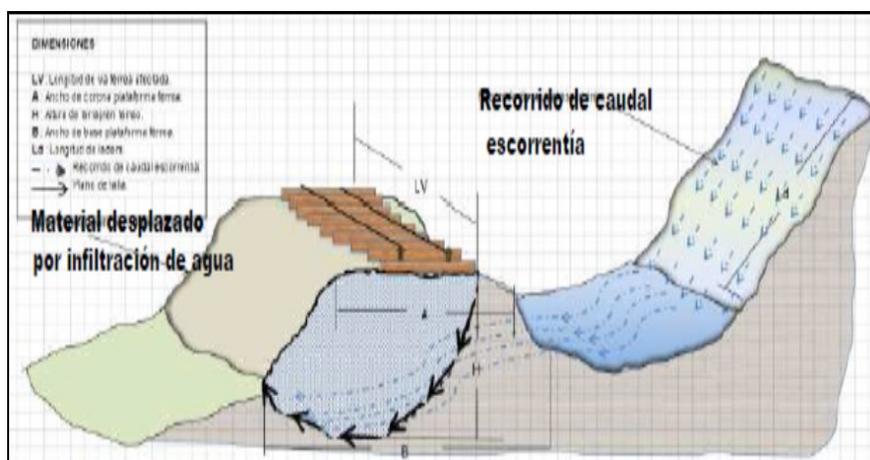


Gráfico 28. Sección Típica: deslizamiento del terraplén ferroviario a pie de Ladera Sector Albarracín-Ventaquemada (PK 134 + 100).

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

## Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	14,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base terraplén férreo	ML	28,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	6,00
Hc	Altura de contención	ML	10,00
Pc	Profundidad de cimentación	ML	5,00

**Recomendaciones Técnicas:** Se recomienda hacer estudio de suelos, de geotecnia e hidrología, con el fin de determinar cuáles son las obras que se requieren para estabilizar y confinar el terraplén, así y el manejo tanto de las aguas superficiales como profundas.

La interventoría recomienda la construcción de una alcantarilla y de un sistema de drenajes para evitar que esta concentración de aguas siga saturando y desestabilizando el terraplén. También se hace necesario el desarme y la recuperación de las traviesas y rieles afectados.

### 3.2.3. Sub-Tramo: Ventaquemada-Tierra Negra

#### Sub-Tramo: Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0137 + 500)

Departamento de Boyacá

**Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de ladera:** Se presenta derrumbe por inestabilidad del talud, ocasionado por la saturación del terreno, comprometiendo la superestructura de la vía.

En visita técnica de la interventoría, se evidencia que no existe ningún tipo de obras para el manejo hidráulico de las aguas superficiales ni de las profundas.

Igualmente se aprecia que la infiltración de agua es permanente, con lo cual la falla persiste y la inminencia de nuevos deslizamientos de este tipo se puede presentar.

Este problema afecta los predios aledaños a la vía en ambos costados.



Figura 53. Fotografías Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0137 + 500).

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

#### Afectaciones de la vía férrea

Superestructura: Ninguna

Infraestructura: Ninguna

Drenajes: Ninguna

#### Condiciones de Ladera:

Material de Conformación: Suelo

Clasificación de material: Arcilla.  
 Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional  
 Humedad del Material: Saturado.  
 No existen Drenajes Superficiales y/o profundos.

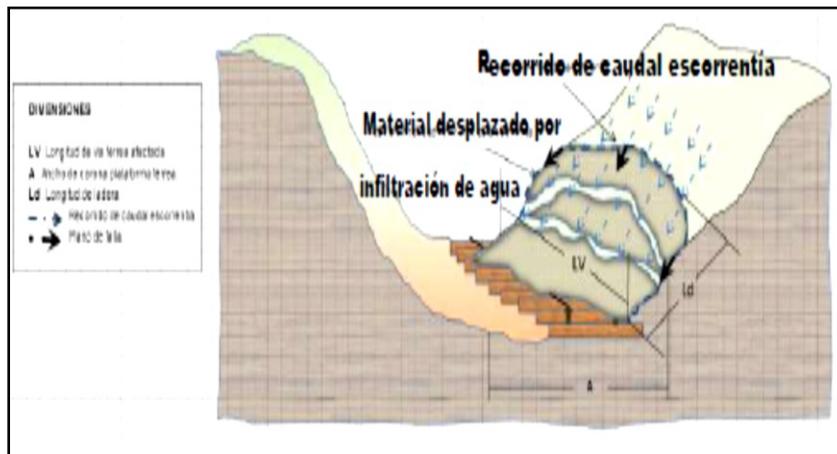


Gráfico 29. Sección Típica. Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0137 + 500).  
 Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

**Medidas de Estabilización:**

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	90,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base terraplén férreo	ML	4,00
Ld	Longitud de la masa desplazada	ML	15,00
Dd	Profundidad de la masa desplazada	ML	2,00
Hc	Altura de contención	ML	3,00
Pc	Profundidad de cimentación	ML	1,00

Estas obras deben obedecer a los resultados y diseños de los estudios y adicionalmente se presupuesta el desarme de 140 m de vía, ya que para el desarrollo de las obras se requiere la movilización de volquetas y a 50 m de la falla se llega por vía terciaria.

**Recomendaciones técnicas:** Se recomienda hacer estudio de suelos, de geotecnia e hidrología, con el fin de determinar cuáles son las obras que se requieren para estabilizar el terreno, para las estructuras de contención del talud y para el manejo tanto de las aguas superficiales como profundas.

También es necesaria la construcción de cunetas revestidas en concreto en la pata del talud, para la captación y evacuación del agua y protección del talud, ya que no existe.

### **Sub-Tramo: Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0137 + 900)**

Departamento de Boyacá

#### **Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera:**

Se presenta deslizamiento del terraplén de la vía por el costado derecho, debido al colapso de la alcantarilla, comprometiendo una vivienda que se encuentra en la parte baja del terraplén.



Figura 54. Fotografías Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera  
Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0137 + 900)

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

#### **Afectaciones de la vía férrea**

Superestructura: Ninguna

Infraestructura: terraplén

Drenajes: Alcantarillado: Tubería

#### **Condiciones del terraplén**

Material de Relleno: Suelo

Clasificación de material: Arcilla.

Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional

Humedad del Material: Saturado.

No existen drenajes superficiales y/o profundos.

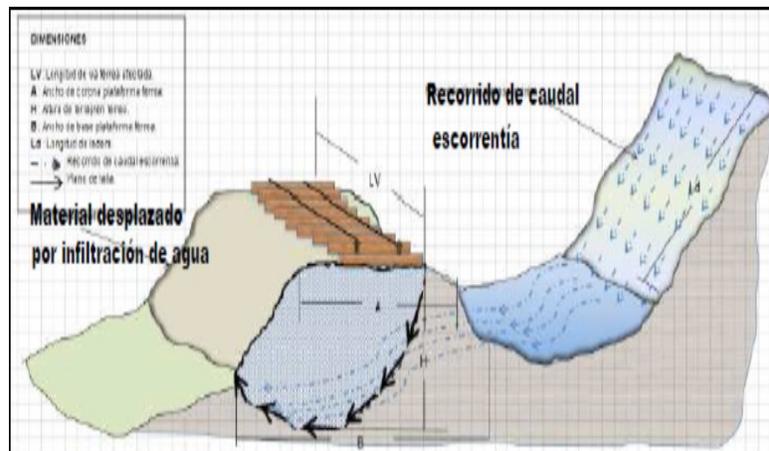


Gráfico 30. Sección Típica: Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0137 + 900)  
Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

**Medidas de Estabilización:**

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	90,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base terraplén férreo	ML	4,00
Ld	Longitud de la masa deslizada	ML	15,00
Dd	Profundidad de la masa deslizada	ML	2,00
Hc	Altura de contención	ML	3,00
Pc	Profundidad de cimentación	ML	1,00

**Recomendaciones técnicas:** Adicionalmente la interventoría recomienda hacer la construcción de una alcantarilla.

**Sub-Tramo: Ventaquemada-Tierra Negra PK (0139 + 100)**

Departamento de Boyacá

**Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera:** Se presenta hundimiento de la banca de la vía, ocasionado por colapso de alcantarilla, y a que en el costado izquierdo de la vía, el terreno se presenta a media ladera y el agua de esta se deposita saturando el pie del terraplén.

En visita de la interventoría se encontró, que en este sitio no existe ninguna obra de recolección, manejo y evacuación de aguas.



Figura 55. Fotografías Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0139 + 100)  
Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

### Afectaciones de la vía férrea

Superestructura: Ninguna  
Infraestructura: Terraplén  
Drenajes:  
Alcantarillado: Tubería

### Condiciones del terraplén

Material de Relleno: Suelo  
Clasificación de material: Arcilla.  
Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional  
Humedad del Material: Saturado.  
No existen Drenajes Superficiales y/o profundos.

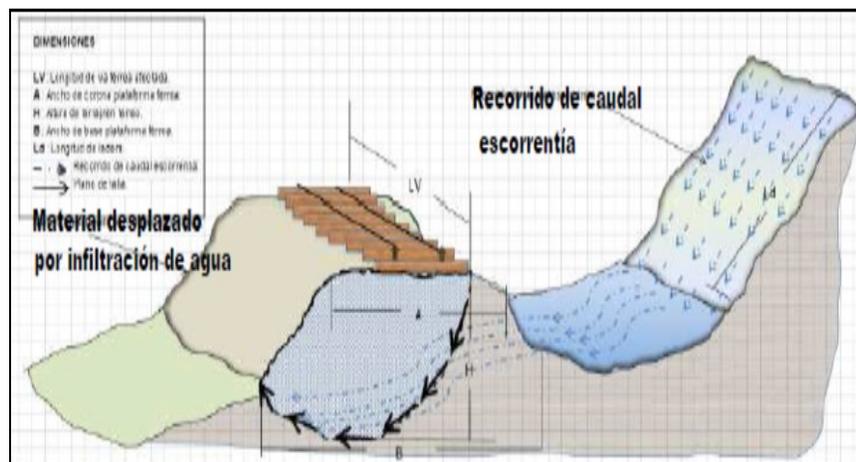


Gráfico 31. Sección Típica: Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0139 + 100).  
Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

### Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	15,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base terraplén férreo	ML	28,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	6,00
Dt	Diámetro tubería	ML	1,50

**Recomendaciones técnicas:** Se recomienda hacer estudio de suelos y de geotecnia, con el fin de determinar cuáles son las obras que se requieren para estabilizar y confinar el terraplén, así como para el manejo de las aguas superficiales como profundas. Adicionalmente la interventoría recomienda hacer la construcción de una alcantarilla.

### Sub-Tramo: Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0139 + 350)

Departamento de Boyacá

**Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de ladera:** Se presenta derrumbe por inestabilidad del talud, ocasionado por la saturación del terreno, comprometiendo la superestructura de la vía.

En visita técnica de la interventoría se evidencia que no existe ningún tipo de obras para el manejo hidráulico de las aguas superficiales como profundas, igualmente se aprecia que la infiltración de agua es permanente, con lo cual la falla persiste y la inminencia de nuevos deslizamientos de este tipo se puede presentar. Este problema afecta los predios aledaños a la vía por el costado izquierdo.



Figura 56. Fotografías Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0139 + 350).

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

## Afectaciones de la vía férrea

Superestructura: Ninguna  
Infraestructura: Ninguna  
Drenajes: Ninguna.

## Condiciones de Ladera

Material de Conformación: Suelo  
Clasificación de material: Arcilla.  
Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional  
Humedad del Material: Seco.  
No existen drenajes superficiales y/o profundos

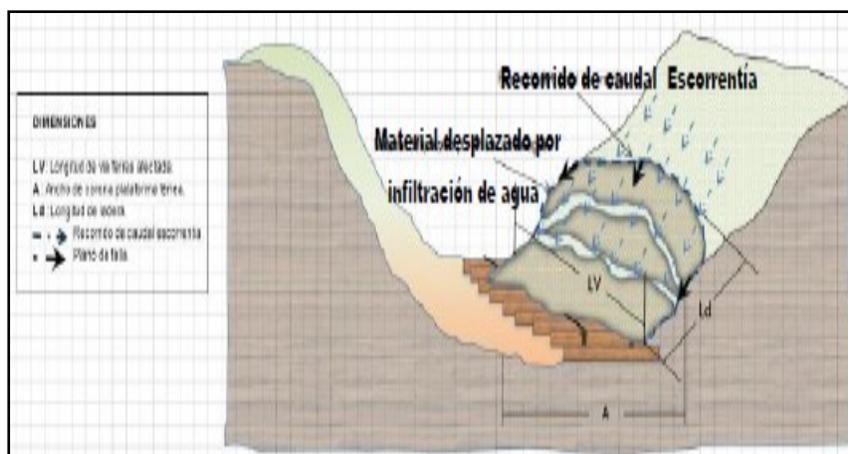


Gráfico 32. Sección Típica: Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 139+350).

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

## Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	60,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
Ld	Longitud de la masa deslizada	ML	10,00
Dd	Profundidad de la masa deslizada	ML	2,00
Hc	Altura de contención	ML	3,00
Pc	Profundidad de cimentación	ML	1,00

**Recomendaciones Técnicas:** Se recomienda hacer estudio de suelos, geotecnia e hidrología, para determinar cuáles son las obras que se requieren para estabilizar el

terreno, para las estructuras de contención del talud y para el manejo tanto de las aguas superficiales como profundas. Se recomienda hacer la remoción del material suelto de acuerdo a la Normatividad INVIAS artículos Nos. 211 - 07 y 210 - 07.

Es necesaria la construcción de cunetas revestidas en concreto en la pata del talud, para la captación y evacuación del agua y protección del talud, ya que no existe.

#### **Sub-Tramo: Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0139 + 400)**

Departamento de Boyacá

**Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera:** Se presenta material producto de un deslizamiento del talud, el cual se depositó sobre la vía férrea, ocasionado por la saturación del terreno y por la falta de obras de drenaje.



Figura 57. Fotografías Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 139+400).

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

#### **Afectaciones de la vía férrea**

Superestructura: Ninguna

Infraestructura: Ninguna

Drenajes:

Cunetas: Tierra

Alcantarillado: Encole y/o descole

#### **Condiciones de ladera:**

Material de Conformación: Suelo

Clasificación de material: Arcilla.

Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional

Humedad del Material: Seco.

No existen Drenajes superficiales y/o profundos

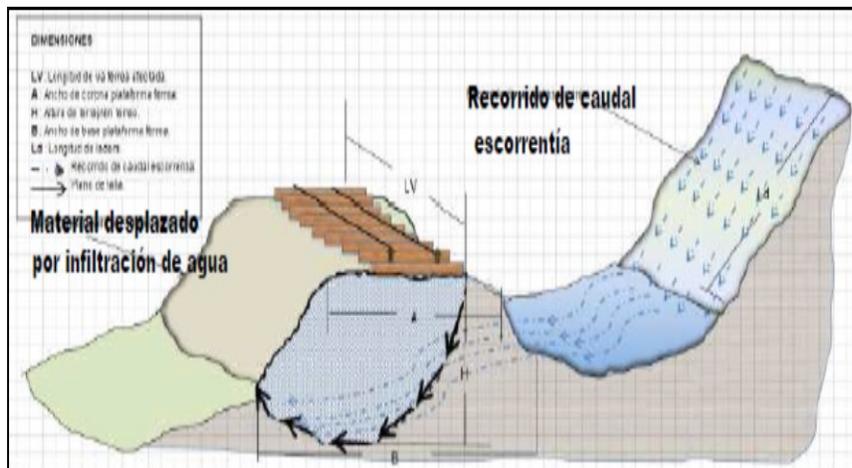


Gráfico 33. Sección Típica: Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 139+400).  
Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

**Medidas de Estabilización:**

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	60,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base terraplén férreo	ML	4,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	1,00
Dd	Profundidad de la masa deslizada	ML	1,00

Estas obras deben obedecer a los resultados y diseños de los estudios. Adicionalmente se propone la construcción de cunetas revestidas en concreto para el manejo y evacuación de aguas.

**Recomendaciones Técnicas:** Se recomienda hacer la remoción del material que se depositó sobre la vía por acción de una avalancha, para el manejo de las aguas superficiales se deben construir cunetas revestidas en concreto y un muro en gaviones para contener el talud aledaño.

**Sub-Tramo: Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0139 + 600)**

Departamento de Boyacá

**Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de ladera:** Se presenta derrumbe por inestabilidad del talud, que se ocasionó por la saturación del terreno, comprometiendo la superestructura de la vía.

En visita técnica de la interventoría, se evidencia que no existe ningún tipo de obras para el manejo hidráulico tanto de las aguas superficiales como profundas.

Igualmente se aprecia que la infiltración de agua es permanente, con lo cual la falla persiste y la inminencia de nuevos deslizamientos de este tipo se puede presentar.

Este problema afecta los predios aledaños a la vía por el costado izquierdo.



Figura 58. Fotografías Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0139 + 600).

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

#### **Afectaciones de la vía férrea**

Superestructura: Ninguna

Infraestructura: Ninguna

Drenajes:

Cunetas: Tierra

#### **Condiciones de ladera:**

Material de Conformación: Suelo

Clasificación de material: Arcilla.

Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional

Humedad del Material: Saturado.

No existen Drenajes superficiales y/o profundos.

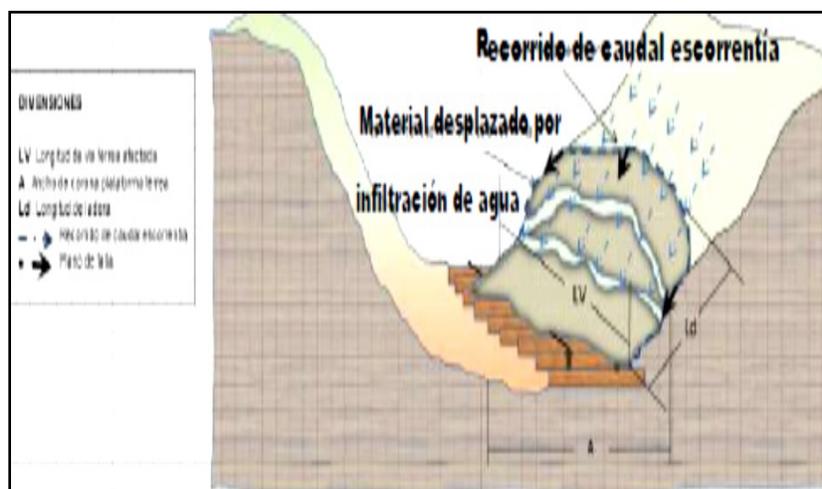


Gráfico 34. Sección Típica: Deslizamiento de taludes con paso de ferrocarril en corte de ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0139 + 600)  
Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

**Medidas de Estabilización:**

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	85,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base de terraplén férreo	ML	5,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	3,00
Ld	Longitud de la masa deslizada	ML	15,00
Dd	Profundidad de la masa deslizada	ML	2,00
Hc	Altura de contención	ML	3,00
Pc	Profundidad de cimentación	ML	1,00

Estas obras deben obedecer a los resultados y diseños de los estudios. Adicionalmente se propone la construcción de cunetas en tierra para el manejo y evacuación de aguas.

**Recomendaciones Técnicas:** Se recomienda hacer estudio de suelos, de geotecnia e hidrología, con el fin de determinar cuáles son las obras que se requieren para estabilizar el terreno, para las estructuras de contención del talud y para el manejo tanto de las aguas superficiales como profundas.

También es necesaria la construcción de cunetas revestidas en concreto en la pata del talud, para la captación y evacuación del agua y protección del talud, ya que no existe.

### **Sub-Tramo: Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0140 + 280)**

Departamento de Boyacá

**Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera:** Se presenta hundimiento de la banca de la vía, ocasionado por infiltración de aguas de escorrentía en el terreno y un movimiento en masa de grandes proporciones hacia la parte izquierda de la vía.

Hacia el costado derecho de la vía, se encuentra el terreno a media ladera, el cual se encuentra bastante inestable por la condición anterior.

En visita de la interventoría se encontró, que no existe ningún tipo de obra de drenaje que garantice la recolección y manejo de aguas.



Figura 59. Fotografías Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0140 + 280)

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

#### **Afectaciones de la vía férrea**

Superestructura: Rieles, traviesas y Balasto

Infraestructura: Terraplén

Drenajes: Cunetas: Tierra.

#### **Condiciones del terraplén**

Material de Relleno: Suelo

Clasificación de material: Arcilla.

Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional

Humedad del Material: Saturado.

No existen drenajes superficiales y/o profundos

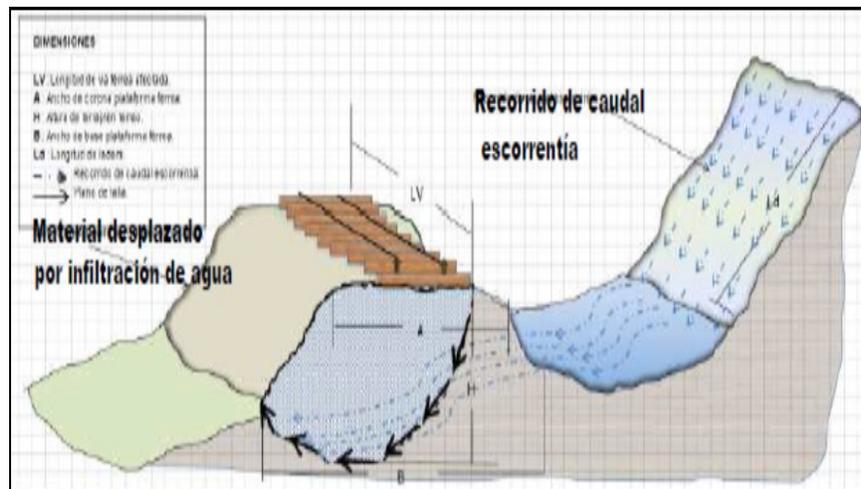


Gráfico 35. Sección Típica: Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra PK 0140 + 280

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

**Medidas de Estabilización:**

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	340,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base de terraplén férreo	ML	20,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	4,00
Dd	Profundidad de la masa deslizada	ML	2,00
Hc	Altura de contención	ML	7,50
Pc	Profundidad de cimentación	ML	7,50
Dt	Diámetro tubería	UN	1,50

**Recomendaciones técnicas:** Se recomienda hacer estudio de suelos, de geotecnia e hidrología, con el fin de determinar cuáles son las obras que se requieren para estabilizar y confinar el terraplén y el talud, el manejo tanto de las aguas superficiales como profundas. La interventoría recomienda la construcción de una alcantarilla y de un sistema de drenajes para evitar que esta concentración de aguas siga saturando y desestabilizando tanto el talud como el terraplén. También se hace necesario el desarme y la recuperación de las traviesas y rieles afectados.

**Sub-Tramo: Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0140 + 435)**

Departamento de Boyacá

**Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera:** Se presenta desprendimiento de material a media ladera, ocasionado por colapso de alcantarilla, comprometiendo la estabilidad del terraplén de la vía.



Figura 60. Fotografías Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0140 + 435).

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

### Afectaciones de la vía férrea

Superestructura: Balasto  
 Infraestructura: Terraplén  
 Alcantarillado: Tubería

### Condiciones del terraplén

Material de Relleno: Suelo  
 Clasificación de material: Arcilla.  
 Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional  
 Humedad del Material: Saturado.

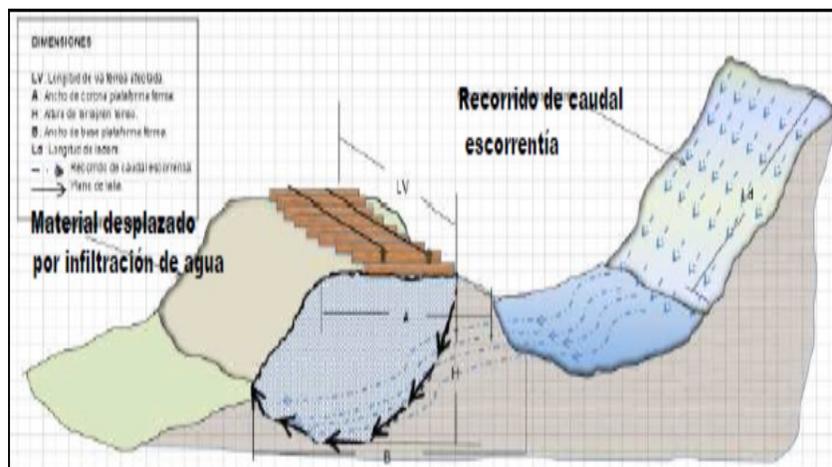


Gráfico 36. Sección Típica: Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0140 + 435)

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

### Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	10,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base de terraplén férreo	ML	20,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	4,00
Hc	Altura de contención	ML	7,50
Pc	Profundidad de cimentación	ML	7,50

**Recomendaciones técnicas:** La interventoría recomienda la reposición de la alcantarilla y la construcción de un tablestacado para darle confinamiento al terraplén por el costado derecho.

### Sub-Tramo: Ventaquemada-Tierra Negra PK 0140 + 650

Departamento de Boyacá

**Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de ladera:** Se presenta derrumbe por inestabilidad del talud, ocasionado por la saturación del terreno, comprometiendo la superestructura de la vía.

En visita técnica de la interventoría, se evidencia que no existe ningún tipo de obras para el manejo hidráulico para las aguas superficiales ni para las profundas. Igualmente, se aprecia que la infiltración de agua es permanente, con lo cual la falla persiste y la inminencia de nuevos deslizamientos de este tipo se puede presentar.

Este problema afecta los predios aledaños a la vía por el costado izquierdo.



Figura 61. Fotografías Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0140 + 650).  
Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). Año 2012

## Afectaciones de la vía férrea

Superestructura: Ninguna  
Infraestructura: Ninguna  
Cunetas: Tierra.

## Condiciones de ladera:

Material de Conformación: Suelo  
Clasificación de material: Arcilla.  
Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional  
Humedad del Material: Saturado.

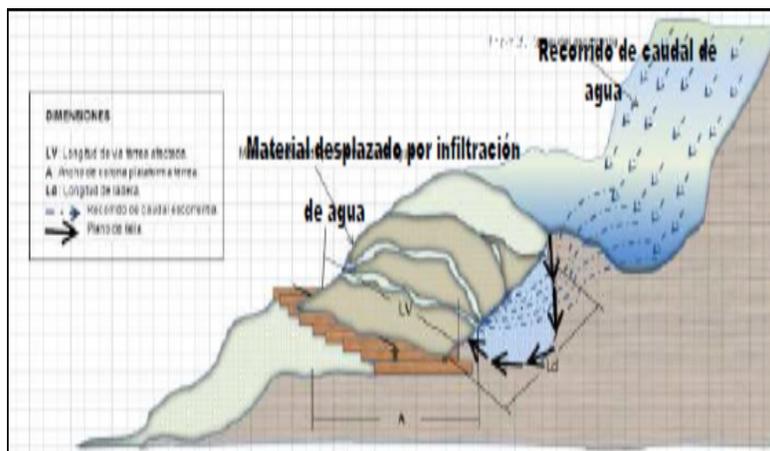


Gráfico 37. Sección Típica: Deslizamiento de taludes con paso de ferrocarril en corte de ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra PK 0140 + 650  
Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

## Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	30,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base de terraplén férreo	ML	4,00
Ld	Longitud de la masa deslizada	ML	8,00
Dd	Profundidad de la masa deslizada	ML	1,50
Hc	Altura de contención	ML	3,00
Pc	Profundidad de cimentación	ML	1,00

Estas obras deben obedecer a los resultados y diseños de los estudios. Adicionalmente, se propone la construcción de cunetas en tierra para el manejo y evacuación de aguas.

**Recomendaciones técnicas:** Se recomienda hacer estudio de suelos, de geotecnia e hidrología, con el fin de determinar cuáles son las obras que se requieren para estabilizar el terreno, para las estructuras de contención del talud y para el manejo de las aguas superficiales como profundas.

También es necesaria la construcción de cunetas revestidas en concreto en la pata del talud, para la captación y evacuación del agua y protección del talud, ya que no existe.

### **Sub-Tramo: Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0142 + 700)**

Departamento de Boyacá

**Hundimiento del terraplén ferroviario por deformación de la sub rasante:** Se presenta hundimiento de la banca de la vía, ocasionado por colapso de alcantarilla y a que en el costado izquierdo de la vía, el terreno se presenta a media ladera y el agua de esta se deposita saturando el pie del terraplén.

Esta situación afecta un predio que se encuentra en la parte baja del terraplén.



Figura 62. Hundimiento del terraplén ferroviario por deformación de la sub rasante en el Sector Ventaquemada-Tierra Negra PK 0142 + 700

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

### **Afectaciones de la vía férrea**

Superestructura: Traviesas y Balasto

Infraestructura: Terraplén

Alcantarillado: Tubería.

### **Condiciones del terraplén**

Material de Relleno: Suelo

Clasificación de material: Arcilla.

Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional

Humedad del Material: Saturado.

Existen drenajes superficiales y/o profundos.

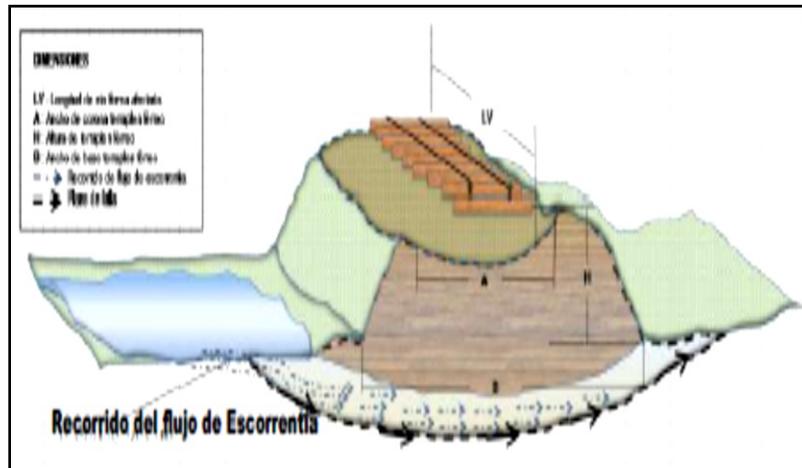


Gráfico 38. Sección Típica. Hundimiento del terraplén ferroviario por deformación de la sub rasante en el Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0142 + 700)  
Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

**Medidas de Estabilización:**

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	38,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base de terraplén férreo	ML	12,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	3,00

**Sub-Tramo: Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0146 + 960)**

Departamento de Boyacá

**Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de ladera:** Se presenta derrumbe por inestabilidad del talud, ocasionado por la saturación del terreno, comprometiendo la superestructura de la vía.

En visita técnica de la interventoría, se evidencia que no existe ningún tipo de obras para el manejo hidráulico de las aguas superficiales como profundas.

Igualmente, se aprecia que la infiltración de agua es permanente, con lo cual la falla persiste y la inminencia de nuevos deslizamientos de este tipo se puede presentar. Este problema afecta los predios aledaños a la vía por el costado izquierdo.



Figura 63. Fotografías Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra (PK 0146 + 960).  
Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

### Afectaciones de la vía férrea

Superestructura: Ninguna  
Infraestructura: Ninguna  
Drenajes:  
Cunetas: Tierra.

### Condiciones de Ladera:

Material de Relleno: Suelo  
Clasificación de material: Arcilla de alta plasticidad.  
Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional  
Humedad del Material: Saturado.  
No existen Drenajes Superficiales y/o profundos  
Estructura de contención: Riel estacado.

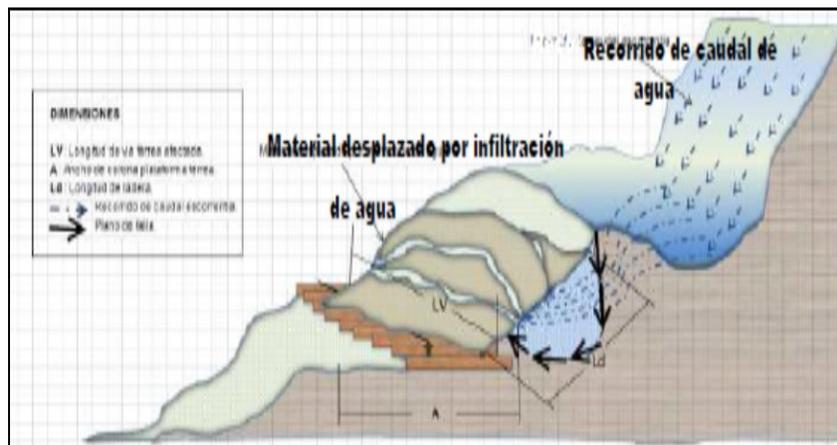


Gráfico 39. Sección Típica: Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de ladera Sector Ventaquemada-Tierra Negra PK 0146 + 960.  
Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

### Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	160,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base de terraplén férreo	ML	5,00
Ld	Longitud de la masa deslizada	ML	10,00
Dd	Profundidad de la masa deslizada	ML	2,00
Hc	Altura de contención	ML	3,00
Pc	Profundidad de cimentación	ML	1,00

Estas obras deben obedecer a los resultados y diseños de los estudios. Adicionalmente se propone la construcción de cunetas revestidas en concreto para el manejo y evacuación de aguas.

**Recomendaciones técnicas:** Se recomienda hacer estudio de suelos, de geotecnia e hidrología, con el fin de determinar cuáles son las obras que se requieren para estabilizar el terreno, para las estructuras de contención del talud y para el manejo tanto de las aguas superficiales como profundas.

También es necesaria la construcción de cunetas revestidas en concreto en la pata del talud, para la captación y evacuación del agua y protección del mismo, ya que no existe.

#### 3.2.4. Sub-Tramo: Tierra Negra-Samacá

##### Sub-Tramo: Tierra Negra-Samacá (PK 0153 + 540)

Departamento de Boyacá

**Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de ladera:** Se presenta derrumbe por inestabilidad del talud, ocasionado por la saturación del terreno, comprometiendo la superestructura de la vía.

En visita técnica de la interventoría, se evidencia que no existe ningún tipo de obras para el manejo hidráulico ya que se aprecia la base del deslizamiento inundada. Igualmente se aprecia que la infiltración de agua es permanente, con lo cual la falla persiste y la inminencia de nuevos deslizamientos de este tipo se puede presentar.

Este problema afecta los predios aledaños a la vía por el costado izquierdo.



Figura 64. Fotografías Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de ladera Sector Tierra Negra-Samacá (PK 0153 + 540).

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

### Afectaciones de la vía férrea

Superestructura: Rieles, traviesas y balasto

Infraestructura: Ninguna

Drenajes: Cuentas en concreto

### Condiciones de ladera:

Material de conformación: Suelo

Clasificación de material: Arcilla de alta plasticidad.

Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional

Humedad del Material: Saturado.

Existen drenajes superficiales y/o profundos

Estructuras de contención: Riel estacado.

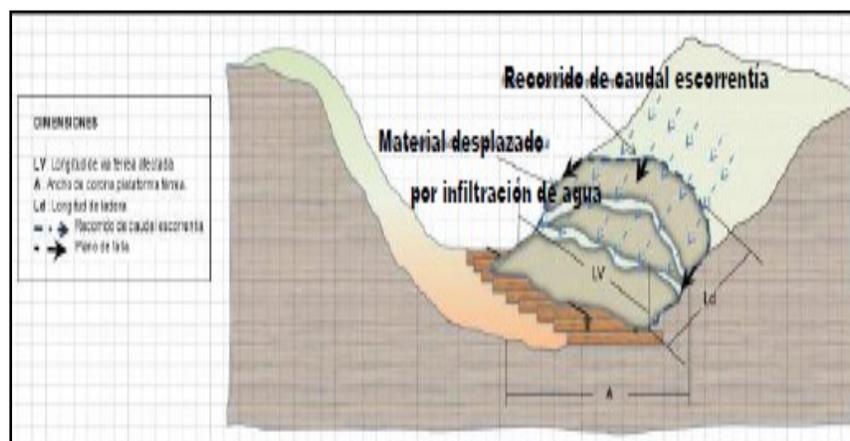


Gráfico 40. Sección Típica: Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de ladera Sector Tierra Negra-Samacá (PK 0153 + 540)

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

### Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	60,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base de terraplén férreo	ML	5,00
Ld	Longitud de la masa deslizada	ML	22,00
Dd	Profundidad de la masa deslizada	ML	2,00
Hc	Altura de contención	ML	3,00
Pc	Profundidad de cimentación	ML	1,00

Estas obras deben obedecer a los resultados y diseños de los estudios. Adicionalmente se propone la construcción de cunetas revestidas en concreto para el manejo y evacuación de aguas.

**Recomendaciones Técnicas:** Se recomienda hacer estudio de suelos, de geotecnia e hidrología, con el fin de determinar cuáles son las obras que se requieren para estabilizar el terreno, para las estructuras de contención del talud y para el manejo tanto de las aguas superficiales como profundas. También es necesaria la construcción de cunetas revestidas en concreto en la pata del talud, para la captación y evacuación del agua y protección del mismo, ya que no existe.

### Sub-Tramo: Tierra Negra-Samacá (PK 0153 + 680)

Departamento de Boyacá

**Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera:** Se presenta hundimiento de la banca de la vía, afectando el terraplén de la misma, comprometiendo la infraestructura y la superestructura. En visita de la interventoría, se encontró que en el costado izquierdo del terraplén existe un reservorio de agua del predio que se encuentra a media ladera y que estas aguas se filtraron al terraplén ocasionando el fallo presentado.



Figura 65. Fotografías Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Tierra Negra-Samacá (PK 0153 + 680).

### Afectaciones de la vía férrea:

Superestructura: Rieles, traviesas y balasto

Infraestructura: Terraplén

### Condiciones de terraplén:

Material de Relleno: Suelo

Clasificación de material: Arcilla de alta plasticidad.

Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional

Humedad del Material: Saturado.

Existen drenajes superficiales y/o profundos

Estructuras de contención: Riel estacado.

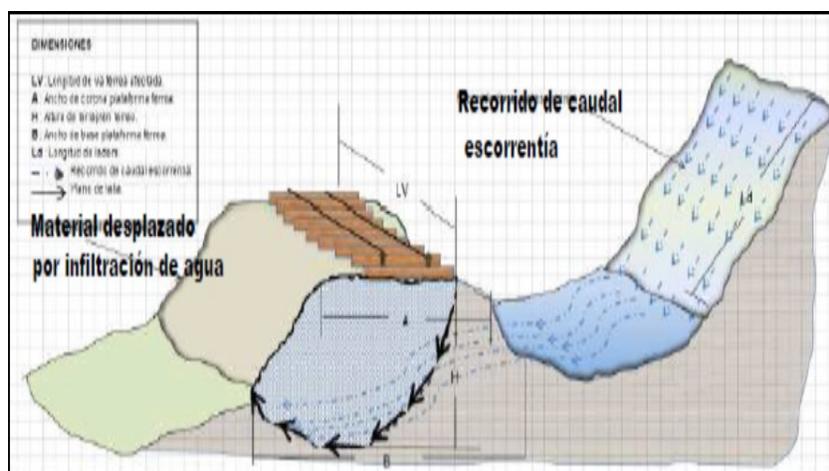


Gráfico 41. Sección Típica: Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Tierra Negra-Samacá (PK 0153 + 680)

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

### Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	42,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base de terraplén férreo	ML	20,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	4,00
Pc	Profundidad de cimentación	ML	1,00
T	Tablestacado	M2	630,00

**Recomendaciones Técnicas:** Se recomienda hacer estudio de suelos y de geotecnia, con el fin de determinar cuáles son las obras que se requieren para estabilizar y confinar el terraplén, para el manejo tanto de las aguas superficiales como profundas.

La interventoría recomienda la construcción de una alcantarilla y de un sistema de drenajes para evitar que esta concentración de aguas siga saturando y desestabilizando el terraplén.

#### **Sub-Tramo: Tierra Negra-Samacá (PK 0158 + 100)**

Departamento de Boyacá

**Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera:** Se presenta desprendimiento de material a media ladera, ocasionado por colapso de alcantarilla, comprometiendo la estabilidad del terraplén de la vía.



Figura 66. Fotografías Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Tierra Negra-Samacá (PK 0158 + 100).

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

#### **Afectaciones de la vía férrea:**

Superestructura: Rieles, traviesas y balasto

Infraestructura: Terraplén

Alcantarillado: Tubería

#### **Condiciones del terraplén:**

Material de Relleno: Suelo

Clasificación de material: Arcilla.

Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional

Humedad del Material: Saturado.

Existen drenajes superficiales y/o profundos

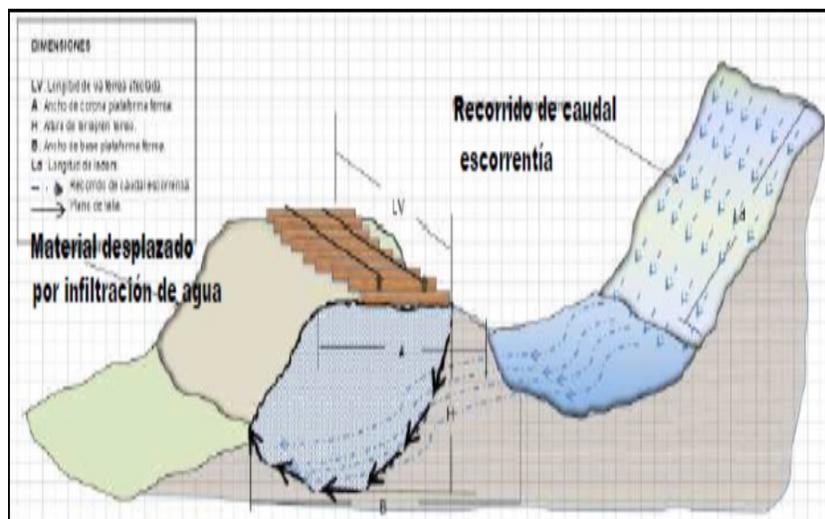


Gráfico 42. Sección Típica: Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Tierra Negra-Samacá (PK 0158 + 100).  
Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

**Medidas de Estabilización:**

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	10,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base de terraplén férreo	ML	12,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	2,00

**Recomendaciones Técnicas:** Se recomienda la reposición de la alcantarilla y construcción de un tablestacado para darle confinamiento al terraplén por el costado derecho.

**3.2.5. Sub-Tramo: Samacá-Tunja**

**Sub-Tramo: Samacá-Tunja (PK 0161 + 700)**

Departamento de Boyacá

**Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera:** Se presenta desprendimiento de material a media ladera, ocasionado por colapso de alcantarilla, comprometiendo la estabilidad del terraplén de la vía.



Figura 67. Fotografías Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Samacá-Tunja (PK 0161 + 700).

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

**Afectaciones de la vía férrea:**

Superestructura: Traviesas y balasto

Infraestructura: Terraplén

Alcantarillado: Tubería

**Condiciones del terraplén:**

Material de Relleno: Suelo

Clasificación de material: Arcilla.

Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional

Humedad del Material: Saturado.

Existen drenajes superficiales y/o profundos.

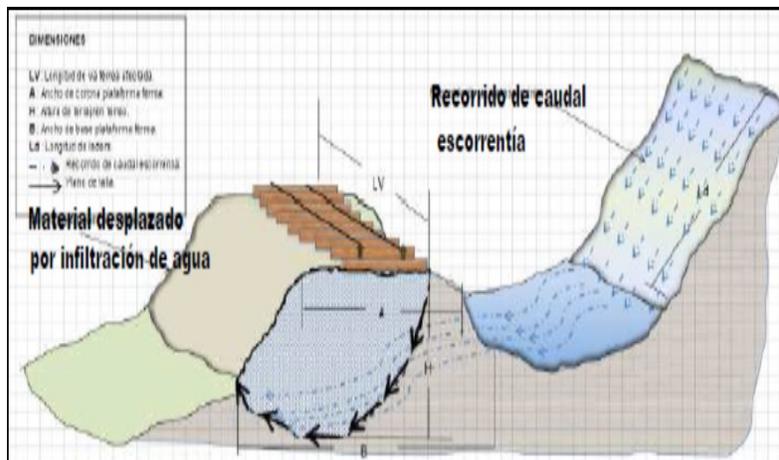


Gráfico 43. Sección Típica: Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Samacá-Tunja (PK 0161 + 700).

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

### Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	10,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base de terraplén férreo	ML	28,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	8,00

**Recomendaciones Técnicas:** Se recomienda la reposición de la alcantarilla y la construcción de un tablestacado para darle confinamiento al terraplén por el costado derecho.

### Sub-Tramo: Samacá-Tunja (PK 0163 + 584)

Departamento de Boyacá

**Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera:** Se presenta hundimiento del terraplén de la vía, ocasionado por la filtración de aguas del talud en el costado izquierdo de la vía, comprometiendo la infraestructura y la superestructura.

La interventoría en visita técnica que en el sitio hay traviesas y rieles abandonados.



Figura 68. Fotografías Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Samacá-Tunja (PK 0163 + 584)

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

### Afectaciones de la vía férrea:

Superestructura: Rieles, traviesas y balasto

Infraestructura: Terraplén

### Condiciones del terraplén:

Material de Relleno: Suelo

Clasificación de material: Arcilla.  
 Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional  
 Humedad del Material: Seco.  
 No Existen drenajes superficiales y/o profundos

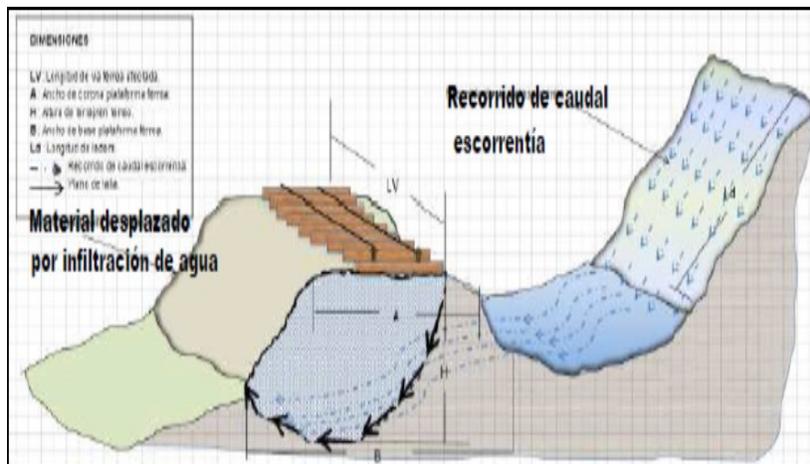


Gráfico 44. Sección Típica: Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector Samacá-Tunja (PK 0163 + 584).  
 Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

#### Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	48,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base de terraplén férreo	ML	4,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	2,50
Hc	Altura de contención	ML	3,00
Pc	Profundidad de cimentación	ML	1,00

La interventoría recomienda que se haga estudio de mecánica de suelos, geotecnia e hidrología, para que nos determine si las obras presupuestadas son suficientes para la estabilización de este tramo de vía, o si por el contrario se requieren tratamientos adicionales. Así mismo, se propone la construcción de cunetas revestidas en concreto para el manejo y evacuación de aguas.

**Recomendaciones Técnicas:** Se recomienda hacer estudio de suelos y de geotecnia, con el fin de determinar cuáles son las obras que se requieren para estabilizar y confinar el terraplén, así como para el manejo tanto de las aguas superficiales como profundas.

La interventoría recomienda la construcción de una cuneta revestida en concreto en la cual se recojan las aguas para ser llevadas a alcantarilla que se encuentra cercana al sitio.

#### **Sub-Tramo: Samacá-Tunja (PK 0164 + 300)**

Departamento de Boyacá

**Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de ladera:** Se presenta deslizamiento del talud en el costado izquierdo de la vía, ocasionado por la saturación del material y la inexistencia de obras de drenaje y manejo de aguas superficiales, comprometiendo la superestructura de esta.



Figura 69. Fotografías Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de ladera Sector Samacá-Tunja (PK 0164 + 300)

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

#### **Afectaciones de la vía férrea:**

Superestructura: Ninguna  
Infraestructura: Ninguna  
Drenajes: Cunetas: Tierra

#### **Condiciones de ladera:**

Material de Conformación: Suelo  
Clasificación de material: Arcilla.  
Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional  
Humedad del Material: Seco.  
No Existen drenajes superficiales y/o profundos

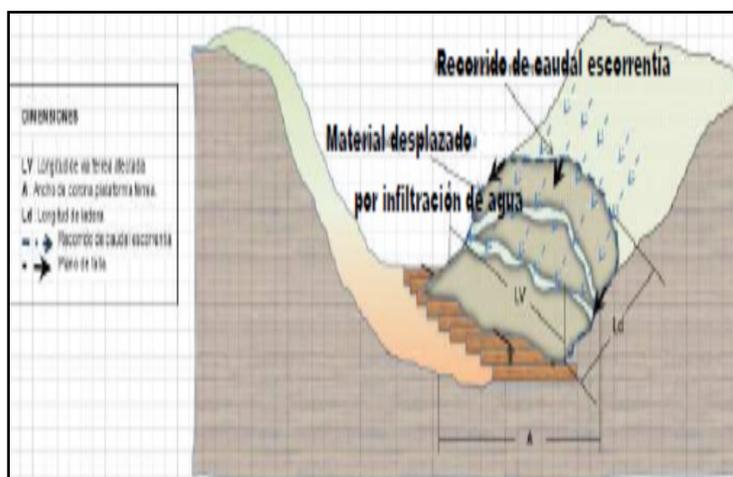


Gráfico 45. Sección Típica: Deslizamiento de taludes con paso de ferrovía en corte de ladera Sector Samacá-Tunja (PK 0164 + 300)

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

#### Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	73,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base de terraplén férreo	ML	15,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	2,00
Ld	Longitud de la masa deslizada	ML	15,00
Dd	Profundidad de la masa deslizada	ML	2,00
Hc	Altura de contención	ML	2,00
Pc	Profundidad de cimentación	ML	1,00

La interventoría recomienda que se haga estudio de mecánica de suelos, geotecnia e hidrología, para que nos determine si las obras presupuestadas son suficientes para la estabilización de este tramo de vía, o si por el contrario se requiere de otros tratamientos adicionales. Así mismo, se propone la construcción de cunetas revestidas en concreto para el manejo y evacuación de aguas.

**Recomendaciones Técnicas:** Se recomienda hacer estudio de mecánica de suelos y de geotecnia, con el fin de determinar cuáles son las obras que se requieren para estabilizar el talud, así como para el manejo tanto de las aguas superficiales como profundas.

Adicionalmente la interventoría recomienda la construcción de una cuneta revestida en concreto por el costado izquierdo al pie del talud, con el fin de recoger las aguas y entregarlas a alcantarilla existente.

**Sub-Tramo: Samacá-Tunja (PK 0175 + 865)**

Departamento de Boyacá

**Deslizamiento de terraplén ferroviario a media ladera:** Se presenta desprendimiento de material a media ladera, ocasionado por colapso de alcantarilla, comprometiendo la estabilidad del terraplén de la vía.



Figura 70. Fotografías Deslizamiento de terraplén ferroviario a media ladera Sector Samacá-Tunja (PK 0175 + 865)

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

**Afectaciones de la vía férrea:**

Superestructura: Traviesas y balasto

Infraestructura: Terraplén

Drenajes: Alcantarillado: Tubería.

**Condiciones del terraplén:**

Material de Relleno: Suelo

Clasificación de material: Arcilla.

Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional

Humedad del Material: Seco.

Existen drenajes superficiales y/o profundos

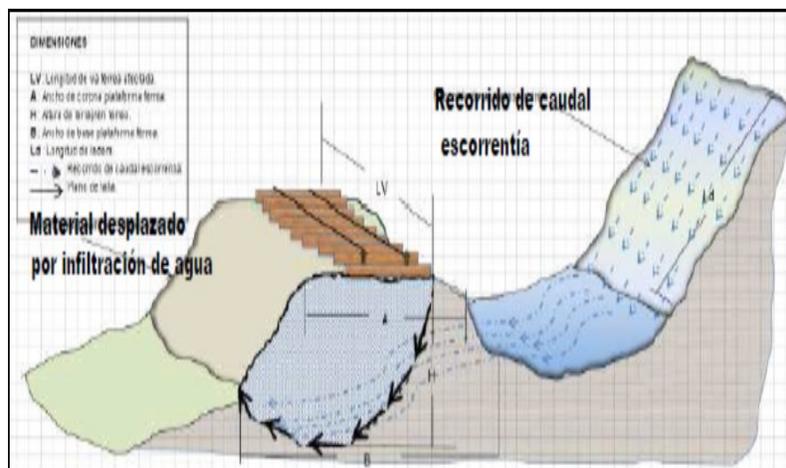


Gráfico 46. Sección Típica: Deslizamiento de terraplén ferroviario a media ladera Sector Samacá-Tunja (PK 0175 + 865)  
Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

**Medidas de Estabilización:**

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	10,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base de terraplén férreo	ML	20,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	3,00

**Recomendaciones Técnicas:** Se recomienda la reposición de la alcantarilla y la construcción de un tablestacado para darle confinamiento al terraplén por el costado derecho.

**Sub-Tramo: Samacá-Tunja (PK 0179 + 305)**

Departamento de Boyacá

**Hundimiento del terraplén ferroviario por deformación de la subrasante:** Se presenta hundimiento de la banca de la vía ocasionado por colapso de alcantarilla.

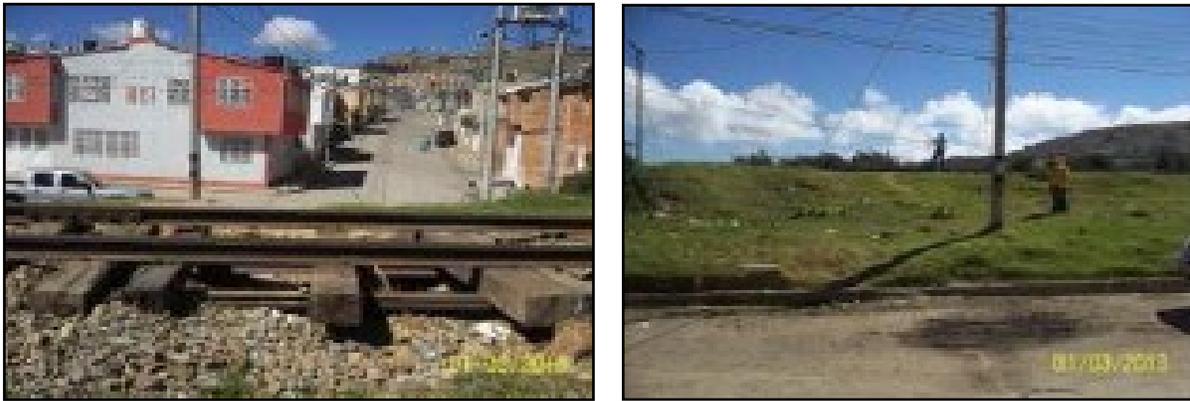


Figura 71. Fotografías Hundimiento del terraplén ferroviario por deformación de la subrasante Sector Samacá-Tunja (PK 0179 + 305)

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

#### Afectaciones de la vía férrea:

Superestructura: Balasto  
 Infraestructura: Terraplén  
 Drenajes:  
 Alcantarillado: Tubería

#### Condiciones del terraplén:

Material de Relleno: Suelo  
 Clasificación de material: Arcilla.  
 Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional  
 Humedad del Material: Saturado.  
 Existen drenajes superficiales y/o profundos

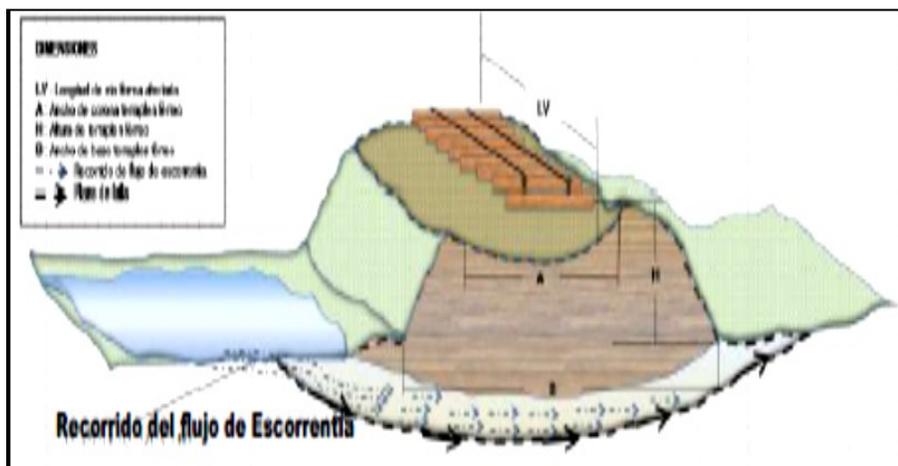


Gráfico 47. Sección Típica: Hundimiento del terraplén ferroviario por deformación de la subrasante Sector Samacá-Tunja PK 0179 + 305

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

### Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	10,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base de terraplén férreo	ML	20,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	3,00

**Recomendaciones Técnicas:** Se recomienda la reposición de la alcantarilla.

### Sub-Tramo: Samacá-Tunja (PK 0179 + 430):

Departamento de Boyacá

**Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera:** Se presenta hundimiento de la banca de la vía ocasionado por colapso de alcantarilla.



Figura 72. Fotografías. Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector: Samacá-Tunja (PK 0179 + 430).

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

### Afectaciones de la vía férrea:

Superestructura: Balasto

Infraestructura: Terraplén

Drenajes:

Cunetas: Tierra

Alcantarillado: Tubería

### Condiciones del terraplén:

Material de Relleno: Suelo

Clasificación de material: Arcilla.

Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional  
 Humedad del Material: Saturado.  
 Existen drenajes superficiales y/o profundos

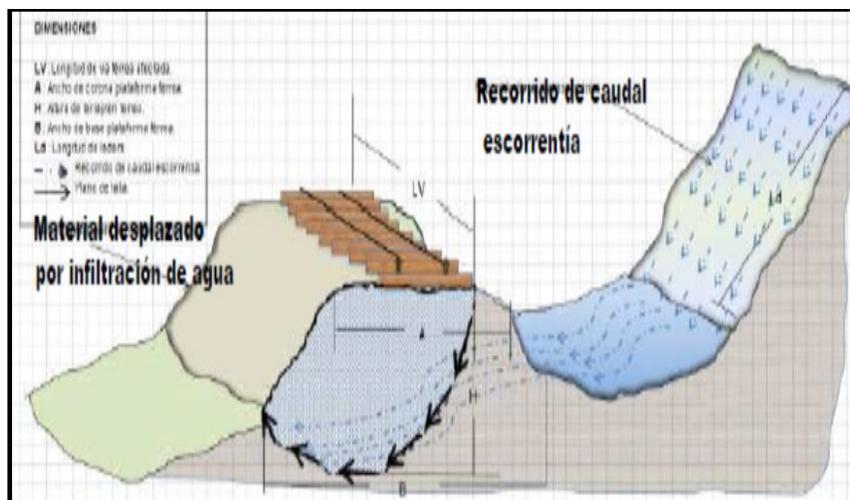


Gráfico 48. Sección Típica: Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector: Samacá-Tunja (PK 0179 + 430).  
 Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

**Medidas de Estabilización:**

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	10,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base de terraplén férreo	ML	20,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	5,00

**Recomendaciones Técnicas:** Se recomienda la reposición de la alcantarilla y la construcción de un tablestacado para el confinamiento del terraplén.

**Sub-Tramo: Samacá-Tunja (PK 0181 + 200)**

Departamento de Boyacá

**Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera:** Se presenta hundimiento de la banca de la vía ocasionado por colapso de alcantarilla.



Figura 73. Fotografías Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector: Samacá-Tunja PK 0181 + 200

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

#### Afectaciones de la vía férrea:

Superestructura: Traviesas y balasto

Infraestructura: Terraplén

Drenajes:

Cunetas: Tierra

Alcantarillado: Tubería

#### Condiciones del terraplén:

Material de Relleno: Suelo

Clasificación de material: Arcilla.

Tipo de movimiento: Deslizamiento Rotacional

Humedad del Material: Saturado.

Existen drenajes superficiales y/o profundos

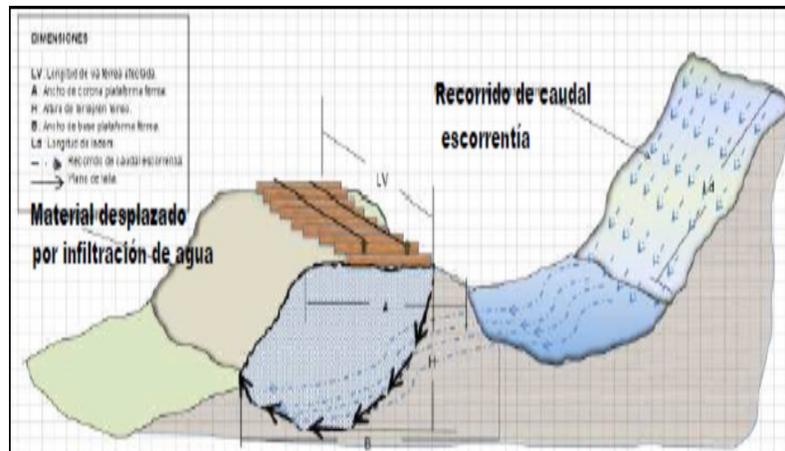


Gráfico 49. Sección Típica: Deslizamiento del terraplén ferroviario a media ladera Sector: Samacá-Tunja (PK 0181 + 200)

Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), Año 2012

### Medidas de Estabilización:

SÍMBOLO	DIMENSIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Lv	Longitud de Vía Férrea	ML	10,00
A	Ancho de corona terraplén férreo	ML	4,00
B	Ancho de base de terraplén férreo	ML	20,00
H	Altura de terraplén férreo	ML	40,00

**Recomendaciones técnicas:** Se recomienda la reposición de la alcantarilla.

### 3.3. Diagnóstico Situación Actual de la Red Bogotá-Belencito. Tramo: Suesca Villapinzón-Tunja

En el recorrido realizado por la autora de la tesis, el día 10 de Octubre de 2015 al tramo en estudio, se visualizó la situación actual del tramo comprendido entre Suesca-Villapinzón-Tunja, mediante un registro fotográfico. (Ver Anexo 1).

Durante esta inspección, se evidenció la situación de la Red, para lo cual se analizaron aspectos de la infraestructura, superestructura y algunas consideraciones ambientales, basada en los estudios realizados por la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), para la rehabilitación y conservación de la Red Férrea, criterios y de acuerdo con los principios técnicos que se tuvieron en cuenta para la intervención de las obras.

Cabe anotar, que a pesar de las intervenciones realizadas a la vía férrea en la actualidad, se visualizaron tramos en los que las traviesas y los rieles, se encuentran en muy mal estado, a pesar de que en el objeto del contrato, se definió realizar las actividades de mantenimiento y mejoramiento al 100% con el fin de habilitar el tramo Belencito-Tunja, como corredor estratégico y garantizar de manera eficiente el control de la operación definida en los tramos donde existe movilización de trenes (Ver Anexo 1. Fotografías Nos.).

En el tramo Bogotá – Belencito, al momento de intervenir la vía férrea, se detectaron varios sitios con algún tipo de afectación o inestabilidad que puede tener influencia en la estabilidad de la vía.

En general se presentaban taludes en roca erosionada con caídas de detritos o flujos de tierra; hundimientos de la banca en zonas de terraplenes mal construidos o colocados sobre subrasantes blandas.

Los procesos más comunes son los erosivos en la banca en donde se han formado cárcavas muy cercanas.

Las obras de estabilización, se realizaron la protección con recubrimientos de los taludes expuestos, en suelo o roca. En los tramos en donde se necesitaba la recuperación de la banca, se utilizaron estructuras reforzadas mecánicamente, las cuales permiten el manejo de taludes empinados y una disminución en el área de influencia de los rellenos.

Los sitios localizados en la sabana, requirieron la adecuación de los drenajes existentes y el refuerzo de la estructura con elementos que trabajen a tensión, y que eviten la intervención a mayores profundidades.

En estos casos se emplearon geomallas biaxiales como refuerzo. Para intervenir la infraestructura y superestructura de la vía, estaciones, limpieza de empalizadas en los puentes, limpieza y reparación de alcantarillas, limpieza de box culverts, limpieza y reparación de cunetas, con el fin de garantizar la estabilidad de las obras, conservación y el adecuado mantenimiento de las mismas.

- ✓ Se llevaron a cabo estudios de suelos, geotécnicos, hidráulicos e hidrológicos, para determinar qué obras de contención era necesario construir, para la estabilización y contención de taludes a media ladera, al pie de ladera y terraplenes, así como para implementar el manejo de aguas.
- ✓ Se realizó el manejo y evacuación de aguas, para evitar infiltración hacia la parte superior del talud y evitar deslizamientos y con ello comprometer seriamente la infraestructura de la vía.
- ✓ Se construyeron obras hidráulicas para el manejo de aguas tanto superficiales como profundas, para la contención de taludes, esto debido a la cercanía del Río Bogotá, la infiltración es constante y se presentan problemas de socavación e inestabilidad en los taludes, afectando la infraestructura y superestructura de la vía.
- ✓ Las obras de drenaje que se intervinieron, fueron: Reparación de fisuras y grietas en concreto de obras de drenaje. Para el caso de la reparación de grietas (espesores mayores a 2 cm), se diseñó la colocación de grapas en varillas de acero de  $\varnothing 1/2"$ , a lo largo y ancho de la grieta con una separación entre ellos de 0.20 m en una regata de 5.00 cm de profundidad, la cual posteriormente se rellenaron con mortero sin contracción del tipo Sikagrout 212 o similar.
- ✓ Las perforaciones para la colocación de los ganchos serán de  $\varnothing 1/2"$  y se rellenaron con un mortero sintético del tipo HIT C-100 o similar.
- ✓ Las Protecciones de obras de drenaje socavada: La socavación se rellenó con concreto ciclópeo, en una proporción de 60% concreto de 175 kg / cm<sup>2</sup> y 40% rajón, con una anterior preparación del sitio del relleno retirando el material suelto circundante; adicionalmente se construyó en el cierre del relleno un muro de protección en concreto ciclópeo de las mismas características anteriormente mencionadas.
- ✓ Realce de muros de obras de drenaje: En los sitios en donde se determinó insuficiente altura de los muros y de las aletas de las obras de drenaje, se diseñó un realce de los mismos permaneciendo constante el espesor y la longitud del muro, con la altura que se consideró necesaria. Este realce se hizo con concreto reforzado de 210 kg / cm<sup>2</sup>. El acero existente se descubre demoliendo el concreto en una profundidad de 0.3 m y se traslapa con varillas de  $1 \varnothing 1/2"$  en ambas caras y acero de repartición de  $3 \varnothing 3/8"$  cada 0.20 m.
- ✓ Realce de tubería: Las tuberías de superficie corrugada que presentaran en el fondo, leve porcentaje de abrasión y de oxidación en un ángulo de 90 grados, se recalzaron colocando acero de refuerzo, transversalmente  $\varnothing 3/8"$  cada 0.20m y longitudinalmente  $\varnothing 1/2"$  cada 30 grados. Las barras, longitudinales se soldaron a la corrugación de la tubería; el acero de refuerzo se hizo de  $F_y = 2400 \text{ Kg/cm}^2$

### 3.3.1. Diagnóstico de la Situación Actual de la Infraestructura

Para la rehabilitación y conservación de la Red Bogotá-Belencito, se ejecutaron diferentes obras de drenaje. Para el tramo en estudio entre Suesca-Villapinzón-Tunja, se hicieron las siguientes obras de infraestructura, en el tramo escogido, donde se encontraban los puntos más críticos de la Red.

Efectuadas las inspecciones de campo y tomando como referencia los estudios realizados por la Agencia Nacional de Infraestructura ANI, para la reparación y atención de puntos críticos de la vía férrea en los tramos Bogotá (PK 5) – Belencito (PK 262), con el fin de reactivar la operación férrea que se ha visto interrumpida por daños en la vía, producto de las olas invernales del 2010, 2011 y 2012 respectivamente, se puede manifestar que la línea férrea Bogotá-Belencito en el tramo Suesca-Tunja-Villapinzón, presenta la siguiente situación:

La infraestructura se entiende como las obras de drenaje transversal y longitudinal en sus diseños iniciales construidos para Cooper E-30, que actualmente no satisfacen la necesidad de operar trenes con cargas/eje al menos de 17,5 toneladas/eje, lo cual motiva el rediseño de las mismas con este propósito.

Las obras de tierra en cuanto a terraplenes, se encuentran limitando la posibilidad de las mismas obras de drenaje para el manejo de escorrentía por las alcantarillas, lo cual conduce a la necesidad de reconfigurarlos considerando una mayor altura en los mismos.

Con relación a lo precedente, el drenaje transversal debe ser revisado en las cuencas consideradas para cada obra en particular, pues los diámetros no satisfacen el caudal del aporte de la cuenca. Se deben implementar obras para mitigar la inestabilidad de los taludes y laderas.

Lo anterior, también conduce a rectificar la sección transversal de la vía, donde se conciba la construcción de cunetas, así como también el reposo apropiado de las capas de asiento para que no haya derramamientos del perfil del balasto en la vía.

#### 3.3.1.1. Tramo Suesca-Villapinzón.

En este tramo se ejecutaron las obras de drenaje y se tomaron las siguientes medidas correctivas:

**Subtramo Suesca-Santa Rosa:** Donde hubo un desplazamiento lateral del cauce del Río, con deslizamiento de media ladera del talud de la vía férrea, comprometiendo la infraestructura, el deslizamiento se produjo por socavación en el talud del muro, por su cercanía al Río Bogotá.

Para corregir el problema, se construyeron obras de drenaje que garantizaran la estabilidad del terraplén de la vía y evitar el impacto erosivo de la corriente de agua en los tramos curvos. No existía ninguna obra de recolección, manejo y evacuación de aguas.

**Subtramo Chocontá-Villapinzón:** En este subtramo se produjeron a lo largo de la línea, desplazamientos laterales del cauce del Río Bogotá, comprometiendo la infraestructura,

esta falla se presentó por socavación en la pata del muro por acción de las aguas del Río Bogotá. No existían ningún tipo de obras para el manejo hidráulico, tanto de las aguas superficiales como profundas, pues la infiltración de agua es permanente por su cercanía al Río Bogotá.

### **3.3.1.2. Tramo: Villa Pinzón-Tunja.**

En este tramo se ejecutaron las obras de drenaje y se tomaron las siguientes medidas correctivas:

**Subtramo Villa Pinzón-Albarracín:** En el sitio, se presentaron derrumbes por inestabilidad de los taludes, por saturación del terreno. No hubo afectaciones en la infraestructura de la vía.

**Sub-Tramo: Albarracín-Ventaquemada:** En este sub-tramo, se presentaron derrumbes por inestabilidad en los taludes. Se presentaron hundimientos en la banca de la vía, afectando el terraplén y comprometiendo la infraestructura, pues las aguas se filtraron al terraplén desestabilizándolo, ocasionando el fallo presentado.

Como medida correctiva se removió el material suelto y se hicieron obras de drenaje (construcción de alcantarillas), tanto para el manejo de aguas tanto superficiales como profundas. Así mismo, se construyeron cunetas revestidas en concreto en la pata del talud con una longitud de 70 ml, para la captación del agua y protección del talud. (Ver Anexo 1.).

**Sub-Tramo Ventaquemada-Tierra Negra:** En este subtramo ocurrió hundimiento de la banca al costado derecho de la vía, ocasionado por el colapso de una alcantarilla y a que en el costado izquierdo de la vía, el terreno presenta deslizamientos a media ladera y el agua de esta se deposita saturando el pie del terraplén y no existía ninguna obra de recolección, manejo y evacuación de aguas.

Para corregir este problema, Se construyeron estructuras de contención del talud, para el manejo tanto de las aguas superficiales como profundas y se realizó la construcción de cunetas revestidas en concreto en la pata del talud, para la captación y evacuación del agua y protección del talud, ya que no existían. También se realizaron obras para estabilizar y confinar el terraplén.

**Sub-Tramo: Tierra Negra-Samacá:** Se presentó derrumbe por inestabilidad del talud, ocasionado por la saturación del terreno, no existía ningún tipo de obras para el manejo hidráulico. Hubo desprendimientos de material a media ladera, ocasionado por colapso de alcantarilla, comprometiendo la estabilidad del terraplén de la vía.

Igualmente, la infiltración de agua es permanente. Este problema afecta los predios aledaños a la vía por el costado izquierdo. Para esto, se construyeron cunetas revestidas en concreto para el manejo y evacuación de aguas y estructuras de contención del talud para el manejo tanto de las aguas superficiales como profundas, se cambió la alcantarilla que ocasionó el hundimiento y la construcción de tablestacado para confinar el terraplén en el costado derecho de la vía.

**Sub-tramo Samacá-Tunja:** Se presenta desprendimiento de material a media ladera, ocasionado por colapso de alcantarilla, comprometiendo la estabilidad del terraplén de la vía, ocasionado por la filtración de aguas. Se hizo la reposición de la alcantarilla.

### **3.3.2. Diagnóstico de la Situación Actual de la Superestructura**

La Superestructura es el componente más costoso de los que componen la actividad de la rehabilitación. Se suministraron e instalaron para el mejoramiento de la vía:

- Traviesas de madera y sujeciones: 20.000 Traviesas.
- Balasto: 18.000 m<sup>3</sup>
- Alineación y nivelación de vía 45.000 ml.

#### **3.3.2.1 Tramo Suesca-Villapinzón.**

En este tramo se ejecutaron las obras correspondientes a la reconstrucción y construcción de obras de contención a lo largo de la vía ferroviaria y se tomaron las siguientes medidas correctivas:

**Subtramo Suesca-Santa Rosa.** En todo el trayecto del subtramo, se presentaron grandes daños, como hundimientos de grandes proporciones del terraplén de la vía a media ladera con pérdida de la banca, afectando la superestructura de la vía férrea en una longitud de 250 ML. Adicionalmente, como efecto de dicha falla, se presenta el colapso de una alcantarilla y la caída y demolición de los muros y aletas.

Como efecto paralelo a esta condición, se aprecia el desplazamiento del material a media ladera. Esta situación fue generada por la saturación del terraplén ocasionada por la depositación de aguas de escorrentía de la vía que conduce de Suesca a Santa Rosa y la inexistencia de obras de drenaje y de encauzamiento de estas aguas, como de las aguas lluvias. Igualmente con el movimiento de masas sucedido, los rieles y las traviesas resultaron totalmente averiados.

Se construyeron estructuras de contención del terraplén y para el manejo de las aguas superficiales y profundas.

Se hizo un tablestacado, la construcción de dos alcantarillas, mejoramiento del piso con una capa de 1,50 m de rajón (pedraplén), que sirve como elemento estabilizante y de capacidad de soporte del piso y además como filtro. Un relleno en recebo de 1,5 m y la construcción de cunetas en concreto para recoger las aguas, en una longitud de 250m.

**Subtramo Chocontá-Villapinzón:** En este subtramo se produjo desplazamiento lateral del cauce del Río Bogotá, comprometiendo la superestructura de la vía, esta falla se presentó por socavación del pie del muro y el colapso de éste, debido a la cercanía con el Río Bogotá, por efecto rotacional. Para remediar esto, se construyeron obras de protección para amortiguar el impacto erosivo de la corriente de agua en los tramos curvos.

### **3.3.2.2 Tramo Villapinzón-Tunja.**

En este tramo ejecutaron las obras correspondientes a la reconstrucción y construcción de obras de contención a lo largo de la vía ferroviaria y se tomaron las siguientes medidas correctivas:

**Sub-Tramo Villapinzón-Albarracín:** Se presentaron derrumbes por inestabilidad de los taludes, ocasionado por la saturación del terreno, comprometiendo la superestructura de la vía y afectando los predios aledaños a ambos costados de la vía. Se construyeron cunetas revestidas en concreto en la pata del talud en una longitud de 70 ml, para captación del agua y protección del talud.

**Sub-Tramo: Albarracín-Ventaquemada:** Se presentó un derrumbe y desplazamiento de la vía hacia la parte derecha de la misma y un gran movimiento en masa de la ladera por el costado izquierdo, debido a la inestabilidad del talud en ambos costados de la vía, ocasionado por la saturación del terreno, comprometiendo la superestructura de la vía.

No existían obras para el manejo hidráulico tanto de las aguas superficiales como profundas. Se construyeron estructuras de contención del talud y se desarmaron y recuperaron las traviesas y rieles afectados. (Ver Anexo 1).

**Sub-Tramo: Ventaquemada-Tierra Negra:** Se presentó derrumbe por inestabilidad del talud, ocasionado por la saturación del terreno, comprometiendo la superestructura de la vía. No existía ningún tipo de obras para el manejo hidráulico de las aguas superficiales ni de las profundas. Igualmente había infiltración de agua permanente.

Este problema afectó también los predios aledaños a la vía en ambos costados. Para corregir estos problemas, se desarmaron 140 m de vía, para el cambio de las traviesas y rieles afectados. Así mismo se construyó un tablestacado para el confinamiento del terraplén en el costado derecho de la vía.

**En el Sub-Tramo: Tierra Negra-Samacá:** Se presentaron deslizamientos de taludes, con paso de ferrovía en corte de ladera y derrumbes por inestabilidad de los taludes, ocasionado por la saturación del terreno, comprometiendo la superestructura de la vía. Se construyeron cunetas revestidas en concreto para el manejo y adecuación de aguas, también se construyeron estructuras de contención de talud, para el manejo de aguas superficiales y profundas, se hicieron obras para confinamiento y estabilización del terraplén. Se realizó el desarme y la recuperación de las traviesas y rieles afectados.

**Sub-Tramo: Samacá-Tunja:** A raíz del deslizamiento y hundimiento del terraplén, hubo daños en la superestructura, con la caída de rieles, traviesas y balasto. Se realizó la construcción de cunetas revestidas en concreto para el manejo de evacuación de aguas, para ser llevadas a la alcantarilla y evitar deslizamientos futuros. Se construyó tablestacado para confinar el terraplén en el costado derecho de la vía.

La Alineación y Nivelación de vía se ejecutó en los sectores de vía que presentaban mayores irregularidades de alineación-vía, se aumentó la capa de balasto existente y con ello se aumentaron las especificaciones en la plataforma de vía férrea para permitir un

valor de carga por eje de 30 ton., para lo cual el espesor de la capa de balasto se incrementó a 40 cm.

## Capítulo 4

### Normatividad y consideraciones medioambientales del modo férreo

En este capítulo se dará a conocer la normatividad existente para el modo férreo en Colombia y los aspectos medioambientales que se deben tener en cuenta para lograr un desarrollo sostenible durante la construcción, rehabilitación y mantenimiento y conservación de los corredores férreos. Se debe desarrollar una mejora continua, con conocimiento y cumplimiento de la legislación ambiental aplicable, contribuyendo así con el desarrollo integrado de infraestructura de transporte del país.

El ingreso de la economía Colombiana en el marco de la globalización, hace que su infraestructura de transporte se modernice en los diferentes modos, para tener mayor competitividad, con menores tiempos de viaje y contribuyendo al desarrollo sostenible del país.

La movilidad sostenible debe alcanzarse mediante la oferta de alternativas modales e implementación de acciones que limiten las emisiones y los desperdicios, optimizando el consumo de recursos (renovables y no renovables), reutilización y reciclaje de sus componentes y minimizando la producción de ruido y contaminación visual.

El sistema férreo, tiene grandes ventajas con relación a otros medios, como la seguridad, menor impacto ambiental por la disminución de emisiones, alta capacidad de carga, excelente control logístico y menores costos de operación.

Por su parte, en el transporte por carretera, la movilización de grandes volúmenes de productos como el carbón no es técnica ni económicamente sostenible y tiene efectos muy negativos sobre la infraestructura vial y el medio ambiente.

Uno de los programas de desarrollo sostenible es la Institucionalización de la integración regional, con la adopción de mecanismos institucionales más adecuados para poner en marcha los programas y proyectos que armonicen el desarrollo de la región, con énfasis en la protección de ecosistemas estratégicos y del recurso hídrico; la seguridad alimentaria y el apoyo a la producción campesina; la movilidad y la logística donde prevalecerá la introducción del modo férreo y el ordenamiento de los procesos de ocupación del territorio.

El interés por el cuidado del medio ambiente ha propiciado que se conciban y diseñen diversos mecanismos e instrumentos para predecir, prevenir y controlar los impactos ambientales de las actividades humanas.

Los Estudios Socioambientales y particularmente un Estudio de Impacto Ambiental es uno de estos instrumentos que permite que los proyectos de desarrollo incorporen la planificación y ejecución de los aspectos ambientales.

El Ministerio de Transporte, creó una guía ambiental férrea, para garantizar que se cumpla la reglamentación ambiental para el desarrollo de proyectos del subsector férreo,

en el cual se incorporan consideraciones ambientales, procedimientos y medidas para corregir, mitigar y prevenir el deterioro ambiental, de los ferrocarriles nacionales.

El Plan Nacional de Desarrollo establece la necesidad de dar Impulso a la infraestructura estratégica de transporte como la modernización, ampliación y mantenimiento de la infraestructura ferroviaria, siempre en concordancia con los postulados de la sostenibilidad ambiental, adquiriendo especial importancia al contribuir a la gestión ambiental de un subsector que regresa a la vida productiva del país.

Luego de más de tres décadas de abandono y de gran importancia para las comunidades que se encuentran en el área de influencia, garantizando de esta forma el empleo de prácticas ambientales en las diferentes actividades de los proyectos férreos.

#### **4.1. Marco Normativo del Modo Férreo**

Existen diversas leyes y normas referentes al sector ferroviario y que le afectan, aunque únicamente algunas de ellas son específicas para el mismo.

Se considera que la legislación vigente, ha sido fruto de las necesidades concretas en momentos determinados en función del estado del sector, por ello se dispone de un conjunto de leyes, decretos y resoluciones que no se encuentran debidamente estructuradas ni organizadas, siendo muy genéricas en su alcance y ámbito de aplicación.

No existe una Ley General que regule el sector ferroviario en Colombia como ocurre en el resto de países con un cierto nivel de desarrollo de este medio de transporte.

Según el estudio realizado por el Consorcio Epypsa-Ardanuy (2014), concluye que: *“La legislación que hasta hoy existe, se encuentra desactualizada y no se dispone de mecanismos que posibiliten la ágil actuación de la Administración dentro del modelo actual de operadores ferroviarios privados de Colombia”.* (p.65).

También concluye que: *“las políticas activas que en los últimos años el Gobierno de Colombia está desarrollando en materia de promoción del ferrocarril como transporte masivo de pasajeros y mercancías, es conveniente la realización de un proyecto de ley general del sector ferroviario, que regule el marco legal en el que se desenvolverán las futuras actuaciones previstas, así como el régimen de su explotación”.* (p.65)<sup>6</sup>.

En este momento se tiene, que el alcance del estudio, será la obtención de un proyecto de Ley General del Sector Férreo y que sirva de base para futuras disposiciones reglamentarias.

A continuación, se resume en la Tabla 27, el inventario de leyes, decretos y resoluciones que regulan de forma directa o indirecta el Modo férreo en Colombia.

---

<sup>6</sup> CONSORCIO EPYPSA-ARDANUY INFORME EJECUTIVO “Estudio para la elaboración del Marco normativo Férreo colombiano enfocado en factores técnicos de diseño, construcción, mantenimiento, operación, control y aspectos de seguridad” p.31. 66p.

Tabla 27. Legislación Modo Férreo en Colombia

<b>LEYES</b>			
<b>LEY No.</b>	<b>FECHA</b>	<b>OBJETO</b>	<b>ESTADO</b>
76	Nov 15/1920	Sobre Policía de Ferrocarriles	Vigente, con actualizaciones de articulado años 1953, 1962, 2002 y 2010.
146	Dic 13/1963	Construcción de obras y reglamento de la futura construcción de carreteras y líneas férreas.	Vigente, con actualizaciones en 1993
24	Ago 27/1975	Asignación nombre al Ferrocarril del Valle del Río Magdalena.	No está vigente por agotamiento del objeto.
30	Abr 06/1982	Por la cual se modifica la Ley 64 de 1967	Vigente.
21	Feb 02/1989	Adopción del programa de recuperación del servicio público de Transporte Ferroviario Nacional.	Vigente, fue reglamentada por los Decretos 1591/89, 1590/89, 1589/89, 1588/89, 1587/89 y sentencia judicial del año 1999.
105	Dic.30/1993	Establecer la organización del Sistema Nacional de Transporte	Vigente, modificada por las leyes 276/96; 443/98 y 787/2002. Reglamentada por los Decretos 1112/94, 1916/94, 0105/95 y una Sentencia judicial del año 1999.
310	Ago 10/1996	Se modifica la Ley 86 de 1989.	Vigente, derogados los art. 3, 4, inciso único y párrafo 1o. de artículos 8 y 9 de la Ley 86 de 1989
336	Dic.20/1996	Establecer el Estatuto Nacional del Transporte	Vigente. Modificaciones según el Decreto 1122/99 y Sentencia de la Corte Constitucional C-923 de 1999.
769	Ago 06/2002	Se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre y se establecen normas de carácter general y particular para la actividad férrea.	Vigente. Modificada en varios artículos por la Ley 1383 de 2010.
1383	Mar 16/2010	Se reforma la Ley 769 de 2002 y se dictan otras disposiciones.	Vigente. Modificada por Ley 1450 de 2011.
1682	Nov.22/2013	Ley de infraestructura. Para promover el desarrollo de la infraestructura de transporte en las regiones.	Vigente
<b>DECRETOS</b>			
<b>DECRETO No.</b>	<b>FECHA</b>	<b>OBJETO</b>	<b>ESTADO</b>
2770	Oct 23/1953	DECRETO-LEY. Se expidió para la construcción de una línea en particular.	No es aplicable y desde el punto de vista técnico se encuentra obsoleto.
1075	Abr 1/ 1954	Decreto-Ley. Se dictan algunas disposiciones con relación a la seguridad en pasos de nivel.	Vigente. Adoptado como legislación permanente por la Ley 141 de 1961
3129	1954	Se crea la Empresa Ferrocarriles	Derogado por el Decreto 1586 de

		Nacionales de Colombia	1989
3	Dic 31/1963	DECRETO- LEY Se ordena a la Nación, departamentos y Ferrocarriles Nacionales la rehabilitación de unas OEAS y se reglamenta la futura rehabilitación de carreteras y líneas férreas.	Vigente
1344	Ago 04/1970	Se crea el Código Nacional de Tránsito Terrestre.	Vigente
909	Ago 25/1976	Por el cual se reglamenta la categoría de las vías del D.E.	Vigente
1586	Jul 18/1989	DECRETO-LEY. Se ordena liquidar la empresa Ferrocarriles Nacionales de Colombia, se adoptan normas para su liquidación y se dictan otras disposiciones.	Sentencia C-831 del 8 de octubre de 2002. Declara INHIBIRSE para pronunciarse sobre la EXEQUIBILIDAD del art 16 del Decreto – Ley 1586 de 1989. Actualmente no aplica.
1587	Jul 18/1989	Decreto-Ley. Se dictan normas generales para la organización y operación del sistema de transporte público ferroviario nacional.	Vigente. Aplica en las materias que regula en complemento con la Ley 769 de 2002 Código de Tránsito y Transporte, modificada por la Ley 1383 de 2010.
1588	Jul 18/1989	Se crea la Empresa Colombiana de Vías Férreas y se dictan normas para su organización y funcionamiento.	Ferrovías, fue suprimida y liquidada por el Decreto 1791 de 2003. No es aplicable.
2171	Dic 30/ 1992	Se reestructura el Ministerio de Obras Públicas y Transporte como Ministerio de Transporte.	Vigente y modificado por: Ley 105/93, se dictaron disposiciones básicas sobre el transporte, se redistribuyeron competencias y recursos entre la Nación y las Entidades Territoriales, se reglamentó la planeación en el sector transporte.
3109	Dic 30/1997	Se reglamenta la habilitación, la prestación del servicio público de transporte masivo de pasajeros y la utilización de los recursos de la Nación.	Vigente y es aplicable a sistemas ferroviarios suburbanos o de cercanías, o sistemas metro, tranvías y/o trenes ligeros.
3110	Dic 30/1997	Se reglamenta la habilitación y la prestación del servicio público de transporte ferroviario.	Vigente
101	Feb 02/2000	Se modificó la estructura del Ministerio de Transporte.	Vigente
81	Ene.28/2000	Se modificó la estructura del Instituto Nacional de Vías	Derogado por el Decreto 2056 de 2003, por el cual se modificó la estructura del Instituto Nacional de Vías.
1791	Oct 04/1996	El Gobierno suprime la Empresa Colombiana de Vías Férreas y ordena su liquidación.	No es aplicable. Este decreto fue modificado por el Decreto 2089/2005 en cuanto al plazo conferido para concluir el proceso

			de liquidación de la Empresa Ferrovías en Liquidación (26 de junio de 2007).
1800	Jun 26/2003	Decreto-Ley. Se crea el Instituto Nacional de Concesiones INCO y se determina su estructura.	Vigente, con modificaciones realizadas en Decreto 794/2007, Decreto 4688/2007, Decreto 4826/2007, Decreto 1175/2008, Decreto 2383/2011, Decreto 4164/2011 y Decreto 4165/ 2011.
2053	Jul23/2003	Se establecen los criterios para la fijación de las tarifas correspondientes a los usuarios de transporte ferroviario de carga y pasajeros por el corredor férreo Chiriguaná-Santa Marta.	Vigente
2056	Jul 24/2003	Se modifica la estructura del Invías, y se dictan otras disposiciones.	Vigente.
4165	Nov 3/2011	Se cambia la naturaleza jurídica, cambia de denominación y se fijan otras disposiciones del INCO para el diseño, construcción, mantenimiento, operación, administración y/o explotación de la infraestructura pública de transporte en todos sus modos y de los servicios conexos o relacionados	Vigente.
2618	Nov.20/2013	Planear, coordinar, estructurar, contratar, ejecutar, administrar y evaluar proyectos de concesiones y otras formas de Asociación Público Privada), para el diseño, construcción, mantenimiento, operación, administración y/o explotación de la infraestructura pública de transporte en todos sus modos.	Vigente
769	Abr 22/2014	Se listan las actividades de mejoramiento en proyectos de infraestructura de transporte.	Vigente
770	Abr. 22/2014	“Por el cual se establece el listado de cambios menores o ajustes normales en proyectos del sector de infraestructura de transporte que cuenten con licencia o su equivalente”	Vigente
791	Abr. 22/2014	Por el cual se reglamenta el artículo 72 de la Ley 1682 de 2013 y se modifica el artículo 18 del Decreto 1510 de 2013.	Vigente
1079	May 26/2015	Se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Transporte.	Vigente.
1802	Sep.09/2015	Por el cual se desarrolla el Decreto 1770/2015 y se autoriza el tráfico férreo en los municipios de Bosconia, Algarrobo, Fundación y Zona Bananera.	Vigente

RESOLUCIONES			
RESOLUCIÓN No.	FECHA	OBJETO	ESTADO
063	Ene 21/1964	Se fija el texto oficial del reglamento del tránsito terrestre colombiano, Ministerio de Fomento.	Vigente
10.000	Oct09/1976	Se establecen las señales para el control del tránsito. Se fijan las señales preventivas para indicar los pasos a nivel.	Vigente
353	Ene 18/1996	Se fijan tarifas de peajes para el transporte de carga en el modo férreo durante el tiempo de rehabilitación de la vía férrea	Vigente.
693 DE 198	Sep 15/1998	Se reglamenta la autorización para los permisos de cruce de ferrovías	Vigente, con modificaciones por la Res. 0153/2003, y resoluciones 693/ 1998 y 0153/2003, adoptadas por la Resolución 366/2006 expedida por el INCO.
1268	Oct 01/1998	Se delegan funciones al Director General de transporte ferroviario, se establecen procedimientos y se definen los componentes del sistema integrado de transporte masivo.	Vigente.
0002252	Nov 08/1999	Por la cual se establece el Manual y Formatos para determinar las necesidades de movilización de pasajeros para el transporte terrestre colectivo Metropolitano, Distrital y/o Municipal.	Vigente
0153	Jun 04/2003	Se modifica y adiciona el art 3o. de la Resolución 693 de 1998.	Esta resolución y la 693 de 1998 fueron adoptadas por la Resolución 366 del INCO.
003555	Dic 01/2004	Se establecen los requisitos para expedir la licencia a los tripulantes del sistema férreo.	Vigente
001848	Jul 14/2005	Se establece la prelación entre las vías en zonas rurales.	Vigente
1070	Mar 27/2006	Se establecen las tarifas correspondientes a los usuarios de transporte ferroviario de carga y pasajeros del corredor férreo Chiriguana-Santa Marta.	Vigente. Aplicables comentarios a la Res 353/1996, específicos para el sector del Carbón, y sector de pasajeros en el corredor Chiriguana – Santa Marta.
002400	Jun 09/ 2006	Se modifica el art 5º de la resolución 003555 del 1º.de dic/2004, que establece los requisitos para expedir la licencia a los tripulantes de los vehículos del sistema férreo.	Vigente
0366	Jun 21/2006	Se adoptan las resoluciones 0693/1998 y 0153/2003 de FERROVIAS, relacionadas con la reglamentación de los permisos de cruces en la red férrea.	Derogada por la Resolución 453 de 2009
184	Ene 06/2009	Se establecen las tarifas correspondientes a los operadores y usuarios de transporte ferroviario de	Vigente

		carga y pasajeros en el corredor del sistema férreo central.	
000453	Feb 12/2009	Se fija el procedimiento para el otorgamiento de los permisos para el uso, la ocupación y la intervención de la infraestructura nacional concesionada.	Vigente
241	May 24/2011	Se fija el procedimiento para el otorgamiento de los permisos para el uso, la ocupación y la intervención de la infraestructura férrea nacional concesionada.	Vigente
4413	Dic.30/2014	Se establecen los requisitos para la aprobación, certificación de la viabilidad Técnica y financiera de los proyectos de estudios y diseños, construcción, rehabilitación, mantenimiento, mejoramiento, ampliación, interventoría, equipos y bienes relacionados con la infraestructura de transporte y su seguimiento.	Vigente
164	FEB.05/2015	Se establecen los corredores logísticos de importancia estratégica para el país y se dictan otras disposiciones.	
395	Ene 13/2015	Modifica la Res.4413/2014. precisar los requisitos para algunos de los proyectos y/o solicitudes para acceder al beneficio de tasa compensada	Vigente

Fuente: Elaboración propia. Información Tomada del Ministerio de Transporte. Bogotá; Ministerio de Transporte. Dirección de Infraestructura, 2015.

#### 4.2. Marco Normativo Ambiental del Sector Férreo

A continuación en la Tabla No.29, se realiza un resumen de las normas de carácter ambiental que deben ser tenidas en cuenta en la gestión del Subsector Férreo.

Los corredores férreos se constituyen en ejes estratégicos para el transporte de carga, dada su eficiencia en la movilización de grandes volúmenes y ambientalmente por su producción en términos de emisiones efecto invernadero.

En este sentido, los sistemas férreos para transporte de pasajeros y de carga deberían considerar entre sus alternativas, la opción de la energía eléctrica por las características de precio del mercado, disponibilidad y confiabilidad de suministro, bajas emisiones efecto invernadero y alta eficiencia energética.

A continuación, se muestra la Tabla 28 en donde se hace un resumen de toda la normatividad ambiental del Modo Férreo en Colombia.

Tabla No 28. Legislación Ambiental existente del Sector Férreo en Colombia

LEY No.	FECHA	OBJETO
99	Dic.22/1993	Sobre licencias ambientales fortalecer el proceso de licenciamiento ambiental, la gestión de las autoridades ambientales y promover la responsabilidad ambiental en aras de la protección del medio ambiente. Se prevé que la construcción de vías férreas y variantes de la red férrea nacional, requieren licencia ambiental.
397	Ago 07/1997	Por la cual se desarrollan los artículos 70, 71 y 72 y demás artículos concordantes de la Constitución Política y se dictan normas sobre patrimonio cultural.
1252	Nov 27/2008	Se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral
1450	Jun 16/2011	Adquisición y mantenimiento de zonas de conservación de recursos hídricos o para financiar esquemas de pago por servicios ambientales.
DECRETO No.	FECHA	OBJETO
2811	Dic.18/1974	Se dicta el Código de Recursos Naturales Renovables y Protección del Medio Ambiente.
1753	Ago 03/1994	Se define, el Plan de Manejo Ambiental, como el plan que de manera detallada, establece las acciones que se requieren para prevenir, mitigar, controlar, compensar y corregir los posibles efectos o impactos ambientales negativos causados en desarrollo de un proyecto, obra o actividad.
2820	Ago 05/2010	Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales.
901	Abr 04/1997	Tasas retributivas por la utilización directa e indirecta del agua como cuerpos de agua receptores de vertimientos puntuales.
1180	Mayo 10/2003	Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre Licencias Ambientales. Establecimiento de la licencia ambiental y de los permisos complementarios objetos de competencias del MAVDT.
948	Jul 29/2005	Relacionado con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.
4741	Dic.30/2005	Se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.
979	Abr.03/2006	Por el cual se establece el marco sobre prevención y control de la contaminación atmosférica.
2372	Jul 01/2010	Se reglamenta el Decreto Ley 2811 de 1974, la Ley 99 de 1993, la Ley 165 de 1994 y el Decreto Ley Decreto 244 de 2006.
2820	Ago 05/2010	Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales.
3570	Sep.21/2011	Decreto-Ley. Se dispuso la creación del Ministerio del Medio Ambiente, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
3016	Dic.27/ 2013	Por el cual se reglamenta el. Permiso de Estudio para la recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de Elaboración de Estudios Ambientales.
769 y 770	Abr.22/2014	Por el cual se listan las actividades de mejoramiento en proyectos de infraestructura de transporte.
2048	Oct.16/ 2014	Financiamiento de la infraestructura para el desarrollo sostenible de las regiones en diferentes sectores, entre ellos, el transporte, siendo beneficiarias tanto las entidades públicas como privadas.

2041	Oct 15/2014	Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre Licencias Ambientales.
<b>RESOLUCIÓN No.</b>	<b>FECHA</b>	<b>OBJETO</b>
8321	1983	Protección salud emisión ruido.
189	Ago 22/1994	Prohíbe el ingreso de residuos peligrosos al país.
751	Ago 05/2002	Por medio del cual se establece un Plan de Manejo Ambiental para la ejecución del Proyecto: Rehabilitación, Conservación y Mantenimiento de los siguientes sectores de la red férrea actual: Bogotá – Santa Marta; Bogotá – Belencito; La Caro - Lenguazaque y Bello – Puerto Berrío.
0601	Abr 04/2006	Sobre calidad del aire o nivel de inmisión.
909	Jun 05/2008	Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.
910	Jun 05/2008	Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones.
1503	Ago 04/2010	Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales. modificada para el componente geográfico mediante la Resolución 1415 de 17 de agosto de 2012
1415	Ago 17/2012	Por la cual se reglamenta el Modelo de Almacenamiento Geográfico (Geodatabase en adelante GDB).
0299	Mar 28/2014	Por la cual se autoriza la cesión parcial del Plan de Manejo Ambiental establecido en la Resolución 751 de Agosto 5 de 2002.
0113	Ene 28/2015	Por la cual se adoptan los términos de referencia, para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental, requerido para el Trámite de la Licencia Ambiental de los proyectos de construcción de líneas férreas.
631	Mar 19/2015	Reglamenta el Decreto 3930 de 2010 y actualización modo terrestre-férreo, acuático-fluvial y modo acuático de infraestructura.
326 y 370	Marzo 18/2015	Se modificó la Resolución 2351/07 para la Construcción Segunda Línea Férrea y se otorgó Licencia Ambiental para construcción de segunda Línea Férrea.

Fuente: Elaboración propia. Información tomada del Ministerio de Vivienda y del Medio Ambiente 2015.

#### 4.3. Otras normativas aplicables al sector Férreo

Otras normativas existentes, que son de obligatorio cumplimiento y que rigen para el Modo Ferroviario y son las siguientes:

#### **4.3.1. Licencia ambiental.**

A partir de la expedición de la Ley 99 de 1993, se han expedido diferentes disposiciones mediante las cuales se han reglamentado las licencias ambientales. Las cuales se establecen para responder a la necesidad de prevenir, mitigar, corregir, compensar, manejar y controlar los impactos al ambiente generados por la actividad humana y que puedan ser gestionados de manera responsable para proteger el medio ambiente.

La licencia ambiental es de carácter obligatorio y se otorgará por la vida útil del proyecto, obra o actividad y cobijará las fases de construcción, montaje, operación, mantenimiento, desmantelamiento, restauración final, abandono y/o terminación. La construcción de vías férreas y/o variantes de la red férrea nacional tanto pública como privada.<sup>7</sup>

#### **4.3.2. Plan de Manejo Ambiental**

El Plan de Manejo ambiental para el Corredor Ferroviario Bogotá-Belencito, fue presentado para evaluación y tiene como objetivo establecer las medidas para prevenir, mitigar, controlar, compensar y corregir los posibles impactos ambientales negativos generados por el proyecto ferroviario.

Consta de Fichas de Manejo, Plan de Gestión Social, Plan de Seguimiento y Plan de contingencia, cronograma de ejecución y contingencia.

Plantea dos estrategias de seguimiento de los impactos durante la rehabilitación de las obras: La primera relacionada con los monitoreos, los cuales deben ser realizados durante la rehabilitación y conservación de la red férrea y La segunda estrategia para controlar los impactos que se causen durante la rehabilitación y conservación del corredor ferroviario.

##### **4.3.2.1. Obras de rehabilitación y conservación.**

La rehabilitación consiste en mejorar las condiciones actuales de la vía de tal forma que se garantice una operación segura de los trenes, para esto se requiere intervenir la infraestructura y superestructura de la vía férrea. La infraestructura se compone de explanación, terraplén y obras hidráulicas (cunetas, alcantarillas y puentes). La superestructura se compone del balasto, durmientes y rieles.

##### **4.3.2.2. Plan de Monitoreo Físico Biótico.**

Se debe verificar la eficiencia de las medidas de control de erosión implementadas por el Plan de Manejo Ambiental, con el fin de reducir los riesgos de desestabilización y/o erosión de las áreas afectadas por las obras de rehabilitación de la vía férrea.

Las áreas que sean intervenidas en la rehabilitación de infraestructura y superestructura, obras de drenaje, reparación de puentes, obras de protección geotécnicas y obras complementarias, específicamente las zonas más susceptibles a movimientos en masa y erosión como taludes, llenos, terraplenes y cauces de corrientes de aguas.

---

<sup>7</sup> Decreto 2041 del 15 de Octubre de 2014. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE 51p.

Una vez finalizadas las obras de estabilización y control de erosión en un sitio específico se iniciará el monitoreo para dicho punto.

La periodicidad del monitoreo será semanal, en caso de observarse una evolución aceptable, el monitoreo se podrá realizar mensual. El monitoreo tendrá una duración de dos años, se realizarán evaluaciones de la calidad ambiental del área tratada de acuerdo a como se presente el desempeño de las obras realizadas.

De acuerdo con la eficiencia de las obras realizadas como conformación de taludes, obras de drenaje, trinchos, muros de contención (gaviones, bolsacretos, tierra armada) y filtros, se califica el desarrollo de la recuperación del sitio y así mismo establecen parámetros de evaluación siendo: Buena: 0,8 - 1,0; Aceptable: 0,6 - 0,8; Media 0,4 - 0,6; Baja: 0,2 - 0,4; Crítica: 0,0 - 0,2

**Evaluación del Ministerio:** Para el corredor férreo el Ministerio consideró que los procedimientos establecidos en el plan de monitoreo físico – biótico, componente erosión y estabilidad de taludes permiten alcanzar los objetivos establecidos.

#### **4.3.2.3. Monitoreo de la Cobertura Vegetal.**

Se debe monitorear la evolución de las zonas revegetalizadas (cortes, llenos, terraplenes). Las áreas intervenidas durante las actividades de rehabilitación de infraestructura y superestructura y en los que se ha removido la cobertura vegetal como en cortes y terraplenes. Una vez finalizada la revegetalización en un sitio específico se iniciará el monitoreo para dicho punto, con una periodicidad semanal, en caso de observarse una evolución aceptable, el monitoreo se podrá realizar mensual.

En las zonas por revegetalizar, se identificarán y cuantificarán las áreas que van a ser tratadas. Se llevará un registro de las áreas, donde se realizará una calificación de la evaluación de la evolución del tratamiento que han sido revegetalizadas y han prendido eficientemente. La revegetalización será eficiente cuando se garantiza un prendimiento por área mayor o igual al 80%.

**Evaluación del Ministerio:** El Ministerio evaluó que los procedimientos establecidos en el plan de monitoreo físico–biótico, componente Cobertura Vegetal permiten alcanzar los objetivos establecidos.

#### **4.3.2.4. Calidad de las aguas.**

Verifica la eficiencia de los sistemas en cadena propuestos para el tratamiento de las aguas residuales instalados, por medio de los análisis de aguas efluentes de los sistemas de tratamiento domésticos e industriales, para asegurar que las descargas que se hagan a las corrientes cumplan con los parámetros ambientales de vertimientos.

Además monitorear el agua de abasto para los campamentos, talleres e instalaciones temporales. En el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, se tomarán muestras a la entrada del tanque séptico y a la salida del filtro anaerobio. En el sistema de tratamiento de aguas residuales industriales se tomarán muestras a la entrada del separador de grasas y a la salida del sedimentador.

Los muestreos se iniciarán a partir de la quinta semana, para asegurar que las aguas efluentes del filtro anaerobio son en su totalidad las aguas residuales, debido a que las primeras aguas son las aguas con las que se llenó el tanque séptico para su inoculación. Se realizará un monitoreo mensual en cada sistema de tratamiento de aguas residuales, tanto domésticas como industriales y en el sistema de abasto.

Los indicadores ambientales que se utilizarán para el monitoreo de la calidad del agua afluente al tanque séptico y el agua efluente del filtro anaerobio de flujo ascendente, serán los dispuestos según el Decreto 1594 del 26 de junio de 1984. Para el sistema de abastos, los indicadores ambientales serán los dispuestos en el Decreto 2105/83.

Los resultados de los muestreos se compararán y sus resultados, tienen que cumplir con lo estipulado en el Decreto 1594, en cuanto a la remoción como mínimo del 80% DBO5 del sistema. Se tomarán muestras trimestralmente para el primer año y de acuerdo con su funcionamiento se establecerá la periodicidad para el año siguiente.

**Evaluación del Ministerio:** El Ministerio consideró que Los procedimientos establecidos en el plan de monitoreo físico – biótico, componente Calidad y la cobertura Vegetal permiten alcanzar los objetivos establecidos.

#### **4.3.2.5. Sitios de disposición de materiales sobrantes de excavaciones.**

Se debe verificar la eficiencia de las medidas implementadas en el Plan de Manejo para la disposición de materiales sobrantes de excavaciones y estériles y la recuperación del área afectada.

Durante la operación del botadero el monitoreo se hará como mínimo una vez a la semana, luego mensual por lo menos durante 6 meses o a hasta que la autoridad ambiental considere que la evolución de la recuperación es satisfactoria.

En la operación del botadero se evaluará el desempeño de las obras implementadas como drenajes y filtros, así como la estabilidad del sitio, posibles efectos sobre el entorno del botadero y forma de colocación de los desechos.

Una vez se haya recuperado el área se evaluará el estado de las medidas implementadas y la evolución de la recuperación. Así mismo se tendrá en cuenta el funcionamiento de obras de drenaje, prendimiento de revegetalización, erosión y estabilidad.

Por otra lado propone una calificación ambiental que incluya los parámetros de evaluación así: Buena: 0,8 - 1,0; Aceptable: 0,6 - 0,8; Media: 0,4 - 0,6; Baja: 0,2 - 0,4; Crítica: 0,0 - 0,2

**Evaluación del Ministerio:** Los procedimientos establecidos en el Plan de Monitoreo físico – biótico, para sitios de disposición de materiales sobrantes de excavaciones permiten alcanzar los objetivos establecidos, por lo cual el Ministerio considera que se debe implementar para su aplicación.

#### **4.3.2.6. Programa de Monitoreo Social.**

Desarrollar un proceso de seguimiento permanente a la ejecución de las medidas de manejo social propuestas en el Plan de Manejo Ambiental, para la rehabilitación y conservación de la línea férrea y verificar su eficacia.

Para el seguimiento de los programas del PGS se propone la creación de un Comité de Monitoreo Social integrado por: un interlocutor comunidad–contratista, un representante de la parte técnica del Contratista, un representante de la comunidad, un representante institucional (personero, secretario de gobierno, delegado municipal, veedor) y un representante del Concesionario, el cual se reunirá cada 30 días durante los primeros tres meses, luego cada dos meses durante la rehabilitación de la Línea Férrea.

**Evaluación del Ministerio:** Los instrumentos e indicadores propuestos para el seguimiento y control de los programas sociales establecidos para la mitigación de los impactos socioeconómicos, permiten medir eficientemente los objetivos establecidos para cada uno de ellos, por lo cual este Ministerio considera procedente su aplicación. Se debe crear un Comité que durará la vida del proyecto y su etapa de operación.

#### **4.3.2.7. Plan de Control de Impactos.**

Este plan debe asegurar que las medidas de prevención, control, compensación y mitigación propuestas durante las fases de rehabilitación y conservación, sean implementadas oportuna y efectivamente e incluye:

- ✓ Etapas del proyecto para implementación: Durante la rehabilitación y conservación de la vía férrea.
- ✓ Este procedimiento es aplicable al personal de profesionales y auxiliares encargados de la ejecución, control y el seguimiento de la rehabilitación y conservación de la línea férrea.
- ✓ Cobertura espacial: Todas las áreas identificadas como área de influencia del proyecto por la ejecución de actividades propias de la reconstrucción de las obras físicas.
- ✓ Población beneficiada: Todas las personas involucradas directa o indirectamente con el proyecto.
- ✓ Descripción de actividades de la medida: Establece actividades y responsables de las mismas, el éxito de este plan de control radica en la correcta y oportuna aplicación de las listas de verificación sugeridas para cada ficha del plan de Manejo ambiental y aquellas que mejoren el propósito de vigilar el cumplimiento de las medidas de mitigación propuestas en el estudio.

**Evaluación del Ministerio:** Los mecanismos de verificación y/o control establecidos en el plan de control de los impactos, permiten alcanzar de manera oportuna los objetivos establecidos.

#### **4.3.2.8. Plan de Contingencias.**

Con el Plan de Contingencias, se debe:

- ✓ Establecer los lineamientos y requisitos generales del Plan de Contingencias que deben cumplir durante la rehabilitación y conservación, de forma que se permita minimizar y mitigar los riesgos ambientales resultantes en una emergencia durante su construcción y mantenimiento.
- ✓ Determinar e implementar elementos técnicos necesarios para controlar, en forma eficiente, los riesgos ambientales que puedan ocurrir durante el desarrollo de las obras.
- ✓ Preservar y conservar la salud y bienestar de los trabajadores, de la población vecina, los recursos naturales y la calidad de la infraestructura de la vía durante la rehabilitación y conservación, en caso de siniestro.
- ✓ Establecer mecanismos y procedimientos para obtener una capacidad de respuesta y de acción rápida ante la ocurrencia de un evento de origen natural o antrópico.

Los anteriores objetivos se podrán alcanzar mediante:

- ✓ Definición organizacional: establece la organización con la que va a contar el plan de contingencia para su ejecución y su responsabilidad en cada área geográfica y ámbito jurídico en donde se va a implementar el plan.
- ✓ Mecanismos institucionales: Define la competencia de las diferentes entidades: A nivel de Propietario del proyecto, En el ámbito municipal y departamental.

Se incluye además un Plan de comunicaciones de coordinación, control e información a la comunidad, con la creación de Comités del plan de contingencia, Instituciones de apoyo externo, Plan operativo, (ejecución del Plan y atención de emergencias), el cual será dado a conocer a los empleados que trabajan en el proyecto y los pasos a seguir en caso de incendio, sismo, inundación, explosión, mordeduras de serpientes, picaduras de insectos, derrames de combustibles y contingencias técnicas.

**Evaluación de este Ministerio:** Los protocolos y/o procedimientos establecidos en el Plan de Contingencias permiten alcanzar de manera oportuna los objetivos establecidos, por lo cual el Ministerio considera procedente su aplicación

De acuerdo con los parámetros establecidos en el análisis de impactos en el PMA, se definieron como potenciales impactos ambientales negativos generados por la rehabilitación y/u operación del corredor férreo entre otros los siguientes: Aumento del Efecto Barrera, Aumento de ruido y vibraciones, Contaminación de suelos por producción de residuos sólidos, Aumento en las emisiones de gases contaminantes (CO, COx Nox, SOx, HC), Contaminación de aguas por producción de residuos líquidos, aumento de riesgos de accidentes, generación de expectativas por pérdida de mejoras en el derecho de vía y daños a terceros.

Con el análisis del Plan de Manejo Ambiental presentado, el Ministerio considera que cumple con el objetivo de establecer las medidas para prevenir, mitigar, controlar, compensar y corregir los posibles impactos ambientales negativos generados por el proyecto para la fase de rehabilitación, reconstrucción y/o conservación de la Red ferroviaria.

#### **4.4. Aspectos Medioambientales del Modo Férreo**

El ferrocarril es el modo de transporte de viajeros y de mercancías que presenta un menor impacto ambiental en su conjunto, es el modo que menos energía consume por unidad transportada, que presenta unos menores niveles de emisiones de CO<sub>2</sub>, que menos contribuye a la contaminación local en las áreas urbanas y que genera un menor impacto acústico.

Además la ocupación del terreno realizada por las infraestructuras ferroviarias es en términos relativos significativamente menor que el espacio ocupado por las carreteras.

De otra parte, se deben tener en cuenta factores externos que dependen de funciones y competencias de actores que tienen directa incidencia determinadas por la normatividad, el ordenamiento territorial, la sostenibilidad ambiental y la seguridad entendida como integral.

Todas estas ventajas ambientales, además de sociales y económicas, tales como una menor accidentalidad y una contribución decisiva a la reducción de la congestión urbana, hacen que el ferrocarril sea el modo de transporte que menos costes externos genera a la sociedad.

El modo carretero y el aéreo, generan entre 3 y 5 veces más costes externos que el ferrocarril, lo que hace que el ferrocarril sea reconocido, como el modo de transporte más sostenible.

La transferencia modal, tanto en viajeros como en mercancías, desde otros modos de transporte menos sostenibles hacia el ferrocarril genera una disminución notable de dichos costes externos, estableciendo las bases para un sistema de transporte más eficiente y para una movilidad más sostenible.

Actualmente, la Red Bogotá-Belencito, con una línea férrea en operación, utilizada para el transporte de cemento, con una baja operación y unas características técnicas, que no permiten una rápida operación; igualmente, existe el tramo Belencito-Paz de Río, de propiedad privada donde funciona un tren eléctrico, utilizado para el transporte de materiales relacionados con la industria del acero.<sup>8</sup>

La conformación geológica de los suelos en el tramo que corresponde al Departamento de Boyacá, integrada con sus cuencas hídricas, su clima, los fenómenos de carácter natural; han determinado el tipo de amenazas y riesgos latentes, que tienen que ver con sucesos relacionados con la actividad sísmica, catalogados en el nivel de amenaza intermedia y alta, movimientos en masa, inundaciones, heladas y sequías, deforestación y los relacionados con el cambio climático y existen algunos relacionados con actividades humanas, como el vertimiento de elementos químicos en los cauces hídricos, o la exposición de estos al aire, con el proceso de desarrollo de asentamientos humanos en áreas ecosistémicas frágiles, como la localización inapropiada de edificaciones en áreas no permitidas o de protección, modificación de tierras e intervenciones de rondas de ríos y quebradas que son sistemas constructivos inapropiados o con el incumplimiento de las

---

<sup>8</sup> DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN (DNP)-GOBERNACIÓN DE BOYACÁ. Boyacá Visión 2019: Territorio de libertad y prosperidad bicentenario. Tunja, Imprenta Nacional de Colombia, p.85.

normas técnicas establecidas, calidad de materiales y desarrollos arquitectónicos inadecuados.

#### **4.4.1. Emisiones acústicas**

Los trenes realizan menores emisiones acústicas que otros modos como el carretero y el aéreo. Según han observado estudios científicos, el ruido ferroviario cuando se produce es puntual y menos molesto que el ruido continuo que causa una carretera. En el caso del ferrocarril, es posible aplicar medidas eficaces en las fuentes emisoras, material rodante o infraestructura, mientras que en otros modos como en el aéreo, se suelen aplicar medidas paliativas en los receptores del ruido, menos efectivas y más costosas.

##### **Medidas para evitar la emisión de ruido:**

- ✓ Instalación de silenciadores en las máquinas especialmente ruidosas: compresores, grupos electrógenos, entre otros.
- ✓ Mantenimiento general periódico de la maquinaria, con control y medición de emisiones de ruido, para comprobar que éstas se mantienen dentro de los parámetros normalizados por las Directivas.
- ✓ Instalar elementos móviles y de vibración de las instalaciones, sobre soportes anti vibratorios, que no estén apoyados sobre paredes u otros elementos estructurales que puedan transmitir vibraciones y ruido.
- ✓ Limitaciones de velocidad de tránsito de la maquinaria en sitios residenciales.
- ✓ Utilizar la mínima potencia en la maquinaria compatible con las operaciones a realizar (las menos potentes pues son más silenciosas y así mismo utilizar dispositivos silenciadores)
- ✓ Evitar trabajos nocturnos.
- ✓ Colocación de barreras para impedir su propagación: pantallas de hormigón y otros materiales, como: lonas, árboles, muros ecológicos.
- ✓ Ubicación de instalaciones auxiliares en lugares no amplificadores del ruido.

Los primeros ensayos mundiales de medida de ruido se llevaron a cabo en el Sanyo Shinkansen concluyéndose que el nivel de ruido de las vías en placa era de 5 dB(A) más alto que la vía con balasto. Por esta razón, los japoneses comenzaron a trabajar en sistemas de losas flotantes que atenuaban los niveles de ruido a valores próximos a la vía con balasto gracias a la disposición bajo el carril de materiales con capacidad de absorción de ruido como materiales inorgánicos, cerámica u hormigón poroso.

Por otro lado, los alemanes que trabajaron fundamentalmente en los sistemas monolíticos con traviesas constataron que los niveles de ruido medidos eran de 4 dB(A) superiores a la vía con balasto. Así, con objeto de reducirlos realizaron algunas innovaciones al sistema como la disposición de una capa inferior de gravilla y una capa superior de hormigón poroso que permite la absorción de parte del ruido producido.

Otras tipologías de vía sin balasto que presentan comportamientos aceptables frente a las emisiones sonoras son los sistemas de bloques o traviesas recubiertas de elastómero, que se emplean en Francia o los sistemas de carril embebido, desarrollados en los Países Bajos, cuyos niveles de ruido son ligeramente superiores a los de la vía sobre balasto. En

estos casos, las medidas anti ruido a llevar a cabo, no son inherentes a la estructura de la vía. Generalmente, se adoptan las soluciones clásicas de la vía con balasto.

#### **4.4.1.1. Impactos ambientales por ruido.**

Las medidas de una buena práctica ambiental deben estar orientadas principalmente a evitar la aparición del impacto: siempre es mejor aplicar medidas preventivas. Cuando esto no sea posible, la segunda categoría serían las medidas correctoras del impacto causado para minimizar su efecto.

Para los niveles de ruido, se deberá realizar un monitoreo de los niveles de presión sonora (ruido ambiental) en las zonas que se hayan identificado como las más sensibles (áreas habitadas y ecosistemas estratégicos) y áreas donde se identifiquen fuentes de generación de ruido que interfieran de manera significativa en el clima sonoro de la zona objeto de estudio. Los monitoreos deben realizarse de conformidad con los parámetros y procedimientos establecidos en la normatividad vigente.

Se deberá presentar un informe de los puntos monitoreados, con una descripción clara de las fuentes sonoras que influyen en las mediciones, tipo de emisión y modo de operación.

En el caso de que los niveles registrados superen los establecidos en la norma, debido a fuentes de emisión naturales o fuentes diferentes a las del proyecto, se debe realizar el respectivo análisis que permita definir los niveles máximos de ruido presentes en la zona, los cuales no podrán ser superados por las actividades de construcción y operación del proyecto.

Según los estándares internacionales, los niveles máximos permitidos de Emisión de ruido en vehículos férreos, como se muestra en la tabla 29, deben ser:

Tabla 29. Niveles Permisibles emisión de ruido vehículos férreos

<b>TIPO DE VEHÍCULO FÉRREO</b>	<b>NIVEL SONORO EN Db(A)</b>
Compartimento de pasajeros a 100 Km/h	70 dB
Cabina de conducción a 100 km/h	70dB
Exterior del tren a 100 km/h	80 dB
Exterior del tren a 100 km/h	75 dB

Fuente: Elaboración propia. Septiembre de 2015

#### **4.4.2. Ocupación del Suelo**

El ferrocarril ocupa entre 2 y 3 veces menos espacio físico por unidad transportada que las carreteras. A nivel europeo, el ferrocarril con un 8% del mercado realiza solamente un

2% de la ocupación de territorio debida al transporte. Aunque la construcción de líneas de Alta Velocidad tiene una ocupación significativa del espacio, estas líneas ocupan un 35% menos que una autovía de dos carriles por sentido.

Una línea de ferrocarril tiene una capacidad de transporte 6 veces mayor que las infraestructuras de transporte en autobús y 45 veces mayor en el caso de los automóviles.

#### **4.4.2.1. Impactos por ocupación del suelo**

Medidas para evitar y corregir los impactos por la ocupación de suelo:

- ✓ La definición de zonas en función del valor ambiental y establecer determinados usos permitidos en cada una de ellas, de manera que minimice el efecto sobre la zona ocupada. En las infraestructuras ferroviarias se definen:
- ✓ Zonas excluidas: son las áreas de mayor protección y de mayor calidad ambiental. Se debe prohibir en ellas la localización de instalaciones auxiliares temporales o permanentes.
- ✓ Zonas restringidas: son áreas de protección media, se permite la ubicación de instalaciones auxiliares temporales condicionadas a la posterior restauración de la zona ocupada.
- ✓ Zonas admisibles: son áreas de menor protección ambiental, se permite la localización de instalaciones temporales y permanentes (préstamos y vertederos).

En relación con el aspecto ambiental, una de las medidas más habituales es jalonar estas zonas para señalar si es una zona excluida o restringida, mediante estacas, cintas o cerramientos si es necesario.

#### **4.4.3. Vibración**

Para la proyección de los niveles de ruido y vibraciones se deberá realizar una estimación de niveles de ruido por la operación férrea utilizando herramientas de modelación y softwares especializados para lo cual se deberán tener en cuenta las condiciones determinantes en el comportamiento de la onda sonora y/o vibratoria, climáticas, de terreno y las características de propagación propios de la zona objeto de estudio, en la que se determine la propagación del ruido y vibraciones procedentes de la operación en zonas pobladas, y hacer un análisis de las medidas de manejo ambiental a instalarse o implementarse de ser necesario para mitigar los efectos generados por la mencionada actividad.

Para vibración, deberán realizar monitoreos de vibraciones, en la zona de estudio, orientada a caracterizar la emisión natural y de otras fuentes presentes en el terreno cerca donde se ubica la línea férrea.

Estas medidas darán como resultado la aceleración del suelo en tres ejes ortogonales, en bandas de tercio de octava desde 1 Hz a 315 Hz. y la función de transferencia que sufre la señal hasta llegar al receptor.

Como resultado de lo anterior, se deben analizar y proponer sitios aptos para instalar un sistema permanente de monitoreo de ruido y vibraciones.

- ✓ Reposición de servicios afectados
- ✓ Las fuentes de generación de ruido y vibración existentes en el área de influencia del componente atmosférico para el caso de ruido y del componente suelo desde el punto de vista de vibración.
- ✓ La ubicación de los asentamientos poblacionales, las viviendas y la infraestructura social dentro del área de influencia del componente.

#### **4.4.4. Polución CO2**

El tren puede posicionarse como el medio principal de transporte de carga y pasajeros y contribuir en la disminución de las emisiones de CO2 del sector. Para conseguirlo, es necesario potenciar y adaptar la oferta a las necesidades de transporte cotidiano, mejorar los servicios ferroviarios que fomenten la intermodalidad y la accesibilidad de las estaciones y fomentar la electrificación de las líneas ferroviarias. El tren tiene potencial suficiente para convertirse en motor económico y social de futuro.

En el módulo de energía se contabilizan las emisiones de GEI generadas por quema de combustibles fósiles y las emisiones fugitivas generadas en las actividades de petróleo, gas y carbón mineral.

La quema del combustible puede definirse como la oxidación intencional del combustible dentro de un aparato diseñado para suministrar calor o trabajo mecánico a un proceso, o para utilizar fuera del aparato.

Esta oxidación es un proceso en el que los componentes de un combustible, principalmente el carbono, hidrógeno y azufre, reaccionan con un comburente (comúnmente oxígeno) y se oxidan liberando energía utilizable, dióxido de carbono (CO2) y agua (H2O), cuando la combustión es completa.

Cuando la combustión es incompleta, es decir, cuando parte del combustible no ha sido oxidado, se liberan además, otros compuestos como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), dióxidos de azufre (SO2), carbono (C), hidrógeno (H) y partículas de carbono.

Las emisiones fugitivas, son los gases liberados a la atmósfera de forma imprevista o deliberadamente, en actividades antropogénicas; particularmente de la producción, procesamiento, transformación, almacenamiento y uso de combustibles.

Las emisiones más significativas de gases de efecto invernadero en esta categoría, son las emisiones de metano. También se emiten otros gases tales como CO2 y COVDM.

Se distinguen dos (2) subcategorías para las emisiones fugitivas: Emisiones generadas por la minería y manejo del carbón y emisiones generadas por actividades del petróleo y gas natural.

Al ser un gran consumidor de energía, el transporte aporta un gran número de elementos nocivos para la salud y el medio ambiente tales como el CO2, Co, NO2, entre otros.

El uso de vehículos motorizados implica varias formas de contaminación atmosférica y sonora. Se identifican los siguientes tipos de contaminación del aire relacionadas con el transporte:

- a. Contaminación sensible: percibida por las personas a través del olor y de la visión. Está relacionada con fuentes cercanas a la persona y asociada a sensaciones desagradables.
- b. Contaminación que afecta la salud humana: relacionada con la presencia de contaminantes como el CO, los óxidos de nitrógeno, los hidrocarburos y el material particulado.
- c. Smog fotoquímico: relacionado con la producción de contaminantes secundarios a partir de la presencia en la atmósfera de contaminantes primarios emitidos por vehículos. Los principales contaminantes secundarios son el ozono y el peróxidoacetilnitrato. Lluvias ácidas: cuya principal consecuencia es el perjuicio causado a las áreas forestales. Dicho impacto tiene escala regional (algunos Análisis de la movilidad urbana centenas de km) y puede ocurrir uno o más días después de la emisión de los contaminantes.
- d. Efecto de la capa de ozono en los polos del planeta.
- e. Efecto invernadero, causado sobre todo por la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera.

El impacto general es obtenido cuando son calculadas todas las emisiones directas (operación) e indirectas (producción, stock, transporte hacia los distribuidores finales).

En la tabla 31, se pueden apreciar los niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes para vehículos férreos a Diesel, según los estándares internacionales.

Tabla No.310. Niveles Máximos permisibles de emisión de contaminantes en vehículos férreos

Parámetros	Nivel Máx g/Kw-hora
Monóxido de Carbono (CO)	4.0
Hidrocarburos totales (HC)	1.1
Material particulado (MP)	0.15
Óxidos de Nitrógeno (NOx)	70

Fuente: Elaboración propia. Año 2015

#### 4.4.5. Efecto Barrera

Efecto barrera, es el impacto que producen determinados proyectos, en especial carreteras, ferrocarriles y otras infraestructuras lineales, que se caracteriza por imponer una dificultad en la circulación de los seres vivos del entorno.

La problemática generada por la línea férrea (“efecto barrera”), el hecho de estar junto a ella conlleva algunas servidumbres o disminución de la vida urbana y rural; es lo que se puede llamar “efecto frontera”.

- ✓ Entre los problemas ferroviarios, la inseguridad en la circulación (por los cerramientos deficientes, por los pasos a nivel y por las imprudencias de los ciudadanos), la falta de capacidad de las líneas férreas (insuficiencia de la penetración ferroviaria a la estación) y la dificultad de la explotación mixta de los tráficos de viajeros y mercancías en la misma estación.
- ✓ Entre los problemas urbanos, el efecto frontera creado en la ciudad por los espacios ferroviarios, el efecto barrera materializado por la escasez de cruces así como por la existencia de pasos a nivel y pasos a desnivel y la degradación de la calidad ambiental debida a los cierres inadecuados y sin ningún tipo de mantenimiento, la suciedad, la acumulación de materiales, los humos, los ruidos y las vibraciones.
- ✓ Las barreras físicas que suelen suponer las vías ferroviarias, son una referencia muy clara en los procesos inmobiliarios y en general para la segregación socio-espacial consentida o apoyada por el planeamiento y la gestión urbanísticos, por esta razón las barreras físicas se han ido convirtiendo en barreras sociales.
- ✓ Suprimir las instalaciones caducas, evitar el deterioro ambiental, limpiar y cuidar los bordes internos, etc. (mejora de la imagen del pasillo ferrocarrilero).
- ✓ Establecer los precisos cruces transversales: suprimir los pasos a nivel, crear nuevos pasos a desnivel, ampliando y cualificando los existentes (mejora de la permeabilidad transversal al ferrocarril).
- ✓ Formar espacios públicos y viarios de borde o longitudinales y estrechar el espacio ferroviario: liberar suelo en desuso y restringir el uso extensivo de los espacios para las vías y andenes imprescindibles (atenuación del efecto barrera).

El Efecto barrera se reduce de cierta forma, mediante el paso a través de drenajes y otras estructuras transversales, como viaductos, pasos inferiores o superiores, pero sólo cuando están diseñados adecuadamente para los requerimientos de la fauna.

#### **4.4.6. Aspectos visuales y de paisaje**

El paisaje debe constituir la clave de la ordenación del territorio y no las infraestructuras lineales, lo cual supone que el paisaje, particularmente desde un planteamiento funcional, constituya el tronco fundamental de la Programación Estructural. Es decir, aquella que dispone las actuaciones que van a ejecutarse con cofinanciación comunitaria. Ello implica la aplicación de la evaluación ambiental de planes y programas, siendo la ocupación lineal de terrenos lo que implica la construcción de una infraestructura lineal de transporte que significa la transformación del espacio afectado en una banda generalmente estrecha pero de una gran longitud.

La necesidad de conectar dos puntos alejados obliga a afectar a todos los espacios intermedios, poniéndose en riesgo los valores ambientales de estos espacios y por lo tanto, sus contenidos paisajísticos.

En la situación actual, la figura de corredor ecológico se diseña en la modalidad más fácil de aceptar, como vía pecuaria, lindero y ríos y riberas. Sin embargo, el corredor, como franja de territorio amplia, bien conservada, es la garantía de la persistencia de los

paisajes funcionales, ya que la confluencia de las diversas actuaciones que potencia el modelo de desarrollo económico imperante sobre el territorio, no deja de reducir y eliminar las manchas de ecosistemas que contienen la esencia biológica.

Las infraestructuras lineales de transporte transforman manchas o muchas partes de ellas en el paisaje e interceptan los corredores naturales. Éstos son sus efectos negativos más importantes sobre el medio natural, que se resumen en lo que denominamos la fragmentación de los hábitats (fragmentación del paisaje). Estas infraestructuras contribuyen a la fragmentación, en principio, con un peso específico menor que otras actuaciones sobre el territorio.

La pérdida de hábitats ocurre ya sea por la eliminación completa de manchas de paisaje o por el recorte de las mismas. La reducción del tamaño de los fragmentos supone una pérdida de especies de forma directa o por alteración de las tasas de predación, de germinación de semillas o de otros procesos ecológicos inherentes al funcionamiento de dicha mancha, ecosistema o hábitat.

#### **4.4.7. Energía**

El ferrocarril es en ciertas condiciones, el modo de transporte que menos energía consume, debido fundamentalmente a la gran capacidad de los vehículos y a que existe una relación inversa entre el tamaño del vehículo y el consumo específico por unidad transportada: vehículos más grandes permiten menores consumos por viajero o por tonelada transportada.

El ferrocarril debe ser atractivo en términos de velocidad media, confort y frecuencia para que sea capaz de atraer viajeros de otros modos de transporte menos eficientes energéticamente: como el avión y el automóvil particular. De nada sirve un tren muy eficiente energéticamente pero que, por ser poco atractivo por la lentitud, falta de frecuencia e incomodidad (y además costoso), transporte pocos viajeros y que estos sigan utilizando los otros modos de transporte.

Luego se debe tener en cuenta el diseño de los trazados para que el tren consuma menos energía y que sea atractivo en términos de velocidad, frecuencia, capacidad y costos operativos y de esta manera captar otros usuarios que utilizan modos de transporte que son menos eficientes energéticamente.

##### **4.4.7.1. Eficiencia energética.**

Los nuevos proyectos de Metro en el mundo están apostando por un transporte con hasta un 30% de ahorro de energía. Modernos sistemas de tracción y la tecnología de control de frenos aseguran que no se desperdicie la energía. Existen tres fases durante la conducción de un tren: aceleración, avance por inercia y frenado.

En la fase de aceleración el equipo de tracción, como los motores y el convertidor de potencia, trabajan con alta eficiencia y ahorro energético. Durante el avance por inercia no se utiliza energía. La energía de frenado es recuperada y utilizada para alimentar el equipamiento auxiliar del tren, como por ejemplo el aire acondicionado o la ventilación y la iluminación. La energía sobrante se alimenta a la red, para ser utilizada por otros trenes.

Por otro lado, los costos de vida útil de cada elemento de los trenes son optimizados gracias al bajo consumo energético y bajo mantenimiento. Además, con una tasa de reciclado de cerca de un 95%, con una estructura de aluminio ligero, los metros de hoy son amigables con el medio ambiente. Las reducciones de peso permiten minimizar el desgaste de las vías, por lo cual es más económico. El foco está en la optimización para reducir el costo total del proyecto a lo largo de su vida, y no solo la inversión inicial.

Cada elemento del sistema de transporte tiene asociados factores que pueden desencadenar impactos positivos o negativos sobre los componentes físico-bióticos pero para el caso del modo férreo, las contingencias se relacionan primordialmente con los accidentes ocasionados por actos mal intencionados realizados por terceros, como daños y hurto en equipos e infraestructura, descarrilamiento y derrame abrupto de la carga.

## Capítulo 5

### Recomendaciones

Dentro de las recomendaciones para lograr una capacidad ferroviaria eficiente, competitiva y económica, se tienen las siguientes:

La incorporación del Sistema Férreo al Sistema de Transporte Nacional es fundamental para el desarrollo económico del país, pues estos corredores permitirían la conexión de las zonas de producción con los centros de consumo y los centros estratégicos de exportación e importación, donde se movilizan altos volúmenes de carga y mejoran sustancialmente la competitividad, principalmente para las exportaciones. El sistema férreo tiene grandes ventajas con relación a otros medios de transporte, como la seguridad, menor impacto ambiental por la disminución de emisiones, alta capacidad de carga, excelente control logístico que se evidencia en países más avanzados y menores costos de operación.

En el transporte por carretera, la movilización de grandes volúmenes de productos como el carbón no es técnica ni económicamente sostenible y tiene efectos negativos sobre la infraestructura vial y el medio ambiente. Por esta razón, es necesaria la modernización del sistema férreo, donde se prioricen las líneas que sean más rentables y estén asociadas a los volúmenes de carga. Esta modernización debe contemplar como propósito principal la reducción de costos de operación, de forma que se disminuyan los fletes y se aumente la competitividad de los productos en el mercado nacional e internacional.

Se recomienda tener en cuenta algunas consideraciones para el buen funcionamiento de la red férrea, con la premisa de que para tener un eficiente sistema férreo es necesario que se fije como meta en los futuros proyectos y en las reconstrucciones del sistema, se cumplan con los parámetros mínimos como:

- ✓ Pendientes máximas de 2,4% compensada
- ✓ Radio de curva 200 m (como mínimo)
- ✓ Tomar acciones con respecto a la infraestructura en cuanto al cambio climático
- ✓ Velocidades de: 60 kilómetros en terreno montañoso, 80 kilómetros en terreno ondulado y de hasta 120 kilómetros en terreno plano.
- ✓ Carga por eje, 20 toneladas (como mínimo)

También es necesario que aparte de las condiciones anteriores, se estudie la factibilidad de utilizar la trocha estándar (1.435 m), considerando en el análisis beneficio-costos todos los aspectos que involucran la parte constructiva, operacional, de equipamiento y mantenimiento.

**Trocha Angosta:** Las inversiones que deben realizarse en el Proyecto, para la modernización de la vía, es tomar la relación costo-beneficio, teniendo en cuenta que se requieren rectificaciones de trazado. En el Trayecto Suesca-Tunja (del K074 al K184) son 110 Km que en razón a la problemática geotécnica existente, obliga a soluciones bastante costosas y rectificaciones tanto en el trazado en planta como en el trazado en perfil, recordando que este último tiene repercusiones en la capacidad tractiva que se debe

utilizar para lograr una operación eficiente y económica. En planta se debería proyectar un radio de curvatura  $\geq 300\text{m}$  y no  $\leq 500\text{ m}$ , siendo el ideal  $500\text{ m}$ . En el perfil los gradientes o pendientes no deben superar el  $1.5\%$ .

**Trocha Estándar:** La modernización de la Red de los Ferrocarriles Nacionales, debe orientarse con trazados que no solamente satisfagan el trazado en planta y perfil con las especificaciones técnicas de la Trocha Angosta, sino también que brinden un horizonte en cuanto a la vida útil del Proyecto a largo plazo, haciendo mención que éstos internacionalmente se esbozan o diseñan para 100 años, recordando que cualquier modificación en el trazado en el perfil a más de involucrar grandes movimientos de tierra, desemboca en inversiones costosas.

Al respecto, debe tenerse en cuenta la interconexión que debe proyectar esta línea al Ferrocarril del Carare, el cual sin lugar a dudas, desde el punto de vista futurista (relación costo-beneficio) y vida útil de los proyectos, se recomendaría utilizar la trocha estándar.

**Trocha Polivalente:** Es un sistema de ancho mixto que permite al transporte ferroviario de mercancías y genera importantes beneficios para el transporte de viajeros, lo que implica una importante mejora de la infraestructura existente y es utilizado en varios países del mundo como España, Francia, Rusia entre otros.

Una vía de ancho mixto, estándar e ibérico, exige que se realice la instalación de un tercer hilo entre los dos carriles de una vía de ancho ibérico, lo que permite las circulaciones en ancho estándar, siendo uno de los dos carriles de ancho ibérico común para los dos anchos, el tercer carril se instala junto al otro de ancho ibérico. La elección de uno u otro para ser el carril común depende de las necesidades de explotación de los trenes de ancho estándar.

Después de colocar el carril nuevo, es necesario instalar la catenaria polivalente y mayor potencia de electrificación, modificar los enclavamientos existentes, la actualización de los circuitos de vía, los sistemas de señalización, modificar los desvíos e implantar nuevas normas para la operación.

El sistema de ancho mixto permite trenes de los dos anchos, lo que lo hace compatible en tráficos densos, facilitando la interoperabilidad entre redes, rompiendo el aislamiento ferroviario ibérico desde la infraestructura y sin tener que realizar ningún cambio de ejes en el material rodante.

En cuanto a la inversión para adaptar la infraestructura existente al ancho mixto, es mucho menos costosa, más o menos el  $90\%$  que la de un tramo nuevo en ancho estándar.

En una vía nueva, que necesita una traza nueva e implica un impacto ambiental, la adaptación a ancho mixto tiene también la ventaja de utilizar la traza existente que sólo exige la instalación de traviesas polivalentes, cable de fibra óptica y la adecuación de la catenaria, adaptar la señalización existente y la instalación de sistemas de comunicación nuevos. Mientras que la capacidad de la línea de ancho mixto es inferior por las diferentes

velocidades de los trenes que van a compartir la infraestructura y la limitación de la velocidad es la que impone el trazado preexistente, que por lo general es de 160 km/h.

Las recomendaciones en cuanto a la modernización del material rodante. El uso de locomotoras modernas tiene las siguientes ventajas:

- ✓ Menores costos de operación debido a su mayor capacidad de arrastre y a su menor consumo de combustible por tonelada remolcada. Estos menores costos podrían ser percibidos por los operadores privados en una evaluación a más largo plazo y se traducen también en beneficios sociales por el menor consumo de recursos.
- ✓ Menores costos de mantenimiento debido a la introducción de sistemas de monitoreo permanente de sus componentes y nuevas técnicas de mantenimiento correctivo.
- ✓ Menores emisiones, producto de los avances tecnológicos de los motores Diesel y menor consumo de combustible. Esto se traduce en beneficios sociales por contaminación atmosférica y calentamiento global.

En cuanto al manejo y control de los eventos climáticos e hidrológicos, como los sucedidos en la ola invernal del 2010-2012, se recomienda continuar con el mejoramiento y refuerzo de los sistemas de drenaje, tratamiento de taludes, muros de contención, obras de drenaje los puentes y pontones, para reparación, restitución o mantenimiento, y priorización y de las áreas que presentan inundaciones en épocas de invierno o las que están encerradas o protegidas por diques y jarillones. Se recomienda realizar el inventario de diques existentes, para conocer sus características técnicas como: altura, niveles, relación del nivel actual con los máximos probables, anchos de corona, taludes, materiales de construcción, revestimientos y la existencia de filtros y así mismo continuar con el mantenimiento preventivo y correctivo de los ya existentes, para evitar el desmejoramiento de la red ya reconstruida.

Así mismo, se recomienda que los diques y jarillones que presentaron fallas durante las emergencias invernales que están ubicados dentro del cauce mayor de los ríos se deban restablecer los lechos mayores de los ríos y evitar futuros desastres y colapso en la operatividad de la red.

Para la seguridad de la red, se deben realizar mantenimientos periódicos mejoras en los sistemas de comunicación con nuevas tecnologías y la modernización de un sistema semaforizado de señalización y automatización de cambiavías pues se podrían reducir las frecuencias de paso fácilmente a 30 minutos, pudiendo incrementar incluso el número de trenes y operaciones a realizar tanto en la infraestructura como en la superestructura, material rodante e instalaciones, tanto si se decide mantener la trocha yárdica y modernizarla, para así mejorar la operatividad de la red o si se decide llevar a cabo el cambio de trocha a estándar.

En la parte Ambiental y Social, se recomienda ceñirse al Plan de Manejo Ambiental y a la normatividad ambiental vigente para evitar el desmejoramiento de la Red, pues como se muestra en el Registro Fotográfico anexo al presente trabajo, en donde se evidencia la falta de mantenimiento en la mayoría de las vías ferroviarias que atraviesan la red, , no realizan el deshierve, ni realizan la limpieza de basuras para evitar la contaminación de las traviesas y los rieles, que nuevamente se vayan deteriorando dichos elementos y el mal aspecto y el impacto ambiental negativo que presenta en la visualización del paisaje.

Finalmente, como un aspecto fundamental para la mejora de la calidad del sistema ferroviario en la Red Bogotá-Belencito, se deben revisar y unificar los criterios utilizados para el diseño y explotación de las infraestructuras ferroviarias en la actualidad, con el fin de establecer una normatividad técnica de diseño de infraestructuras como en el trazado, drenaje, señalización, cálculo de capas de asiento, medio ambiente y su explotación, que sean implementados para cualquier actuación sobre la infraestructura, ya sea a la existente o para futuras construcciones, lo que garantizaría la homogeneización de criterios y el establecimiento de valores máximos y mínimos de los parámetros de diseño, para asegurar los niveles mínimos de calidad de infraestructuras y en mejorar la seguridad de la Red ferroviaria y no dejarla deteriorar como ocurrió durante todos los años que estuvo en funcionamiento.

En el caso del tramo Bogotá-Belencito, están interesadas la Sociedad Ferroviaria del Centro Andino (SOFCA), que presento una iniciativa público-privada (que se encuentra en fase de factibilidad), Holdtrade y la Alcaldía de Tunja, pues la alcaldía quiere aumentar el transporte de estudiantes entre Tunja y los municipios de Duitama y Sogamoso, que por ahora beneficia más a los estudiantes de la Universidad Militar.

## Capítulo 6

### Bibliografía

ADMINISTRADOR DE INFRAESTRUCTURAS FERROVIARIAS ADIF (2014). “Declaración sobre la Red 2014 Actualización”. Cap.3. España, Ministerio de Fomento, 62p.

AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA (ANI). Estudio de Conveniencia y Oportunidad. Red Ferroviaria Central, Bogotá, D.C., ANI, Octubre 08 de 2012, 16p.

AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA, ANI. (2013). Agencia Nacional de Infraestructura y el Consorcio Dracol Líneas Férreas. Contrato 356 de 08 de Octubre de 2013.

AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA. ANI (2012). Ficha Técnica. Bogotá, D.C., ANI.

AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA. ANI (2015). “Informe General Regeometrización de la Red Férrea Bogotá-Belencito”. Bogotá, D.C., Marzo 26. 92p.

AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA-ANI. (2010). Informe Superestructuras. Especificaciones Técnicas”. Bogotá, D.C., ANI, 78p.

ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE FERROCARRILES. (2011). “*Situación actual y futura de los ferrocarriles colombianos.*” En: Revista ALALAF No.87. ISSN: 0325-5514, 36p.

ASOCIACION LATINOAMERICANA DE FERROCARRILES. La Tecnología al servicio del Ahorro y del Medioambiente. Un aditivo de nanotecnología medioambiental. En: Revista ALAF.Vol.No.85 2010. 48p.

BETANCUR MONSALVE, Juan Sebastián, VALENCIA, María Fernanda. El Desarrollo del Transporte Ferroviario y su influencia en Colombia. Pereira, Universidad Católica de Risaralda, 2009, 128p.

CÁMARA COLOMBIANA DE LA INFRAESTRUCTURA CCI (2013). “Seguimiento a Proyectos de Infraestructura. Informe Dirección Técnica. Sistema Férreo Nacional”. Bogotá, D.C., CCI, 37p.

CONSORCIO EPYPSA-ARDANUY (2013). “Estudio para la elaboración del Marco normativo Férreo colombiano enfocado en factores técnicos de diseño, construcción, mantenimiento, operación, control y aspectos de seguridad”. Informe Ejecutivo. Bogotá, D.C., Ministerio de Transporte. 66p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN (DNP)-GOBERNACIÓN DE BOYACÁ. Boyacá Visión 2019: Territorio de libertad y prosperidad bicentenario. Tunja, Imprenta Nacional de Colombia, 98p.

FEDESARROLLO (2013). Cuadernos de Fedesarrollo. Indicadores del sector transporte en Colombia. Informe consolidado. Bogotá, D.C. Fedesarrollo.

FISCHER, Paul. (2009). "El comienzo de la construcción de los ferrocarriles colombianos y los límites de la inversión extranjera.". Monografías de Administración (Serie Historia del Desarrollo Empresarial). N° 60. Bogotá: Universidad de los Andes.

FORO DE TRANSPORTE SOSTENIBLE FTS DE AMÉRICA LATINA (2011). Transporte Sostenible para América Latina. Situación actual y perspectivas. Bogotá, Junio 24 de

INSTITUTO CARTOGRÁFICO DE CATALUÑA ICC (2011). "Caracterización Vía Férrea. Base Cartográfica", cap.3.

MÁRQUEZ DÍAZ, Luis Gabriel, VEGA BÁEZ, Luis Alfredo y POVEDA D'OTERO, Juan Carlos (2011). "Evaluación de la capacidad ferroviaria del corredor. Bogotá – Belencito". En: Revista de Ingeniería No.35. Bogotá D.C., Universidad de los Andes. ISSN. 0121-4993. Julio - diciembre de 2011.

MÁRQUEZ ESTRADA, José Wilson. Modernización sobre Rieles. El Ferrocarril de Barranquilla y el Tranvía Eléctrico de Medellín. Dos Obras de Gran Impacto en el Proceso de Construcción de Ciudad: 1870-1955. En: Memorias. Revista digital de Historia y Arqueología desde el Caribe Colombiano. Año 8, N°15. Barranquilla, noviembre 2011. ISSN 1794-8886, 169p.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE (2014). Decreto 2041 del 15 de Octubre de. 51p.

MINISTERIO DE FOMENTO ESPAÑA-PROINTEC (2010). Estudio Informativo del Proyecto de Integración del Ferrocarril en la ciudad de Vitoria-Gasteiz. Anexo 11. Plataforma e Infraestructura. Madrid, España. Dirección general de Infraestructuras Ferroviarias. 56p.

MINISTERIO DE TRANSPORTE. (2012). Diagnóstico del transporte. De la Oficina asesora de planeación, con el Grupo de planificación sectorial. Bogotá.

MINISTERIO DE TRANSPORTE. (2013). Manual Normatividad Férrea. Bogotá, D.C. Ministerio de Transporte.

MINISTERIO DE TRANSPORTE. AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA. Licitación Pública No. VJ-VE-LP-002 de 2012. Bogotá, D.C., Ministerio de Transporte, Noviembre 12 de 2012, 61p.

MINISTERIO DE TRANSPORTE. Oficina Asesora de Planeación. Grupo de Planeación sectorial. Diagnóstico del Transporte. Cifras correspondientes al año 2010 y anteriores. Bogotá, D.C., Ministerio de Transporte, 2011. 112p.

MINISTERIO DE TRANSPORTE AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA. ANI. (2015). Transporte en cifras 2015. Anuario Estadístico 2015. Bogotá, Oficina Asesora de Planeación, 100p.

NCA NUEVO CENTRAL ARGENTINO S.A. (2014, Octubre). Manual Integral de vías Férreas. Buenos Aires. 343p.

OLIVEROS RIVES, F., LÓPEZ PITA; Andrés. Y MEGIA PUENTE; Manuel. Tratado de Ferrocarriles I VÍA. Madrid Editorial Rueda. 692p.

RAMÍREZ, María Teresa. “Efectos de eslabonamiento de la infraestructura de transporte sobre la economía colombiana: 1900-1950” en Economía Colombiana del Siglo XX, Bogotá, Fondo de Cultura Económica, 2007. 452p.

UNIÓN INTERNACIONAL DE FERROCARRILES. (2010). “Estudio Informativo del Proyecto de Integración del Ferrocarril.” Plataforma y Superestructura”. Anexo 11., p.11, España, UIC. <http://www.fomento.gob.es/ferrocarriles>. (Página consultada el 14 Julio de 2015).

VASCO CORREA, Carlos Andrés. (2011). Ferrocarriles Colombianos, artífices del Desarrollo económico, futuro de la integración nacional. En: Revista académica de economía.

YEPES, T., Ramírez, J. M., VILLAR, L., & AGUILAR, J. (2013). Infraestructura de transporte en Colombia.

**ANEXO A.**  
**REGISTRO FOTOGRÁFICO**  
**TRAMO: SUESCA-VILLAPINZÓN-TUNJA**