



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Evaluación técnica de los anchos de trocha angosta y estándar como parámetro para la actualización del diseño de líneas férreas para el transporte de mercancías en Colombia

María del Pilar Mora Barón

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería
Bogotá D.C., Colombia
2014

Evaluación técnica de los anchos de trocha angosta y estándar como parámetro para la actualización del diseño de líneas férreas para el transporte de mercancías en Colombia

María del Pilar Mora Barón

Trabajo final presentado como requisito parcial para optar al título de:
Maestría en Ingeniería Transporte

Director:
Ingeniero Civil, Abogado
Germán Suarez Bernal

Línea de Investigación:
Políticas y Planeación de la Movilidad y el Transporte - Diseño y gestión vial

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería
Bogotá D.C., Colombia
2014

Para empezar un gran proyecto hace falta valentía. Para terminar un gran proyecto, hace falta perseverancia.

Anónimo

Agradecimientos

A Elizabeth por ser la inspiración de este camino.

A mamá, Angélica y Rafael por su apoyo y confianza incondicional.

Al Ingeniero Germán por su orientación, consejos y dedicación con este trabajo.

Resumen

Este documento presenta la evolución del sistema férreo colombiano desde sus inicios hasta la actual renovación administrativa que el gobierno nacional ha emprendido para impulsar el uso de este modo, los nichos de mercado que más lo usan y los proyectos que se quiere estimular con el apoyo del sector privado; se exponen las bases que definieron para Colombia el empleo del ancho de trocha angosta para las líneas férreas construidas; se describen los puntos geográficos de mayor difícil acceso para los ferrocarriles, los aspectos técnicos y operativos que actualmente son afectados o no por el tipo de trocha utilizada, y se comparan con la trocha estándar la cual tiene mayor difusión en el mundo pero que por sus características es de más difícil acoplamiento en el país, para de este modo definir la conveniencia de mantener la trocha angosta con el fin de reducir inversiones en presupuestos que puedan llevar a tener un sistema subutilizado y brindar estrategias que permitan aprovechar la infraestructura existente que por su grado de deterioro debe ser intervenida con actividades de mantenimiento, rehabilitación y definición de conexiones para lograr un transporte férreo eficiente.

Palabras clave: Colombia, transporte de mercancía, red férrea, ancho de trocha, ferrocarril, material rodante, topografía.

Abstract

This document presents the evolution of the Colombian railway system from its beginning to its current administrative renovation started by the national government to encourage its usage. It also presents the market niches that use the railway system the most and the projects to be encouraged by private sector companies. The basis that defined the railway width for narrow paths is also presented as well as most difficult geographic areas to be reached by railways. This paper also provides the technical and operational aspects that are currently affected or not by the kind of path and they are compared with the standard path that is widely used in the world, but due to his characteristics, it is the most difficult to use in the country. In this way, the convenience of keeping a narrow path will be evaluated so investing budget in an underused infrastructure can be reduced and offer strategies to make the most of the existent infrastructure, which on the other hand, due to its decline must be maintained, renovated and whose intersections must be redesigned to achieve an efficient railway transport system.

Keywords: Colombia, goods transport, rail network, track width, railway rolling stock, topography.

Contenido

| | |
|--|----|
| Resumen | V |
| Lista de figuras | IX |
| Lista de tablas..... | X |
| Lista de gráficas..... | XI |
| Introducción..... | 1 |
| 1. Contexto histórico en Colombia | 4 |
| 1.1. El pensamiento de Francisco Javier Cisneros..... | 4 |
| 1.2. Inventario de la red férrea colombiana | 9 |
| 1.1.1. Red férrea concesionada del país | 9 |
| 1.1.2. Red férrea inactiva..... | 15 |
| 2. Necesidades del mercado que impulsa el empleo de los ferrocarriles..... | 17 |
| 2.1 Concesiones férreas | 18 |
| 2.2 Trazados férreos con vocación de carga | 24 |
| 2.3 Otros mercados | 31 |
| 2.4 Plataformas logísticas | 32 |
| 3. Puntos geográficos que regulan la selección de la trocha y el material rodante..... | 35 |
| 3.1 Línea Férrea del Pacífico - La Cumbre..... | 35 |
| 3.2 Sistema Ferroviario Central. Facatativá – Bagazal | 36 |
| 3.3 Ferrocarril de Girardot – Alto de Las Cruces | 37 |
| 3.4 Líneas férreas Pacífico y Atlántico – conexión La Dorada. | 37 |
| 3.5 Ferrocarril de Antioquia | 38 |
| 3.6 Ferrocarril del Carare..... | 39 |
| 3.7 Variantes | 41 |

| | | |
|-----|--|----|
| 4. | Parámetros en los que inciden la aplicación del tipo de trocha | 43 |
| 4.1 | Diseño geométrico | 47 |
| 4.2 | Material rodante | 52 |
| 4.3 | Otras consideraciones | 61 |
| 4.4 | Casos colombianos | 67 |
| 4.5 | Generalidades del transporte férreo | 70 |
| 5. | Conclusiones y recomendaciones | 72 |
| 5.1 | Conclusiones..... | 72 |
| 5.2 | Recomendaciones | 73 |
| | Bibliografía | 75 |

Lista de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1-1. Obras férreas en las cuales Francisco Javier Cisneros participo entre 1875 y 1898 [3]. ...6 | 6 |
| Figura 1-2. Estado de la red férrea para 1960. [3].....8 | 8 |
| Figura 1-3. Red férrea del Atlántico [9]11 | 11 |
| Figura 1-4. Tramos entregados en licitación pública ANI año 2013. [11], [12]13 | 13 |
| Figura 1-5. Red férrea del Pacífico. [13]14 | 14 |
| Figura 1-6. Red férrea inactiva a cargo del INVIAS. [14]16 | 16 |
| Figura 2-1 Distribución de minas de carbón en el Departamento del Cesar y puertos empleados, por las empresas mineras que son socias de la concesión del Atlántico. [16].....19 | 19 |
| Figura 2-2. Ubicación concesión férrea del Atlántico. [17]20 | 20 |
| Figura 2-3 Iniciativas privadas aprobadas en Pre – factibilidad [25].....27 | 27 |
| Figura 2-4 Integración de los corredores férreos y la proyección de carga a transportar [25]29 | 29 |
| Figura 2-5 Sistema Roll On – Roll off [28]32 | 32 |
| Figura 2-6 Corredores logísticos y plataformas logísticas. [29]34 | 34 |
| Figura 3-1 Perfil de la vía férrea Buenaventura – La Felisa [30].....36 | 36 |
| Figura 3-2 Velocidades de operación mínimas tramo Bogotá – La Loma [5]37 | 37 |
| Figura 3-3. Esquema del trazado férreo de la línea Facatativá - El Yesal [30]38 | 38 |
| Figura 3-4 Perfil topográfico de las estaciones del ferrocarril de Antioquia [31]39 | 39 |
| Figura 3-5 Esquema del Trazado del FFCC del Carare por Odebrecht-Camargo Correa [33]40 | 40 |
| Figura 3-6 Ubicación en el contexto Nacional de los puntos geográficos que regulan la escogencia del material rodante [19]41 | 41 |
| Figura 4-1 Trocha [32]43 | 43 |
| Figura 4-2 Comparación de anchos de trocha [33].....45 | 45 |
| Figura 4-3 Posición ancho mínimo Sistema ANGAC. Fuente: [41]56 | 56 |
| Figura 4-4. Posición ancho máximo Sistema ANGAC. Fuente: [41]56 | 56 |
| Figura 4-5. Posiciones Sistema ECASYS. Fuente: [41]57 | 57 |
| Figura 4-6 Zonas de influencia-dependencia. [43]60 | 60 |
| Figura 4-7 Comparación de gálibos para dos tipos de trocha – Esquema [46]62 | 62 |

Lista de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1-1. Ferrocarriles construidos en Colombia durante el siglo XIX. [5] | 6 |
| Tabla 1-2. Tramos férreos entregados en licitación pública ANI año 2013. [11], [12] | 12 |
| Tabla 2-1. Compromiso take or pay de carga para la Concesión del Atlántico (Millones de Toneladas) [19] | 21 |
| Tabla 2-2. Proyectos férreos a mediano plazo [13] y [18] | 25 |
| Tabla 2-3. Proyectos férreos a largo plazo [13] y [18] | 29 |
| Tabla 4-1. Anchos de trocha más utilizados en el mundo | 43 |
| Tabla 4-2. Normatividad considerada para el proyecto de manual de normatividad férrea para Colombia [34]..... | 45 |
| Tabla 4-3. Ferrocarriles de América Latina con mayores cargas transportadas [37]..... | 50 |
| Tabla 4-4. Kilómetros para cada ancho de trocha en América Latina [38] | 52 |
| Tabla 4-5. Caracterización de la influencia del ancho de trocha sobre los parámetros de para el diseño de líneas férreas. | 54 |
| Tabla 4-6. Características del Sistema ANGAC [43] | 55 |
| Tabla 4-7. Matriz de priorización con las cuatro variables escogidas. | 58 |
| Tabla 4-8. Resumen características ferrocarril el Cerrejón y La Loma - Santa Marta, Colombia | 63 |
| Tabla 4-9. Cuadro resumen de macroprecios por Km [45]..... | 64 |
| Tabla 4-10. Costos totales de construcción [45]..... | 64 |
| Tabla 4-11. Inversión pública en el sector transporte - precios corrientes [15] | 65 |
| Tabla 4-12. Producción por departamento trimestral – año 2013 [46]..... | 68 |

Lista de gráficas

| | |
|---|----|
| Gráfica 2-1 Movimiento de carga Nacional de las concesiones férreas. [15] | 18 |
| Gráfica 2-2 Carga movilizada por la concesión férrea del Atlántico Chiriguaná – Santa Marta. [18] | 20 |
| Gráfica 2-3 Carga movilizada por el corredor férreo del Pacífico, incluye datos de las dos concesiones a cargo. [9] y [21] | 22 |
| Gráfica 2-4 Proyección de transporte de carga realizada por la concesión Ferrocarril del Oeste. [22] | 22 |
| Gráfica 2-5 Carga transportada y proyección concesión Ferrocarril de Oeste. [21] | 23 |
| Gráfica 2-6 Ubicación de yacimientos de minerales en Colombia [24] | 24 |
| Gráfica 2-7 Carga potencial para el ferrocarril del Carare [27] | 28 |
| Gráfica 4-1 Participación del modo férreo para el transporte de pasajeros [15] | 49 |
| Gráfica 4-2 Identificación de los parámetros determinantes para las líneas férreas en Colombia... | 59 |
| Gráfica 4-3 Ubicación líneas férreas Chiriguaná – Santa Marta y Cerrejón [44] | 62 |
| Gráfica 4-4 Presupuesto de apropiación anual para los dos modos de transporte de mercancías predominantes en Colombia. [15] | 66 |
| Gráfica 4-5 Accidentalidad en el transporte carretero y férreo [15] | 71 |

Introducción

El inicio de los ferrocarriles en Colombia se da en la segunda mitad del siglo XIX impulsado por la necesidad de buscar un modo de transporte que pudiera sustituir a las mulas y los carros tirados por animales los cuales generaban costos de transporte muy altos, así como también logrará unir las regiones apartadas y mercados fragmentados producto de las precarias condiciones que se presentaban en muchos caminos reales; sin embargo las difíciles condiciones topográficas del país dificultarían su construcción y para esa época ya daban una señal de requerir estudios especiales para su ejecución.

Como se presenta en el capítulo I, en este proceso estuvo involucrado el ingeniero cubano Francisco Javier Cisneros quien implemento el ancho de trocha angosta, una de las características técnicas que más repercusión tendría para las vías férreas del país pues luego se ligaría a factores de operación como la carga máxima admisible y el tráfico mixto por las vías férreas. Cisneros influencio esta decisión bajo las afirmaciones que era mucho más económico la construcción de ferrocarriles en trocha angosta así como también la facilidad de esta para adaptarse a terrenos montañosos y escarpados como los que se presentan en el país.

Los ferrocarriles construidos en Colombia tuvieron importantes inyecciones de capital como la recibida por la indemnización del canal de Panamá, recursos que fueron distribuidos pero no contaron con un soporte técnico para su inversión, el resultado de esto fue líneas férreas de carácter regional construidas con diferentes parámetros que no permitían ser interconectadas; la construcción de carreteras tomo mayor auge ya que representaba mayor flexibilidad para llegar a más lugares lo que genero un detrimento para los ferrocarriles.

El Gobierno Nacional entonces, intento retomar estas líneas férreas e integrarlas a través de dos entidades que se crearon para administrar y operar la red férrea colombiana; primero se formó Ferrocarriles Nacionales de Colombia entidad que no tuvo éxito y luego de liquidada se conformó Ferrovías que tampoco soluciono los graves problemas que presentaban los ferrocarriles colombianos y que solo consiguió entregar en concesión a privados las dos únicas líneas que mantuvieron su operación a lo largo del tiempo, Atlántico y Pacifico.

A partir de ese momento los 3328 Km de red férrea colombiana no solo se encontraron fraccionados en términos físicos sino también desde el punto de vista administrativo, pues fueron dos entidades quienes la asumieron finalmente; por un lado se encuentra el INCO hoy en día ANI quien se encarga de la red férrea concesionada, responsable del movimiento de carga por modo férreo que se registran en el país y el INVIAS quien mantiene la red férrea inactiva.

Actualmente el Gobierno Nacional a través del Ministerio de Transporte plantea nuevos proyectos en los cuales quiere involucrar al sector privado para poner en funcionamiento todos los tramos de vías existentes así como también lograr la construcción de nuevos proyectos para integrar el país y conseguir el objetivo de movilizar 90 millones de toneladas de mercancías para el año 2018 así como la integración de las plataformas logísticas propuestas en el documentos CONPES 3547 de 2008; esta demanda del servicio de transporte férreo se expone detalladamente en el capítulo II.

Adicionalmente, se estima que en la actualidad la cifra de transporte de carga por la red férrea nacional es de 45 millones de toneladas a cierre del año 2013 [1] y el 99 % de esta corresponde a carbón que se transporta por la concesión del Atlántico el restante son otros productos que se movilizan por la concesión del Pacífico; además de esta red férrea existe en Colombia la línea del Cerrejón considerada como privada y por la cual se transporta una cifra de 33 millones de toneladas millones de toneladas a cierre del año 2013 [1] también de carbón con la particularidad que lo hace sobre trocha estándar, siendo esta cifra muy similar al ferrocarril del Atlántico.

Para sacar adelante estos proyectos se ha planteado la necesidad de evaluar como parámetro técnico qué tipo de trocha es más apta para Colombia; frente a esto se ha centrado la discusión en dos preferencias: 1) mantener la trocha angosta o 2) reconstruir la red férrea en trocha estándar. El uso de la trocha angosta en el país se ha asociado a las suposiciones que no puede llegar logra las eficiencias en términos de carga que se consiguen empleando trocha estándar y dado que es menos difundida en el mundo dificulta la adquisición del material rodante; sin embargo, cuando se estudia con más detalle dichas suposiciones se encuentra que existen otra serie de factores que afectan la decisión de la escogencia del tipo de trocha.

En el Capítulo 3 se presentan las particularidades que se encuentran en la geografía del país y que desde siempre han representado un reto para garantizar el transporte fluido así como la conexión de las diferentes regiones del país. Del mismo modo en el Capítulo 4 se exponen cuáles son los parámetros técnicos que están influenciados y de qué modo por el ancho de trocha, como la carga máxima admisible, la interconexión de redes, el material rodante y los costos de inversión relacionados con migrar a trocha estándar o mantener la angosta, entre otros.

Así mismo se exponen el estudio de caso del ferrocarril del Carare y del Sistema Ferroviario Central en los cuales se demuestra la oportunidad que brinda la trocha angosta para salir del cuello de botella en materia de transporte de mercancías en el que se encuentra el país sin desconocer las limitaciones que presenta este tipo de trocha y en las que la trocha estándar ofrece mayores ventajas como la posibilidad del transporte mixto (mercancías y pasajeros).

Finalmente se exponen las diferencias que hacen del transporte de grandes cantidades de mercancías por modo férreo sea más eficiente en largas distancias frente al uso de vehículos de carga que se movilizan por carretera y el sesgo que el gobierno nacional ha mantenido a lo largo

de los años promoviendo la infraestructura de carreteras, las cuales presentan bajas especificaciones así como también ausencia de vías transversales que permitan conectar el oriente con el occidente del país.

Para el año 2013 se ha estimado que el costo de transporte desde la zona del antiplano cundiboyacense hasta los puertos del Pacífico y Atlántico en US \$55 Ton/Km mientras que en otras regiones del mundo una distancia similar tiene un costo de US \$11 Ton/Km.

Durante el desarrollo de este documento se encontró como común denominador la inexistencia de normas respecto al transporte férreo colombiano así como también muchos proyectos que han sido liderados por el Ministerio de Transporte y la ANI que han quedado inconclusos generando vacíos y falta de documentación sobre este sector, lo cual dificulta realizar la trazabilidad al desarrollo del sistema a lo largo de su historia y la definición de un horizonte claro de trabajo para sacar adelante los ferrocarriles colombianos.

1. Contexto histórico en Colombia

Los ferrocarriles colombianos se construyeron inicialmente por iniciativa independiente de cada uno de los Estados que conformaban la Nación de acuerdo con la distribución política que se presentaba en la época de La Nueva Granada (siglo XIX). Cada Estado construía y administraba su línea férrea, la cual era diseñada sin tener en cuenta las especificaciones técnicas de los demás Estados cercanos; el ferrocarril de Panamá primero en ser construido en el país, se llevó a cabo con trocha de 1435 mm, casi inmediatamente fue cambiada a un ancho mayor de 1524 mm, pero la política de construcción de ferrocarriles de la nación luego se establecería en trocha angosta.

1.1. El pensamiento de Francisco Javier Cisneros

La decisión sobre la elección del ancho de trocha¹ para los primeros ferrocarriles en Colombia estuvo ampliamente influenciada por la participación en la construcción de los primeros ferrocarriles por el ingeniero civil cubano Francisco Javier Cisneros que llegó al país en el año de 1874 a través del Gobierno de Antioquia, quien lo contrato para la construcción del ferrocarril de dicho departamento. [2]

Previo al inicio de actividades de Cisneros en Colombia, su formación profesional estuvo marcada profundamente por dos momentos de la ingeniería ferroviaria: a) la construcción de ferrocarriles en Cuba producto del auge de exportación de azúcar que condujo a la isla a ser el primer país latinoamericano en inaugurar el transporte férreo y b) el esfuerzo de emprendimiento de la ingeniería en los Estados Unidos para la construcción del ferrocarril Transcontinental del este al oeste de ese país.

Bajo estos hechos en los cuales Cisneros participó y siendo considerado como un hombre de personalidad dominante, organizadora e intransigente en lo técnico, coordinó la ejecución de los ferrocarriles que le fueron encargados en trocha angosta.

Este patrón que ya había tenido éxito en los ferrocarriles cubanos lo estableció buscando una solución férrea que respondiera a los terrenos montañosos y escarpados que se presentan en países como Colombia y Perú con limitaciones en los radios de curvatura y pendientes. Así mismo para Cisneros era claro que el tipo de trocha no era el parámetro técnico que regulaba la pérdida de tracción del material rodante sino que la pérdida es directamente proporcional a la pendiente y el peso de los trenes.

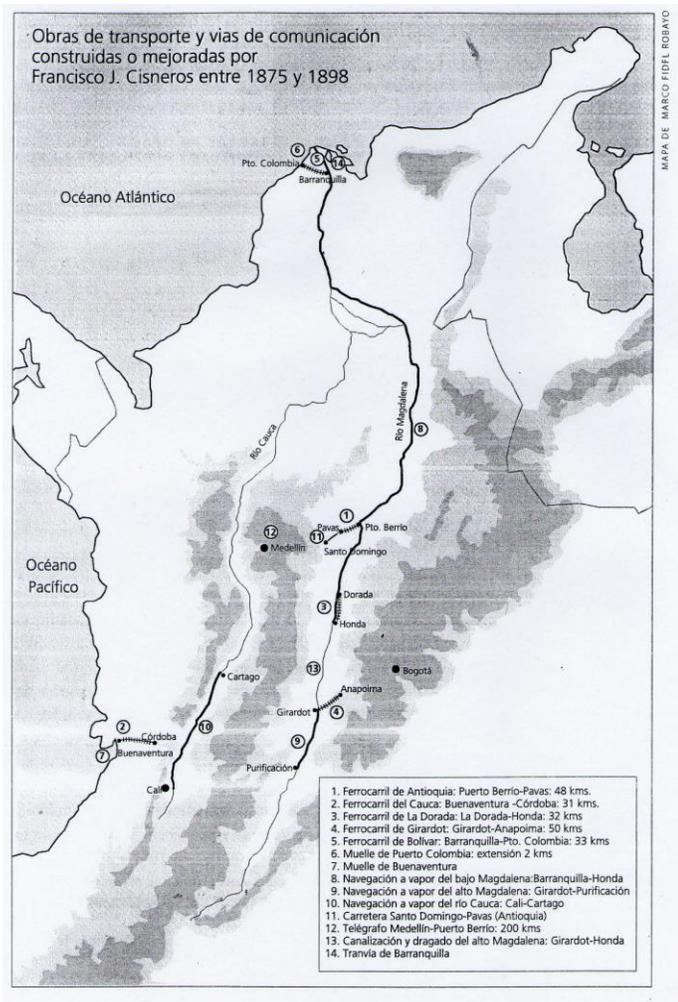
¹ Ver página 32.

Igualmente Cisneros sostenía que esta solución generaba un sistema más económico, disminuía el peso muerto en los trenes, reducía el deterioro del material rodante, aumentaba el potencial de las locomotoras y el ahorro del combustible, operarios y mantenimiento, también afectaba en gran medida la economía por la disminución del interés correspondiente al invertido durante la construcción y a la vez aumentaba las utilidades líquidas; de esta forma Cisneros varío sin problemas los patrones técnicos internacionales, respecto al ancho de vía, el tipo de locomotoras y la calidad de los materiales para adaptarlos a las condiciones locales. [3]

Su trabajo se pudo evidenciar principalmente, en el periodo comprendido entre 1870 y 1890, que fue de gran actividad en lo relacionado con la contratación e iniciación de vías férreas; durante este lapso se comenzó la construcción de los ferrocarriles de Bolívar, Cúcuta, Girardot, Antioquía y Pacífico, entre otros. [4]

En la Figura 1-1 se presenta las obras férreas en las cuales Francisco Cisneros participo y a partir de los cuales proyectaba comunicar a Colombia con el puerto de Buenaventura de la siguiente manera: el ferrocarril de la Dorada se uniría al de Antioquía y al ferrocarril de Girardot, este último también se uniría al del Cauca; de otro lado el ferrocarril de la Dorada iría a Neiva, Cundinamarca, Boyacá y Tolima, regiones que encontrarían más fácil, rápido y barato comunicarse con el exterior por el Puerto de Buenaventura, que por el Río Magdalena.

Figura 1-1. Obras férreas en las cuales Francisco Javier Cisneros participo entre 1875 y 1898 [3].



En la Tabla 1-1 se presenta el resumen de las líneas construidas durante el siglo XIX en Colombia, el tipo de trocha empleada y las zonas que comunican.

Tabla 1-1. Ferrocarriles construidos en Colombia durante el siglo XIX. [5]²

| Nombre del Ferrocarril | Longitud (Km) | Trocha (mm) | Descripción |
|--------------------------|---------------|-------------|--|
| Ferrocarril de Panamá | 77 | 1524 | La terminal de Atlántico se encuentra en Colón (antiguo Aspinwall) y la del Pacífico en la ciudad de Panamá. |
| Ferrocarril de Bolívar | 28 | 1667 | Unió a Barranquilla con Puerto Colombia. |
| Ferrocarril del Pacífico | | 914 | Cali – Popayán, Cali – Cartago y su prolongación hasta La Virginia, Zarzal - |

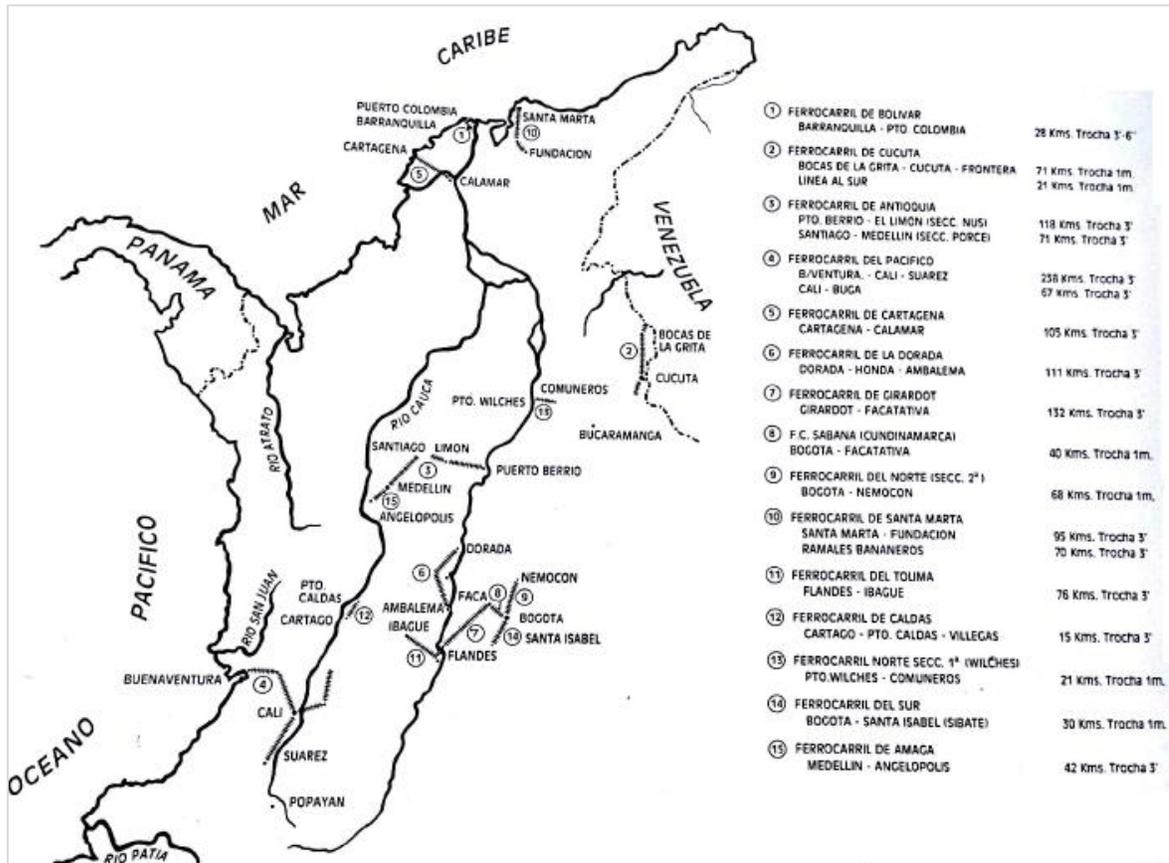
² Fuente elaboración propia a partir de [5].

| Nombre del Ferrocarril | Longitud (Km) | Trocha (mm) | Descripción |
|--|---------------|-------------|--|
| | | | Armenia, Palmira – Pradera y ramales Nacederos (Pereira) – Armenia, Santander de Quilichao – Timba (Cauca) y el ferrocarril de Caldas. |
| Ferrocarril de Antioquia | 194 | 914 | Puerto Berrio – Medellín. (Túnel de la Quiebra 3742m). |
| Ferrocarril de Cúcuta | 121 | 1000 | Ramales Cúcuta – Puerto Santander y Venezuela (62Km), Cúcuta – Río Tachira (16Km) y Cúcuta – puerto Wilches Ilego hasta Diamante (43Km). |
| Ferrocarril de La Dorada | 112 | 914 | La Dorada – Ambalema. |
| Ferrocarril de La Sabana | | 914 | Facatativá – Bogotá. |
| Ferrocarril de Girardot | 132 | 914 | Girardot – Facatativá. |
| Ferrocarril de Cundinamarca | | 914 | Facatativá con Puerto Salgar. Altas pendientes. |
| Ferrocarril de Puerto Wilches | 117 | 1000 | Puerto Wilches – Café Madrid donde se ubicaba la estación de Bucaramanga. |
| Ferrocarril de Santa Marta o ferrocarril del Magdalena | 205 | 914 | Santa Marta con Fundación 95Km. Contaba con 110 Km de ramales. |
| Ferrocarril de Cartagena | 105 | 914 | Cartagena y Calamar. |
| Ferrocarril del Norte | 53 | 1000 | Bogotá – Zipaquirá. |
| Ferrocarril del Sur | | 1000 | Bogotá – Fusagasugá y el ramal con el Salto del Tequendama. |
| Ferrocarril de Nordeste | 262 | 914 | Bogotá – Departamento de Boyacá hasta llegar a Belencito, Tunja, Sogamoso, Duitama y Paipa. |
| Ferrocarril del Tolima y Huila. | 236 | 914 | Dos ramales desde el puente de Girardot hasta Ibagué (76 Km) y Neiva (160 Km). |
| Ferrocarril de Ambalema – Ibagué | 66 | 914 | Une Ferrocarril de La Dorada y Tolima. |
| Ferrocarril de Amagá | 145 | 914 | Medellín - Río Cauca. |
| Ferrocarril de Caldas | 117 | 914 | Manizales – Río Cauca. |
| Ferrocarril Nacederos | 56 | 914 | Pereira – Armenia. |
| Ferrocarril de Nariño | 103 | 914 | Tumaco con El Diviso. |
| Ferrocarril Santander – Timba | 22 | 914 | Santander de Quilichao – Timba. |
| Ferrocarril del Atlántico | 671 | 914 | Es el más grande, Buenaventura – Santa Marta. |

Luego del auge en la construcción de ferrocarriles en Colombia marcada por la crisis producto de la guerra civil de 1875 y el sistema de concesiones que entrego el Gobierno para la construcción y administración de las líneas férreas, se evidencio que el sistema creado no estaba integrado, las líneas estaban aisladas físicamente (Figura 1-2) y el ancho de trocha era distinto entre ferrocarriles. La falta de uniformidad en el ancho contribuyó luego a la ineficiencia del transporte

férreo, dado que imposibilitaba el uso continuo de las vías con las mismas locomotoras y vagones de carga, lo que repercutía en dificultar el intercambio comercial eficiente entre las regiones del país, pues se aumentaron los costos de transbordo y por ende el aumento en los costos de transporte, así como también se dificultó el mantenimiento de la red férrea. [6]

Figura 1-2. Estado de la red férrea para 1960. [3]



Posteriormente a la instauración del sistema férreo, en el año de 1954 el Estado creó la entidad Ferrocarriles Nacionales de Colombia - FNC con el fin de reunir todo el sistema ferroviario construido en diferentes zonas del país para que una sola entidad logrará al mismo tiempo operar y mantener toda la red; este sistema tuvo múltiples problemas financieros, administrativos y técnicos y por ello en el año de 1991 se decidió liquidarla y crear una nueva entidad Empresa Colombiana de Vías Férreas - Ferrovías³ quien se pondría al frente de lo que quedaba de la antigua entidad para administrar, restaurar y actualizar el sistema férreo, no obstante esto tampoco funcionó y así fue entonces como surgió una nueva estrategia para la modernización de

³ Empresa Colombiana de Vías Férreas - Ferrovías: empresa industrial y comercial del Estado encargada de mantener, mejorar, rehabilitar, extender, modernizar, explotar, dirigir y administrar la red férrea Nacional. CONPES: Consejo Nacional de Política Económica y Social.

la red férrea que quedó establecida en el documento CONPES 2776 de 1995 [7] y consistió en entregar en concesión la rehabilitación, conservación y operación de la infraestructura férrea; se iniciaron entonces las estructuraciones técnicas, legales y financieras de dichas concesiones y se abrieron los procesos licitatorios que fueron adjudicados en 1998 con la red férrea del Pacífico y en 1999 con la red férrea del Atlántico, siendo estas las dos únicas líneas que sobrevivieron a los problemas relacionados con: a) el deteriorado estado de la infraestructura; b) un inadecuado esquema institucional, en el cual el Estado descuido la gestión de los recursos y la función principal de rehabilitar y mantener las vías; c) un insuficiente marco regulatorio, que generó conflictos institucionales y desestimuló una mayor participación del sector privado en el transporte férreo; y, d) la falta de consolidación de un mercado que asegurará una adecuada rentabilidad a las empresas operadoras. [8]

Sin embargo estas dos líneas también presentaban problemas relacionados con la estabilidad del terreno, deficiencias en las condiciones de la superestructura, inconsistencias en el trazado geométrico e invasión de la vía, lo cual no garantizaba una operación continua a mínimo costo y requerían la rehabilitación de la red.

1.2. Inventario de la red férrea colombiana

La red férrea colombiana actualmente cuenta con 3328 Km de vías férreas, las cuales se encuentran en diferentes estados de operación y mantenimiento como se presentan a continuación:

1.1.1. Red férrea concesionada del país

La finalidad de la participación del sector privado en proyectos de infraestructura férrea es introducir una mayor eficiencia en el sector, rehabilitando los corredores en un menor tiempo, y asegurando un mantenimiento permanente de la red en el largo plazo. Adicionalmente, la participación financiera del sector privado permite contar con mayores recursos para la financiación del plan de rehabilitación y mantenimiento. Bajo esta filosofía el Gobierno Nacional impulsó como estrategia del sector férreo la inclusión de concesiones para su recuperación.

Inicialmente con la creación de Ferrovías se permitió la creación de empresas de transporte ferroviario de carácter mixto o enteramente privado, para la explotación y comercialización del sistema; sin embargo dado que no se obtuvo resultados satisfactorios con esta estrategia se elaboró el documento CONPES 2776 de 1995, en el cual el Gobierno Nacional contempló propiciar la reactivación de los corredores ferroviarios iniciando un proceso de vinculación del sector privado en el desarrollo de la infraestructura de transporte, utilizando como instrumento el sistema de concesiones. Ferrovías entonces dividió la red férrea en dos sectores de acuerdo con su ubicación geográfica: Atlántico con 1500 Km y Pacífico con una longitud cercana a 500 Km y, siguiendo el esquema planteado en dicho CONPES, en 1998 estructuró y adjudicó la red férrea del Pacífico y posteriormente la red férrea del Atlántico.

En el año 2003 se liquidó la empresa Ferrovías y se dispuso la cesión de los contratos de concesión y los inherentes al mismo al Instituto Nacional de Concesiones - INCO⁴, quien se encargó en adelante de los negocios de infraestructura de transporte que se desarrollaban con capital privado y en especial las concesiones, en los modos carretero, fluvial, marítimo, férreo y portuario.

A la fecha la Agencia Nacional de Infraestructura ANI⁵ es la entidad que administra los corredores férreos concesionados y los que, de acuerdo con el documento CONPES 3636 de 2010⁶, están desafectados de las concesiones pero continúan con operación y mantenimiento por parte del concesionario hasta tanto se haga la entrega a un nuevo concesionario o se devuelvan al Instituto Nacional de Vías - INVIAS. A continuación el estado actual de las dos concesiones férreas colombianas:

- **Concesión del Atlántico**

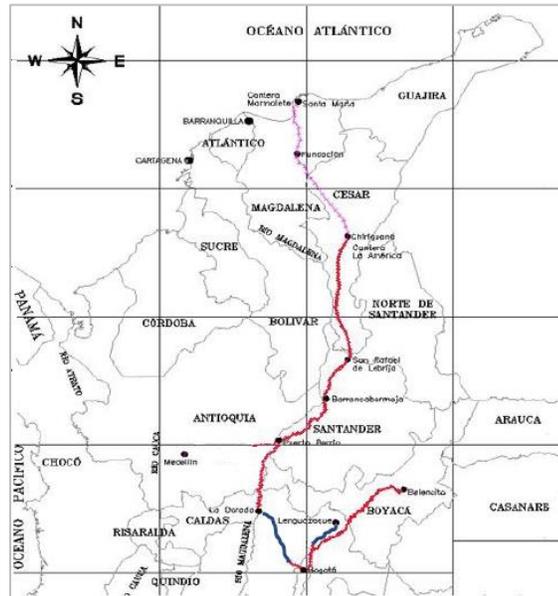
La red férrea del Atlántico inicialmente se conformó por la línea Bogotá – Santa Marta y los ramales Bogotá – Belencito y Bogotá – Lenguazaque, con una extensión de 1.493 Km, atravesando los departamentos del Cesar, Magdalena, Santander, Boyacá, Antioquia, Cundinamarca y Caldas (Figura 1-3). Esta red fue entregada por concesión en el año de 1999 a la empresa FENOCO por un plazo de 30 años, en ocho de los cuales se ejecutarían actividades de rehabilitación.

⁴ Instituto Nacional de Concesiones - INCO: se creó con el Decreto 1800 de 2003, con el objeto de planear, estructurar, contratar, ejecutar y administrar los negocios de infraestructura de transporte.

⁵ Agencia Nacional de Infraestructura – ANI: a partir del Decreto 4165 de 2011 se cambia la naturaleza jurídica y denominación del INCO de establecimiento público a Agencia Nacional Estatal de Naturaleza Especial, del sector descentralizado de la Rama Ejecutiva del Orden Nacional, con personería jurídica, patrimonio propio y autonomía administrativa, financiera y técnica, adscrita al Ministerio de Transporte. [44]

⁶ CONPES 3636 de 31 enero de 2010: concepto previo favorable para la adición y prórroga al contrato de concesión de la red férrea del Atlántico.

Figura 1-3. Red férrea del Atlántico [9]



Luego de cumplidos algunos de los primeros plazos de esta concesión y de acuerdo con el documento CONPES 3394 de 2005 [10] para mejorar las condiciones de acceso de los distritos carboníferos del oriente del país a la red férrea nacional y, teniendo en cuenta que algunos de estos tramos hacen parte del Sistema Ferroviario Central⁷, proyecto declarado de importancia estratégica para el país mediante el Documento CONPES 3512 de 2008, la ANI en el año 2006 reestructura el contrato de concesión a través de un Otrosí para que se llevarán a cabo las siguientes actividades:

1. Desafectación, a la culminación del periodo de transición, de los tramos Bogotá - Belencito, La Caro - Lenguazaque, Bogotá - Dorada, Dorada - Barrancabermeja, Barrancabermeja - Chiriguaná, Puerto Berrío - Medellín (Bello) y Medellín (Bello) – Envigado.
2. Construcción de una segunda línea entre Chiriguaná y Santa Marta, y
3. Ejecución del denominado Plan de Transición⁸

⁷ El Sistema Ferroviario Central se estima desarrollar como concesión, la cual tiene como objetivos: i) reactivar el servicio de transporte ferroviario de carga y pasajeros desde el centro del país hacia el puerto de Santa Marta y viceversa; y ii) extender la vía férrea concesionada, para permitir el acceso por este modo de transporte al departamento del Tolima. [45] Este proyecto incorpora en 1045 Km los tramos de La Dorada – Chiriguaná, Buenos Aires – Mariquita – La Dorada, Puerto Berrío – Cabañas, Variante La Dorada, La Dorada – Facatativá, Villavieja – Buenos Aires. [46]

⁸ El periodo de transición se desarrolló entre el 28 de marzo de 2006, fecha de suscripción del Otrosí 12, y el 31 de diciembre de 2006. Este período fue definido en el Otrosí 12 del Contrato de Concesión de la Red Férrea del Atlántico, y consistía en las siguientes actividades por tramos: rehabilitación atención de sitios críticos y actividades que permitieran la operación normal de trenes, además se construiría la variante de Puerto Nare en una longitud de 4.3 Km [45].

Al cumplirse el periodo de transición la concesión se limitaría al tramo de 245 Km entre Chiriguana y Santa Marta.

En aras de dar continuidad a la prestación del servicio público de carga y pasajeros la ANI acordó mediante un nuevo Otrosí mantener la administración, mantenimiento y operación de los tramos de la infraestructura desafectada. En el tramo Bogotá – Belencito el transporte de carga y en los tramos La Dorada – Chiriguana el control de tráfico para movilización de pasajeros; estos tramos fueron afectados con la ola invernal que se presentó durante los años 2010 y 2011, razón por la cual no se puede realizar en la actualidad operación de la línea férrea desde La Dorada hasta Santa Marta y solo hay operación de pasajeros entre Puerto Berrio y San Rafael de Lebrija.

A través de licitación pública desarrollada durante el año 2013 la ANI entrego los siguientes tramos para colocar en funcionamiento las líneas férreas afectadas por dicha ola invernal (**Tabla 1-2 y Figura 1-4**).

Tabla 1-2. Tramos férreos entregados en licitación pública ANI año 2013. [11], [12]

| Módulo 1 | |
|---|----------------------|
| Tramo | Longitud (Km) |
| Chiriguana (PK 722+683) – La Dorada (PK 201+502) | 521,2 |
| Puerto Berrio (PK 328+100) – Cabañas (PK 361+199) | 33,1 |
| Ramal Capulco | 4,0 |
| TOTAL | 558,3 |

| Módulo 2 | |
|---|----------------------|
| Tramo | Longitud (Km) |
| Facatativa (PK 35+871) – Bogotá (PK 5) – Belencito (PK 262) | 297,9 |
| La Caro (PK 32+628) - Zipaquirá (PK 53) | 20,4 |
| TOTAL | 318,3 |

Figura 1-4. Tramos entregados en licitación pública ANI año 2013. [11], [12]

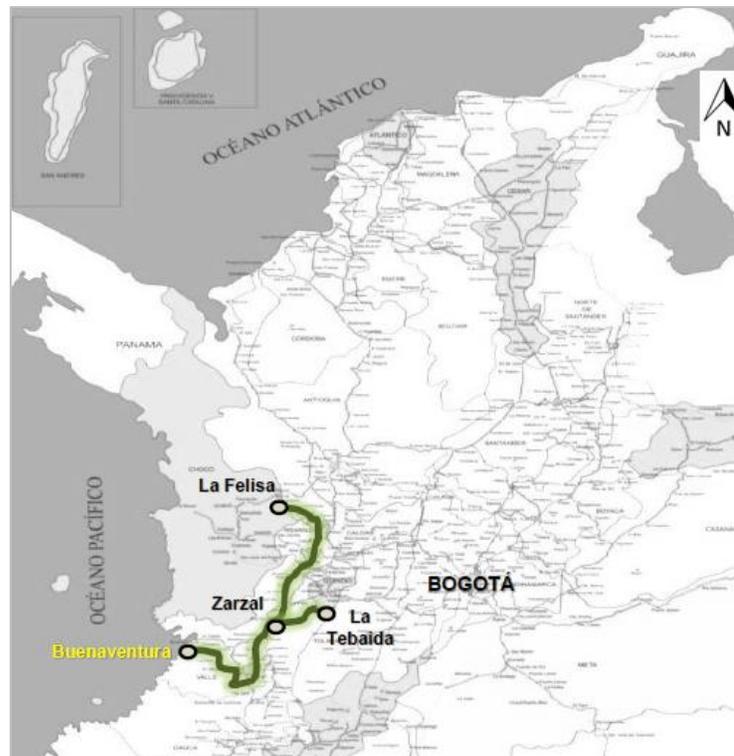


- **Concesión del Pacífico**

La Red Férrea del Pacífico, cubre 498 Km en el tramo Buenaventura – Cali – Zarzal – La Tebaida y pasa por los departamentos de Caldas, Quindío, Risaralda y Valle, como se muestra en la Figura 1-5.

En 1998 Ferrovías entregó en concesión esta red a la Sociedad Concesionaria de la Red Férrea del Pacífico S.A. Tren de Occidente S.A, y cuyo objeto del contrato consistía en rehabilitar, reconstruir, conservar y operar el corredor férreo durante un periodo de 30 años, el acta de inicio de este contrato se llevó en el año 2000 y fue explotada por esta concesión durante los siguientes 8 años sin obtener mayores resultados; dado que no tuvo el suficiente músculo financiero para mantenerla, así como tampoco logró movilizar la carga esperada por este corredor, el Gobierno Nacional en el año 2008 permitió la cesión del contrato a la empresa Ferrocarril del Oeste para la operación de 380 Km de red y mantuvo la vigencia del contrato hasta el año 2030 bajo los mismos parámetros, del mismo modo Tren de Occidente primer concesionario mantiene a cargo aun la construcción de 118 Km comprendidos entre Cartago y Caimalito.

Figura 1-5. Red férrea del Pacífico. [13]



Ferrocarril del Oeste inicio la operación en el año 2008 pero poco después acudió a los tribunales con el argumento que el Gobierno Nacional había incumplido algunos compromisos, adicionalmente en el 2010 debido a problemas financieros dicha empresa iba a entrar en liquidación y en 2011 decidió suspender todas las actividades. Bajo el acompañamiento de la ANI y tras varios meses de negociación el Estado permitió la inyección de nuevo capital de parte de un nuevo consorcio Colombo – Israeli⁹ con la condición que los primeros propietarios retiraran sus demandas contra la Nación y de este modo los nuevos socios recibieron una concesión que en aquel momento ya habían tenido que ceder acciones a 19 pequeños acreedores con los que entraron en mora, solo habían 17 obreros, maquinaria en mal estado en los talleres y demandas contra la empresa. Este consorcio se convierte luego en sociedad anónima (SAS).

A partir de esta nueva inyección de capital y luego de 20 meses de sometimiento a control por la Superintendencia de Puertos y Transporte, la línea férrea entre Buenaventura y Yumbo entro nuevamente en operación en Agosto de 2012 luego que se llevará a cabo su rehabilitación y a finales del año se extendió hasta Buga.

⁹ Este consorcio está conformado por la firma colombiana Mariverdo que tiene socios israelíes, y la empresa norteamericana Railroad Development Corporation (RDC), una de las empresas ferroviarias más grandes del mundo y que participa como asesor técnico; luego de un corto plazo la sociedad pasa a ser anónima y se llama Ferrocarril del Pacífico S.A.S.

Así mismo el Fondo de Adaptación suscribió un convenio interadministrativo con la ANI para la rehabilitación de todos los puntos críticos de esta vía.

1.1.2. Red férrea inactiva

El Instituto Nacional de Vías - INVIAS¹⁰ es el propietario de la infraestructura de la red férrea nacional, entre las que se encuentran los bienes inmuebles que conforman el corredor férreo, sus zonas anexas, contiguas o de seguridad. El carácter de público ha sido asignado a las vías férreas, con fundamento en que están afectadas al servicio público de transporte, independiente de si las mismas se encuentran activas o no.

En la actualidad, y conservando la propiedad de la infraestructura, el Instituto administra las vías férreas no concesionadas, la gestión del INVIAS en cuanto a estas se concentra en [14]:

- Evitar la invasión de los bienes.
- Contratar el mantenimiento rutinario y periódico de la infraestructura férrea no concesionada y de las estaciones ferroviarias, declaradas bienes de interés cultural de la nación¹¹.

Estas labores son indispensables para lograr que la visibilidad de la línea férrea no se pierda y evitar la contaminación de la estructura, la proliferación de plagas y maleza, así como también hacer presencia del Estado evitando de esta forma la invasión, que es generalizada; adicionalmente, las comunidades que se encuentran aledañas a los corredores férreos y las autoridades locales realizan constantes solicitudes a la Subdirección de la Red Terciaria y Férrea del INVIAS tendientes a la realización del mantenimiento rutinario de los corredores, puesto que la no ejecución de este mantenimiento afecta la seguridad, la proliferación de animales, plagas y la invasión.

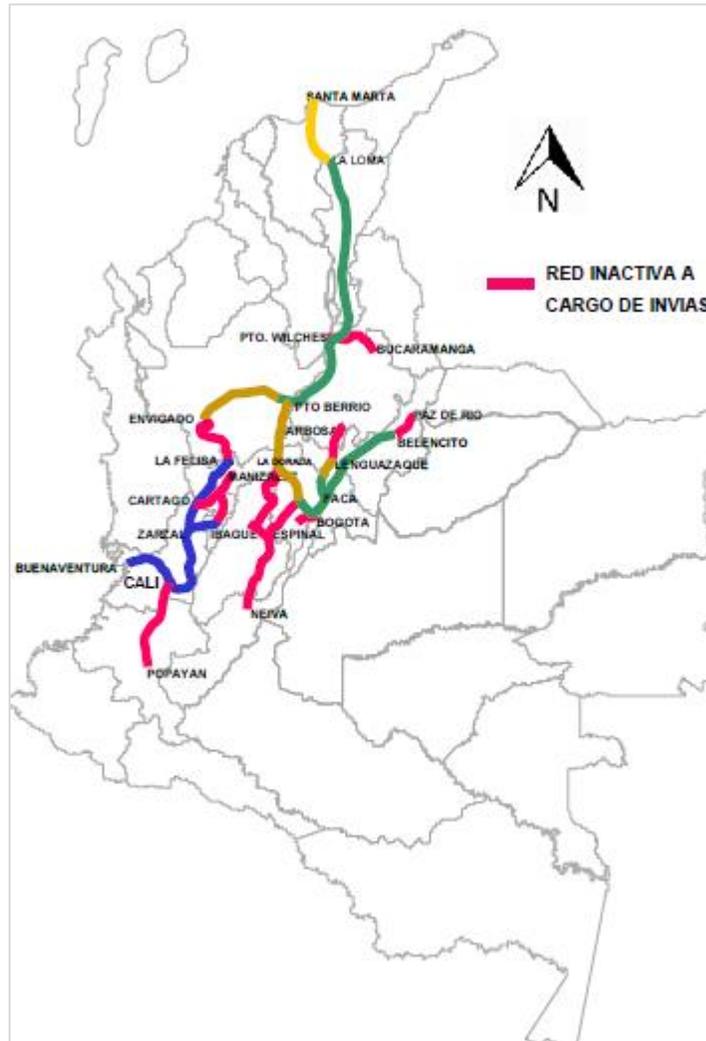
Del mismo modo, el Instituto también tiene a cargo la operación de 13 pasos a nivel que incluye el mantenimiento de los equipos de operación ferroviaria con el fin de garantizar la operación segura y proteger al estado de eventuales daños a terceros. En la actualidad, los equipos de los pasos a nivel son operados manualmente en concordancia con lo establecido en el Código Nacional de Tránsito lo que implica entonces la contratación de personal a cargo del Instituto. Los pasos a nivel que a la fecha tiene a cargo INVIAS son en la ciudad de Bogotá 7 y en la ciudad de Tunja 6.

¹⁰ Instituto Nacional de Vías – INVIAS: Decreto 2171 de 1992. Es un establecimiento público del orden nacional, con personería jurídica, autonomía administrativa y patrimonio propio, adscrito al Ministerio de Transporte; ejecuta las políticas y proyectos relacionados con la infraestructura no concesionada de la red vial nacional de carreteras primaria y terciaria, férrea, fluvial y de la infraestructura marítima, de acuerdo con los lineamientos dados por el Ministerio. [47]

¹¹ Las estaciones férreas declaradas bienes de interés cultural mediante Decreto 0746 de 1996.

La red férrea inactiva la conforman los corredores Lenguazaque – Barbosa, La Dorada – Buenos Aires, Bucaramanga – Puerto Wilches, Cali – Suarez, La Felisa – Envigado, Belencito – Paz del Río, Ibagué – Espinal, Facatativá – Espinal y La Tebaida – Pereira – Manizales.

Figura 1-6. Red férrea inactiva a cargo del INVIAS. [14]



2. Necesidades del mercado que impulsa el empleo de los ferrocarriles

En Colombia en la primera mitad del siglo XX el Gobierno Nacional priorizó el desarrollo de la infraestructura de transporte para promover el crecimiento económico; este desarrollo estuvo marcado en sus inicios por hechos como la guerra de los mil días y luego por la primera guerra mundial, que disminuyeron el ritmo de la construcción de ferrocarriles; por otra parte la indemnización entregada por Estados Unidos por el canal de Panamá permitieron al país contar con recursos para invertir en construcciones de nuevos ferrocarriles, así como la terminación de otros que se encontraban inconclusos, sin embargo las decisiones de inversión de estos recursos no tuvieron un soporte técnico que las avalará.

En la segunda mitad del siglo XX, la infraestructura ferroviaria presentó dos periodos: en el primero (1951 – 1962) se formó la red férrea nacional mediante la compra de los ferrocarriles departamentales y privados, así como la construcción del ferrocarril del Atlántico¹²; en el segundo (1963 – 1998) se presentó un fuerte proceso de desinversión y solo quedó operando el sistema ferroviario con una mínima parte de la red férrea [6].

A pesar del carácter local que tenían los ferrocarriles colombianos, es decir solo eran utilizados en una región específica del país y, la falta de conexión física entre líneas férreas el traslado de café principal producto de la economía colombiana en el siglo XX se dio empleando trenes, dado que los ferrocarriles que se empleaban para este producto (principalmente el de Antioquia y el del Pacífico) permitían llevar la mercancía hasta los puertos reduciendo los costos de transporte. Así mismo, de las materias primas empleadas para la construcción de ferrocarriles, el carbón local fue uno de los que más se consumió, impulsando su explotación y expansión de esta industria.

En la actualidad la movilización de carga ferroviaria es el segundo medio más utilizado de transporte de mercancías en Colombia después de las carreteras; para el año 2013 [15] la carga transportada total para todos los modos (carretero, férreo, fluvial, aéreo y cabotaje¹³)

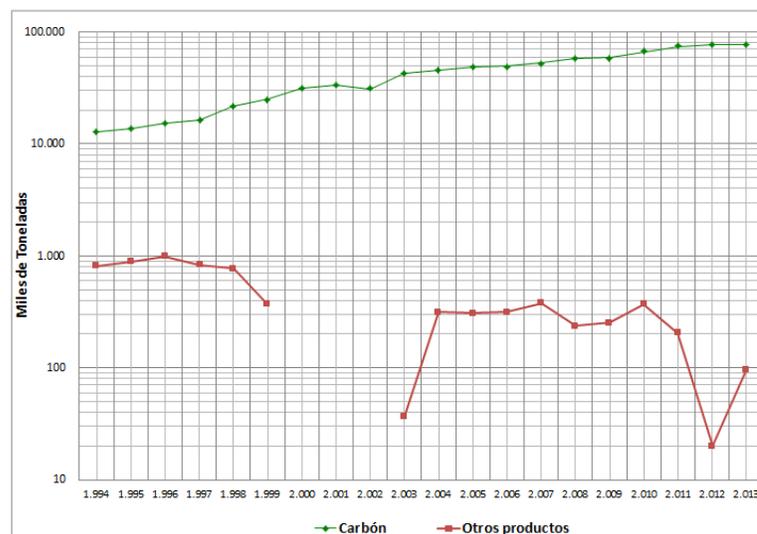
¹² La construcción del ferrocarril del Atlántico es considerado junto con la compra del ferrocarril de Antioquia las inversiones más importantes que se llevaron a cabo para la integración de la red férrea.

¹³ Cabotaje: De acuerdo con [63], se define como la navegación o tráfico que se hace de puerto a puerto por las inmediaciones de la costa y tomando por guía principal los puntos conocidos de ésta.

corresponde a 330.981.000 toneladas anuales, de las cuales el 71% corresponde al transporte por carretera, el 27% a los ferrocarriles y el resto a otros modos (3.891.000 toneladas).

Como se puede apreciar en la Gráfica 2-1¹⁴, el modo férreo tiene una alta participación para el transporte de carbón (76.684.000 toneladas en el año 2013) resultado de la exportación de este mineral hacia países del Atlántico en un porcentaje aproximado del 80% mientras que a países del pacífico en un 20%, generando así una situación en la cual el Estado se ha interesado por impulsar nuevos proyectos de infraestructura ferroviaria.

Gráfica 2-1 Movimiento de carga Nacional de las concesiones férreas¹⁵. [15]



2.1 Concesiones férreas

La operación de la concesión de la Red Férrea del Atlántico tiene como fin principal el transporte de carbón que se extrae en el departamento del Cesar a través de la línea férrea Chiriguáná – Santa Marta hasta los puertos de la costa Atlántica (Figura 2-1), esta operación se encuentra a cargo de varias empresas carboneras¹⁶, quienes compraron la concesión a los socios iniciales.

¹⁴ La Gráfica 2-1 se presenta en escala logarítmica dado que los datos cubren una amplia gama de valores y el logaritmo los reduce a un rango más manejable.

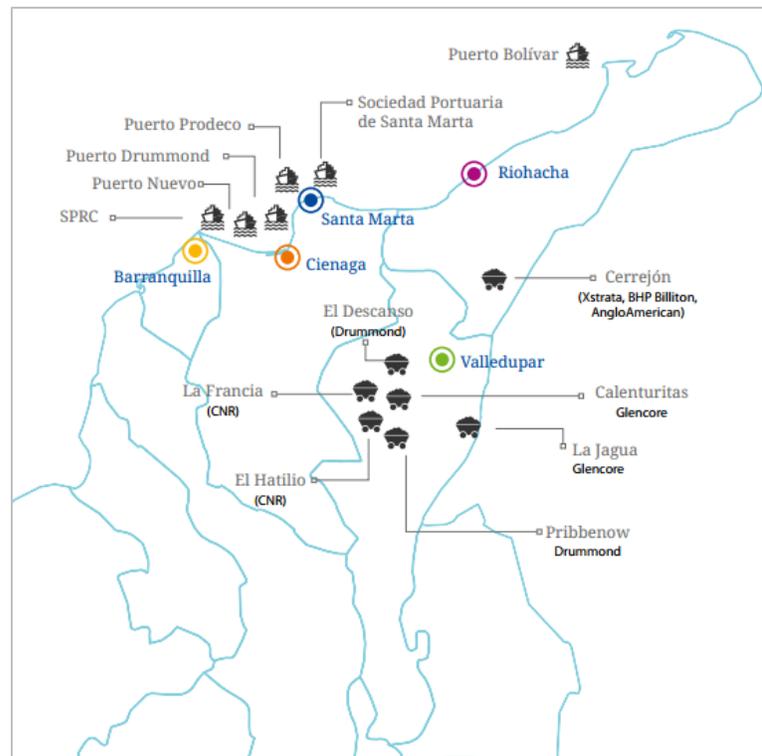
Durante el periodo 2000 – 2002 no se reportan valores para cargas transportadas diferentes al carbón.

¹⁵ El total de carbón transportado en modo férreo corresponde a la suma de Drummond (socio de la Concesión férrea del Atlántico) y Cerrejón (empresa privada dedicada a la explotación de carbón en el departamento de La Guajira)

¹⁶ Hacen parte del grupo de socios de Fenoco las compañías productoras de carbón en Colombia: Drummond Coal Mining LLC, Carbones de Los Andes S.A., Colombian Natural Resources I SAS, Vale Colombia Transportation Ltda y el grupo Prodeco.

Es muy importante señalar que esta línea férrea se encuentra saturada y no puede ser utilizada por otros operadores o terceros durante el período de vigencia de la actual concesión. Por tal motivo frente a las perspectivas de producción y exportación de carbón del oriente del país, así como de otros productos se llevó a incluir en el otrosí del contrato de concesión del año 2006 la construcción de una segunda línea férrea paralela a la existente, con el fin de ampliar la capacidad de carga y transporte.

Figura 2-1 Distribución de minas de carbón en el Departamento del Cesar y puertos empleados, por las empresas mineras que son socias de la concesión del Atlántico. [16]



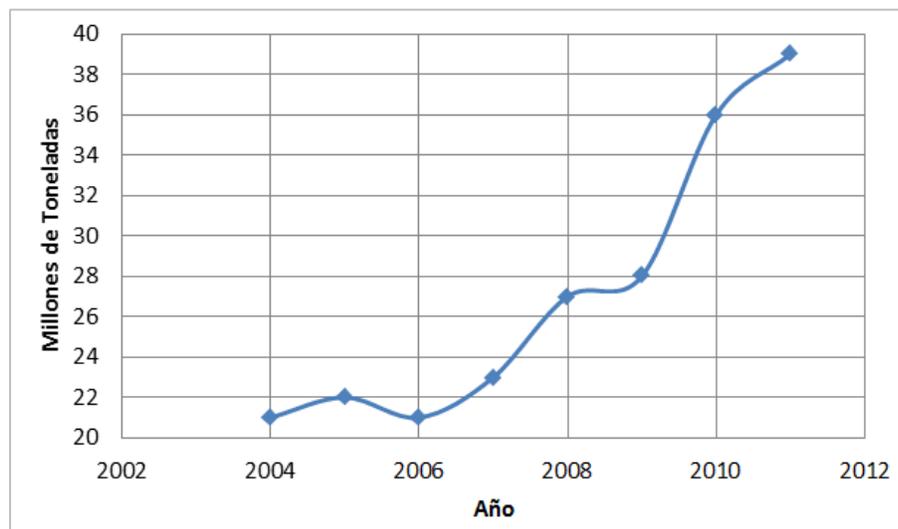
La línea entre Chiriguaná y Santa Marta, contempla el paso por las poblaciones que se presentan en la Figura 2-2; para el desarrollo de la segunda línea de este corredor férreo se requirió la autorización por parte de la entidad ambiental competente, este permiso fue tramitado por la sociedad Ferrocarriles del Norte de Colombia S.A. – Fenoco S.A. ante la Dirección de licencias, permisos y trámites ambientales del entonces Ministerio del Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial y ahora la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA, quien en el año 2013 dio la aprobación de la licencia ambiental para la construcción del sector Loma Colorada – Algarrobo, tramo pendiente aún de construcción; surtido este trámite el Gobierno espera que se culmine la construcción de esta segunda línea en el segundo semestre de 2014.

Figura 2-2. Ubicación concesión férrea del Atlántico. [17]



Durante el primer trimestre del año 2014 se movilizaron 24,6 millones de toneladas de carbón en todo el país, y se transportan por la concesión del Atlántico; las cifras de carbón transportadas por la concesión férrea del Atlántico se presentan en la Gráfica 2-2.

Gráfica 2-2 Carga movilizada por la concesión férrea del Atlántico Chiriguana – Santa Marta. [18]



Así mismo, Fenoco tiene proyectado el siguiente incremento de carga transportada (Tabla 2-1) de acuerdo con el compromiso Take or Pay¹⁷ y el volumen garantizado suscrito por los accionistas de Fenoco en el Anexo 2 del contrato de asociación.

Tabla 2-1. Compromiso take or pay de carga para la Concesión del Atlántico (Millones de Toneladas) [19]

| Año | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Take or Pay | 32,63 | 42,29 | 48,59 | 51,95 | 54,05 | 54,05 | 54,05 | 49,85 | 49,85 | 49,85 |
| Volumen garantizado | 35,9 | 49,7 | 59 | 63,5 | 66,5 | 66,5 | 66,5 | 60,5 | 60,5 | 60,5 |

Aunque de acuerdo con las anteriores cifras, los volúmenes acordados para Take or Pay no se han cumplido, existe una diferencia promedio del 33% entre lo pactado y lo movilizado Gráfica 2-2 (cifras entre los años 2007 y 2011); de acuerdo con la Agencia Nacional Minera [20] en el primer trimestre del año 2014 la movilización total de carbón en el país aumento en un 33,8%, pasando de 18.4 en 2013 a 24.6 millones de toneladas y de estas el 57% pertenecen a las minas del Departamento del Cesar, correspondiente a 13.9 millones de toneladas de carbón, el cual es transportado específicamente por el corredor férreo Chiriguana - Santa Marta, garantizando así aproximadamente el 29% de la producción proyectada en lo que va corrido del año 2014.

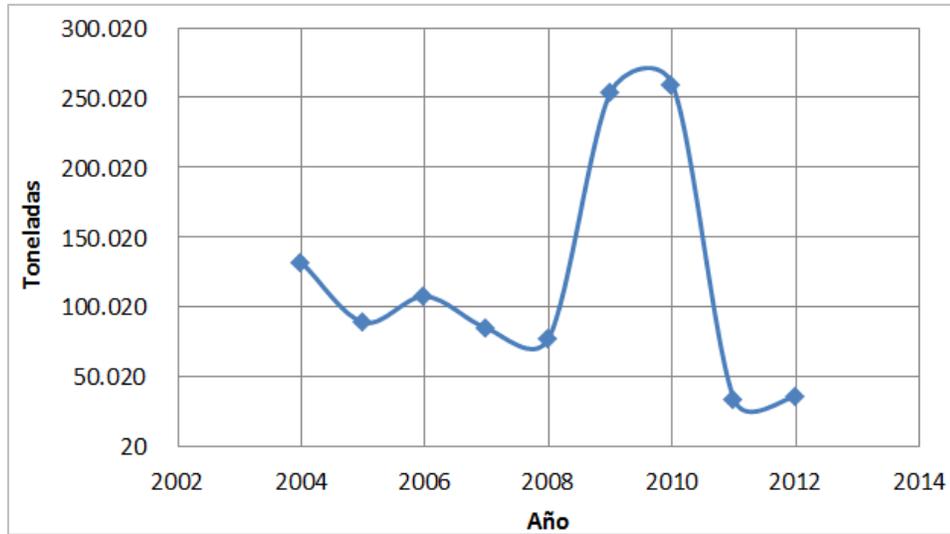
Por otra parte para el corredor férreo Bogotá – Belencito, el cual hace parte de la misma concesión se presentó transporte de carga de cemento, llegando a un máximo de 230 mil toneladas en el año 2005 y un promedio cercano a los 180 mil toneladas entre el 2004 y 2010, sin embargo, por efectos de la ola invernal del 2010 y 2011 el corredor sufrió graves daños que ocasionaron la interrupción de la operación desde febrero de 2011 [12].

De acuerdo con lo mostrado la mayor parte de porcentaje de carga transportada corresponde al carbón y en esta línea el ferrocarril ha encontrado en este mineral un importante nicho de mercado, sin embargo no debe convertirse en el único pues esto podría generar un completo monopolio del mercado, impidiendo que otros tipos de productos puedan tener acceso al sistema.

La línea férrea del Pacifico fue adjudicada en 1998 al Tren de Occidente S.A. y cedida en el año 2008 al Ferrocarril del Oeste S.A. hoy Ferrocarril del Pacifico S.A.S; por esta línea se ha transportado desde el inicio de la operación en el 2003 hasta el 2012 un total de 1.072.291 toneladas de productos como azúcar, concentrados, maíz, cemento y lámina (Gráfica 2-3), en el año 2012 fue paralizado el transporte de carga por este corredor debido a el taponamiento generado por la ola invernal en el tramo Yumbo - Buenaventura.

¹⁷ Take or Pay (TOP) es la cláusula de un contrato de compra venta o de suministro de un producto mediante el cual el comprador se compromete a pagar por un volumen del producto contratado independientemente que sea consumido o no.

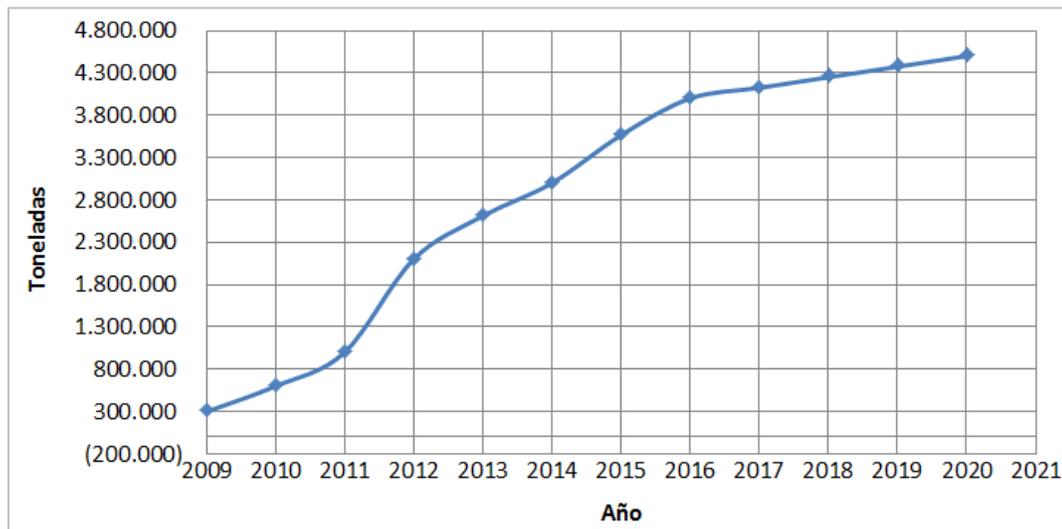
Gráfica 2-3 Carga movilizada por el corredor férreo del Pacífico, incluye datos de las dos concesiones a cargo. [9] y [21]



La carga movilizada ha sido significativa desde el año 2010 – 2011, pero a partir de ese momento y hasta el 2013 ha tenido un decrecimiento generado por las condiciones climáticas.

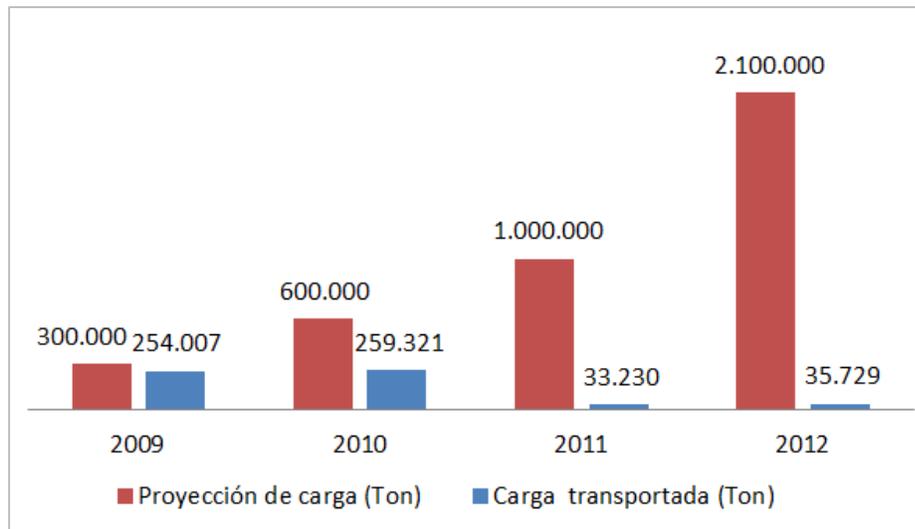
Por otro lado, inicialmente la concesión Ferrocarril del Oeste generó una proyección de carga para este corredor en la cual contemplaba movilizar a partir del año 2016 el 25% de la carga de comercio internacional que transita por el puerto de Buenaventura como se muestra en la Gráfica 2-4.

Gráfica 2-4 Proyección de transporte de carga realizada por la concesión Ferrocarril del Oeste [22].



Sin embargo, debido a los inconvenientes asociados con el cambio de la sociedad a cargo de la concesión por problemas financieros, la baja confiabilidad en el empleo de este corredor férreo para el transporte de mercancías y los problemas climáticos que lo afectaron, en la Gráfica 2-5 se observa que el comportamiento del transporte de carga que se registró durante el periodo 2009 – 2012 no alcanzó dichas metas proyectadas.

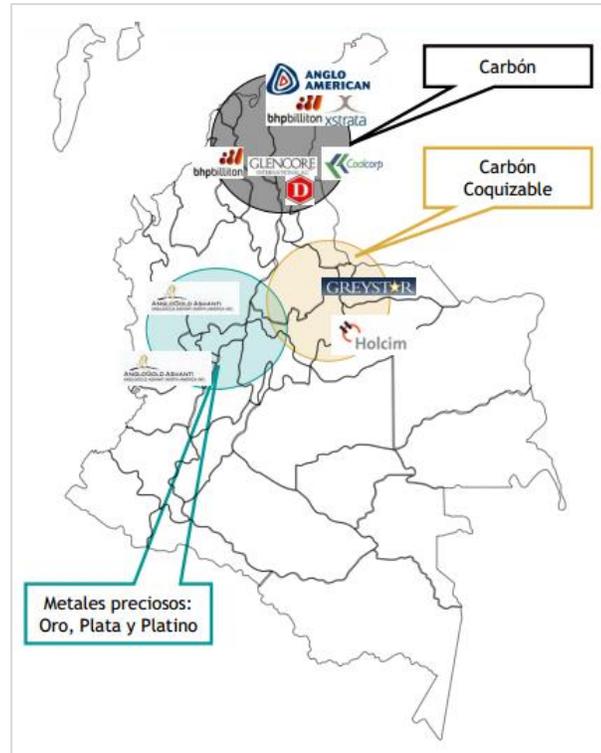
Gráfica 2-5 Carga transportada y proyección concesión Ferrocarril de Oeste. [21]



En Septiembre de 2013 y luego de este periodo de recesión la concesión Ferrocarril del Pacifico S.A.S reportaba que se encontraba movilizando en promedio 10.000 toneladas mensuales [21] y que se encuentran buscando estrategias para hacer del corredor del Pacifico un ferrocarril multipropósito para todo tipo de carga, esto se debe a la conexión que este corredor genera con el interior del país y el puerto de Buenaventura; esta última característica puede permitirle convertirse también en una posibilidad para la exportación de carbón y otros minerales hacia Asia, teniendo en cuenta los grandes yacimientos que tiene el país en departamentos como Cundinamarca, Boyacá, Santander, Huila y Antioquia (Gráfica 2 6).

El puerto de Buenaventura registró un movimiento total de 10.094.440 toneladas de las cuales el 78% son importaciones y el 22% exportaciones [23], esta cifra indica una importante oportunidad de mercado para este ferrocarril, el cual en operación integrada con el resto de la red férrea de Colombia podrá garantizar fluidez y seguridad del movimiento de carga que se requiere como parte de la cadena logística que allí se genera.

Gráfica 2-6 Ubicación de yacimientos de minerales en Colombia [24]



2.2 Trazados férreos con vocación de carga

Además de los trazados férreos mostrados anteriormente que están siendo operados a través de concesiones y los cuales ya tienen unos nichos de mercado desarrollados como es el caso de la red férrea del Atlántico, es necesario desarrollar otros corredores férreos que permitan asegurar nuevas oportunidades para el transporte de carga de industrias alimenticias, agrícolas, químicas, manufactureras, textiles y de bienes de consumo en general, los cuales también demandan del transporte de altos volúmenes de carga; es por ello que el Gobierno Nacional de acuerdo con su estrategia para recuperar la red férrea ha encaminado otros proyectos férreos en el mediano y largo plazo.

- **Proyectos a mediano plazo**

El Gobierno Nacional ha planteado como metas ampliar la infraestructura férrea y pasar de los 35 millones de toneladas anuales que se movilizan hoy, a 90 millones de toneladas en el año 2018 y recuperar los 1672 Km de líneas existentes, haciendo además construcción de sistemas y ramales por medio del impulso de iniciativas privadas con miras a la consolidación de corredores que se dirijan a las plataformas logísticas¹⁸ ubicadas en Buenaventura, Buga, Cali, Manizales, Bogotá D.C.,

¹⁸ Ver numeral 2.4.

Barrancabermeja y Puerto Berrio; esto es posible cumplirlo a través de los siguientes proyectos férreos.

Tabla 2-2 Proyectos férreos a mediano plazo [13] y [18]

| No. Acción | Acción | Entidad | Actividades a desarrollar |
|------------|---|---|---|
| 1 | <p>Conexión con el ferrocarril de Pacífico</p> <ul style="list-style-type: none"> • Buga – Buenaventura 100 Km • La Tebaida – Buenos Aires 98 Km • Buenos Aires – La Dorada 177 Km | <p>Ministerio de Transporte – Planeación</p> <p>Agencia Nacional de Infraestructura (ANI)</p> | <p>Construcción de nueva línea para cada uno de los tres tramos para la conexión con la red férrea central</p> |
| 2 | <p>Ferrocarril del Carare</p> <ul style="list-style-type: none"> • Belencito – La Vizcania 463 Km • Bogotá - Santa Sofía 173Km | <p>Agencia Nacional de Infraestructura (ANI)</p> | <p>Construcción de nueva línea para cada uno de los dos tramos para mejorar las condiciones de acceso a los distritos carboneros orientales del país a la red férrea nacional</p> |
| 3 | <p>Sistema ferroviario Central</p> <ul style="list-style-type: none"> • La Dorada – Chiriguaná 523 Km • Chiriguaná – Ciénaga 190 Km | <p>Agencia Nacional de Infraestructura (ANI)</p> <p>Dirección Nacional de Planeación</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento y rehabilitación para mejorar el flujo de carga • Construcción de la tercera línea disminuir la saturación que presenta la línea actual para la inclusión de otros productos |
| 4 | <p>Conexión Puerto de Dibulla</p> <ul style="list-style-type: none"> • Chiriguaná – Dibulla 320 Km | <p>Ministerio de Transporte – Planeación</p> <p>Agencia Nacional de Infraestructura (ANI)</p> <p>Dirección Nacional de Planeación</p> | <p>Construcción de una línea que conecte el Sistema Ferroviario Central con una nueva ruta que permita la salida de productos colombianos por el océano Atlántico.</p> |
| 5 | <p>Conexión Puerto de Santa Marta 18 Km</p> | <p>Agencia Nacional de Infraestructura</p> | <p>Nuevo acceso al puerto para mejorar las condiciones de llegada y transferencia de mercancías</p> |

| No. Acción | Acción | Entidad | Actividades a desarrollar |
|------------|--------|---|---------------------------|
| | | (ANI) Dirección Nacional de Planeación | |

A finales del año 2013, la ANI había aprobado las siguientes propuestas presentadas por privados en etapa de Pre-Factibilidad¹⁹ SOFCA, MARIVERDO y la Sociedad Portuaria de Santa Marta – SPS, Chiriguana – Dibulla, Túnel Armenia – Cajamarca y el Ferrocarril del Carare (Belencito – Barrancabermeja) Ver Figura 2-3.

Es importante señalar que en los tramos viabilizados a través de los proponentes SOFCA y MARIVERDO fraccionaron el proyecto ferrocarril del Cararé separando los tramos Bogotá – Belencito y Vizcanía - Chiriguana del diseño inicial de este ferrocarril, razón por la cual fue retirado dicho proyecto de la ANI a finales del año 2013.

¹⁹ Fase 1 Pre – Factibilidad, de acuerdo con [66] esta etapa para evaluar progresivamente la viabilidad económica del proyecto consiste en identificar uno o varios corredores de rutas posibles se realiza el prediseño aproximado a lo largo de cada corredor y recurriendo a costos obtenidos en proyectos de condiciones similares se realiza la evaluación preliminar.

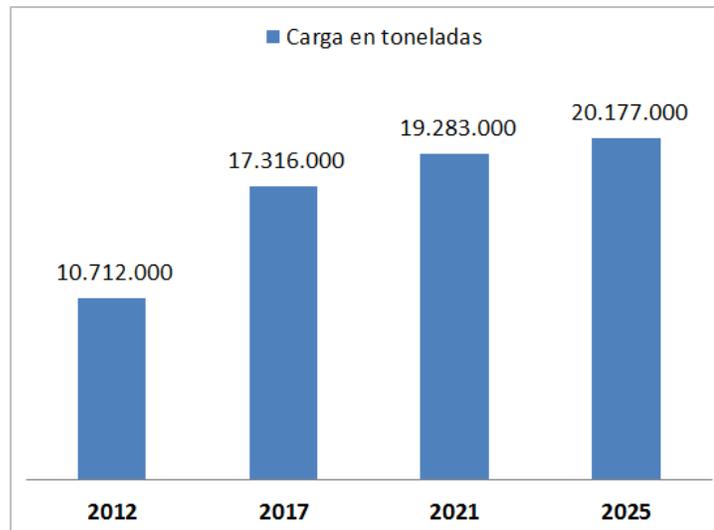
El objetivo concreto de la Fase 1 es establecer si el proyecto ofrece posibilidades de ser viable económicamente, es decir, si supera umbrales preestablecidos para indicadores como la relación Beneficio / Costo ó la Tasa Interna de Retorno. Si la evaluación económica no es satisfactoria en ninguno de los corredores estudiados se archiva el proyecto. En caso contrario, se debe continuar afinando los estudios a nivel de Fase 2 Factibilidad en el corredor que presente la mayor rentabilidad.

Figura 2-3 Iniciativas privadas aprobadas en Prefactibilidad [25]



Teniendo en cuenta que sólo los tráficos asociados con la minería poseen la rentabilidad suficiente para encarar inversiones de la magnitud que implica la construcción de proyectos férreos, la Nación deberá proveer parte sustancial del financiamiento necesario para sacar adelante estos proyectos, montos que dependen principalmente de los requerimientos específicos de cada corredor y su geografía [26].

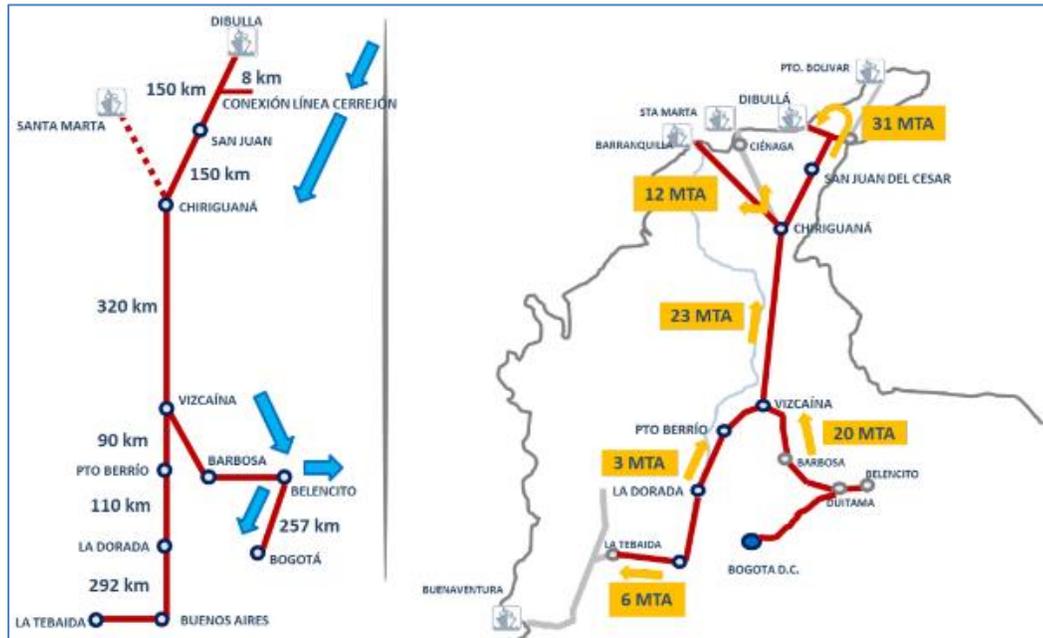
Para el caso del ferrocarril del Carare el cual esta contemplado como la construcción de un corredor para el traslado de carbón desde el Altiplano Cundi – Boyacense hasta el Magdalena Medio donde se conectará con el Sistema Ferroviario Central y de esta manera buscar la salida por los puertos del Atlántico. Esta iniciativa del tren del Carare esta fundamentada en la demanda por encontrar un modo de transporte eficiente de carbón desde esta región del país. De acuerdo con la Agencia Nacional Minera [1] durante el periodo 2010- 2013 se generó en la zona central (Boyacá, Cauca, Cundinamarca, Norte de santander y Santander) un promedio de 7.484.000 toneladas de carbón, mientras que en año 2013 registró 8.645.120 toneladas y la carga potencial se ha contemplado de la siguiente manera hasta el año 2025:

Gráfica 2-7 Carga potencial para el ferrocarril del Carare [27]

Para llevar a cabo las proyecciones presentadas en la Gráfica 2-7, es necesario contar con una infraestructura de transporte adecuada y eficiente; sin embargo es importante tener en cuenta que los mineros ubicados en esta región del país no pueden invertir en el aumento de la producción sin una solución logística clara hasta alcanzar la plena producción, pues en este sector parte de la minería es subterránea lo cual requiere de desarrollos en tecnología, los aumentos de producción son lentos y las zonas de producción están dispersas en áreas relativamente grandes.

Como resultado del desarrollo de los proyectos mencionados junto con una optimización adecuada de las infraestructuras logísticas (sedes de producción, centros de acopio, puertos, etc) se generará la integración de los corredores férreos existentes entre sí, permitiendo que permanezca una comunicación constante para el flujo de todo tipo de carga entre ambos océanos, ver Figura 2-4.

Figura 2-4 Integración de los corredores férreos y la proyección de carga a transportar [25]



- **Proyectos a largo plazo**

Para la estructuración de los siguientes proyectos se requiere del estudio minucioso desde el Gobierno Nacional liderado por entidades como el Ministerio de Transporte, la Dirección Nacional de Planeación y La Agencia Nacional de Infraestructura.

Con estas estrategias se espera consolidar el movimiento de carga en los proyectos del grupo anterior así como incorporar otras plataformas ubicadas en Cúcuta, Barranquilla, Cartagena, Medellín, Urabá, Montería e Ipiales.

Tabla 2-3. Proyectos férreos a largo plazo [13] y [18]

| No. Acción | Acción | Entidad | Actividades a desarrollar |
|------------|--|---|--|
| 1 | Conexión con los llanos <ul style="list-style-type: none"> • Buenos Aires – Granada 383 Km | Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) | Licitación la construcción de la línea que permitirá el traslado de productos principalmente petróleo y cereales desde los llanos orientales hacia el Atlántico y el Pacífico. |
| 2 | Conexión con Venezuela <ul style="list-style-type: none"> • Cúcuta – La Mata 200 Km | Dirección Nacional de Planeación Ministerio de Transporte – Planeación | Licitación la construcción de la línea para intercambio de productos fronterizos. |
| 3 | Barrancabermeja – Cupica 530 Km | Agencia Nacional | Estructuración de un proyecto que cree una salida férrea que conecte el |

| No. Acción | Acción | Entidad | Actividades a desarrollar |
|------------|---|-----------------------------------|--|
| | | de Infraestructura (ANI) | Sistema Ferroviario Central con el océano Pacífico. |
| 4 | Corredor férreo multipropósito del Caribe | Dirección Nacional de Planeación | Estructurar un proyecto para integrar inicialmente Barranquilla, Santa Marta y Cartagena que cuente con recursos de la Nación y aportes privados. |
| 5 | Ferrocarril Trasandino | Gobiernos de Colombia y Venezuela | Conexión entre el Puerto de Buenaventura y Puerto Cabello en Venezuela. |
| 6 | Vía alterna Puerto de Santa Marta | Sociedad Portuaria de Santa Marta | Construcción de una variante férrea alterna a la existente al puerto para evitar el paso por la zona turística de la ciudad. |
| 7 | Ferrocarril del Pacífico <ul style="list-style-type: none"> • Loboguerrero – San Marcos – Buga • Candelaria – Puerto Tejada – Santander de Quilichao – Popayán • La Felisa - Bolombolo | De acuerdo con la concesión | <ul style="list-style-type: none"> • Reducir el trayecto Buenaventura – Buga en 100 Km mejorando las especificaciones técnicas para mejor rendimiento de las máquinas. • Este tramo viabiliza económicamente y competitivamente los desarrollos industriales de la Ley Páez²⁰ del Departamento del Cauca. |

²⁰ La Ley 218 de 1996 (más conocida como la Ley Páez) fue promulgada luego de más de una década que ocurriera el devastador terremoto de Popayán (1983), después del fuerte sismo que generó una avalancha en el río Páez el 6 de Junio de 1994, el cual afectó una gran zona de los departamentos del Cauca y del Huila. Este fenómeno natural implicó cuantiosas pérdidas tanto de vidas humanas como de infraestructura, pérdidas que acentuaron el nivel de pobreza de la zona.

Los efectos tanto físicos como económicos, ambientales y sociales de la avalancha motivaron un proyecto de ley con incentivos claros a largo plazo que fomentara la inversión en la región que además de la tragedia natural ha sido fuertemente afectado por la violencia.

La Ley Páez que fue declarada constitucional mediante sentencia número C407 de 1995, surge como una respuesta a estos problemas. Esta otorgó incentivos tributarios de carácter nacional (exención de impuesto de renta) para las empresas que se constituyan dentro de la zona afectada por el fenómeno natural, que para el caso del departamento del Cauca comprendía inicialmente los municipios de Caldon, Inzá, Jambaló, Toribío, Caloto, Totoró, Silvia, Páez, Santander de Quilichao, Popayán, Miranda, Morales, Padilla, Puracé, El Tambo, Timbío y Suárez. Para el departamento del Huila la zona de influencia de la Ley correspondía a los municipios de La Plata, Paicol, Yaguará, Nátaga, Iquira, Tesalia, Neiva, Aipe, Campoalegre, Gigante, Hobo, Rivera y Villavieja. La cobertura geográfica de la Ley Páez fue aumentada por medio del artículo 42 de la Ley 383 de 1997, incluyendo los municipios caucanos de Cajibío, Piendamó, Sotará, Buenos Aires, La Sierra, Puerto Tejada, Corinto y Patía. [65]

| No. Acción | Acción | Entidad | Actividades a desarrollar |
|------------|--------|---------|---|
| | | | <ul style="list-style-type: none"> • Capturar cargas de Antioquia, transportar carbón de Amaga hasta el Pacífico y generar una conexión Bolombo – Puerto Berrio para conexión al Sistema Ferroviario Central |

2.3 Otros mercados

El transporte de hidrocarburos es también un nicho de mercado y es ideal para el transporte por ferrocarril debido a que actualmente este sector depende mucho de carrotanques los cuales implican además una alta complejidad logística para la movilización terrestre de esta producción; del mismo modo la cobertura de la red de oleoductos en Colombia es insuficiente para la evacuación de hidrocarburos restando competitividad a esta industria por el uso de vehículos.

El Gobierno Nacional ha propuesto retomar la rehabilitación de la infraestructura ferroviaria, que favorecerá el transporte de hidrocarburos, por lo tanto se tiene proyectado realizar estudios de factibilidad para concesionar una nueva línea de ferrocarril que conecte las minas de Cerromatoso y la ciudad de Montería con la línea férrea de Santa Marta a Bogotá, impulsar la construcción de la vía férrea alterna al puerto de Santa Marta y la estructuración de un proyecto para el transporte de crudo por medio de un ferrocarril con la entrega de las líneas rehabilitadas La Dorada – Chiriguáná y Santa Marta, en una fase inicial se pretende el transporte de 2.500 toneladas diarias de carga aproximadamente, en su mayoría hidrocarburos.

Igualmente, se ha propuesto el proyecto denominado ferrocarril del Llano [28], el cual ha sido pensado para dar un soporte logístico adecuado que proporcione un transporte suficiente y capaz para la movilización de todo tipo de productos, fundamentalmente de hidrocarburos, desde y hacia el oriente del país. Pretende conectar la ciudad de Villavicencio con los campos de explotación petrolera en Rubiales, pasando por los municipios de Puerto Gaitán, Puerto López y Villavicencio.

Debido a que en la actualidad el sistema de transporte de hidrocarburos se hace por vía terrestre entre Rubiales y Villavicencio en una longitud de 350 Km, se plantea una solución férrea tipo RO-RO (Roll on Roll off) Figura 2-5. La implementación de este sistema tiene una ventaja adicional que consiste en retirar de las vías nacionales el paso de las casi 800 tractomulas que movilizan el crudo, situación que reducirá en costo de mantenimiento y alargará la vida útil de la mencionada vía. [28]

La ley Páez expiró en el año 2003 y las empresas instaladas en esta zona se acogieron en el año 2009 a la ley de zonas francas que fue impulsada por el gobierno nacional.

Figura 2-5 Sistema Roll On – Roll off [28]

En forma general dentro de las ventajas de incluir el transporte de hidrocarburos por modo férreo se destacan:

- Reducción de emisiones de CO₂ dado que se elimina el de los camiones y se crea uno menor por el tren; lo mismo sucede con el ruido
- Reducción de riesgos de accidentes mejora en el nivel de servicio y capacidad; se disminuyen los costos de conservación de la carretera.
- Las líneas férreas son diseñadas para el transporte de cargas extra-pesadas, mientras que las carreteras no soportan altas cargas por largos periodos de tiempos e inevitablemente se deterioran de manera muy rápida.
- También existe una oportunidad a través de la gran capacidad de la línea que podría enfocarse en el futuro al beneficio de las comunidades y así promover un transporte multimodal.
- Si se considera un incremento anual en el volumen de crudo por transportar, los indicadores financieros mejoran sustancialmente. Este debería ser el escenario de comparación de forma similar a todos los proyectos viales que consideran incremento del volumen de tránsito.

2.4 Plataformas logísticas

Para el Gobierno Nacional ha sido una prioridad la construcción de una política sólida que articule adecuadamente la infraestructura física de los diferentes modos de transporte y los servicios asociados tales como almacenaje, aprovisionamiento y/o distribución que hacen parte del ciclo logístico para el flujo de mercancías; es por ello que fue formulado el documento CONPES 3547 de 2008 como la Política Nacional Logística, en la cual se define como política nacional, la promoción de un sistema de plataformas logísticas que articule y aglomere la oferta de infraestructura y servicios, con el objetivo de generar proyectos de impacto para el comercio exterior y para la distribución de mercancías de producción y consumo, así como promover y potenciar el uso de la infraestructura instalada [29].

De acuerdo con el documento CONPES 3547 las plataformas logísticas se constituyen en la infraestructura especializada que permite acoger la actividad logística y organizar el transporte en las condiciones óptimas para los operadores, la movilidad y el territorio.

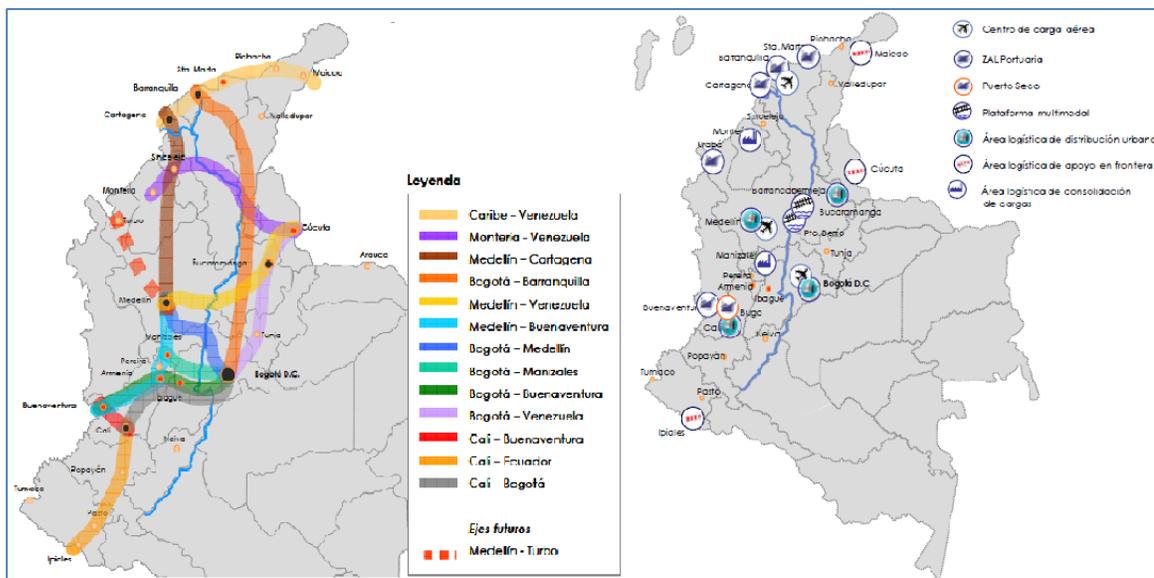
La evolución de la logística está marcada por la necesidad de disponer de plataformas de distribución con el fin de estructurar de forma racional y óptima la cadena de abastecimiento²¹ de las empresas. Las plataformas logísticas son genéricamente puntos o áreas de ruptura de las cadenas de abastecimiento en las cuales se realizan operaciones logísticas o bien funciones básicas técnicas y actividades de valor agregado sobre la mercancía

Para una adecuada política nacional logística entonces, se hace necesario contar con una infraestructura de transporte que responda a los corredores logísticos constituidos, a partir de infraestructura de transporte adecuada; en el documento CONPES 3547 se define entre sus objetivos específicos contar con corredores logísticos articulados a los planes de desarrollos departamentales, municipales y su posterior inclusión en Planes de Ordenamiento Territorial, cuando esta infraestructura interactúe en temas de competencias regionales, así como también se llevan estas a la complementariedad modal que estimule la oferta, el empleo de tecnología, el aumento el flujo de bienes y servicios y se reduzcan los costos de transporte [29].

A partir de este documento CONPES se definen veinte plataformas logísticas para desarrollar en el país de acuerdo con el análisis de producción, importación de insumos, consumo nacional y exportación de productos elaborados; estas plataformas requieren que sean articuladas con una infraestructura de transporte que sea aprovechada de acuerdo con las características que la hacen más competente. Por tal motivo se considera que una de las redes de infraestructuras más importantes que permite hacer dicha articulación y que se ha empleado en los diferentes países para potencializar estos polos de desarrollo es la red férrea, pues es considerada como uno de los modos de transporte más apropiados para movilizar carga de industria pesada y de alto volumen desde los centros de producción hacia los puertos marítimos, los cuales hacen parte del grupo de las plataformas logísticas definidas en el CONPES 3547. El sistema férreo es más competente por su mayor eficiencia para recorrer grandes distancias en comparación con la alternativa terrestre por carretera, además posee otras grandes ventajas con relación a otros medios de transporte como la seguridad, el menor impacto ambiental, el excelente control logístico y los menores costos de operación cuando esta adecuadamente articulado, administrado y la red es mantenida en condiciones óptimas de operación. De acuerdo con esta medida se hace indispensable la reconstrucción y renovación del sistema férreo, priorizando las líneas que son rentables asociadas a los volúmenes de carga que se distribuirán desde dichas plataformas.

²¹ Plataformas logísticas: es el conjunto de instalaciones inmobiliarias (bodegas, plantas de producción, etc), y el transporte físico de mercancías entre los diversos agentes (proveedor, fabricante, distribuidor, minorista, consumidor, entre otros), en donde se involucra totalmente a la infraestructura de transporte como medio de conexión entre ellos. [28]

Figura 2-6 Corredores logísticos y plataformas logísticas. [29]



3. Puntos geográficos que regulan la selección de la trocha y el material rodante

Los puntos de Colombia a continuación mencionados constituyen lugares de difícil acceso para el transporte terrestre por las características de la topografía de la zona en la cual se ubican; sin embargo su paso es necesario para la comunicación entre puertos y puntos de producción y consumo que generan mercado para los ferrocarriles. Para sortear estos pasos, el uso de la trocha angosta en las líneas férreas constituye un mejor alternativa pues ella permite una mayor adaptación a la configuración de terrenos montañosos y escarpados así como también no afecta de forma considerable los niveles de operación de los trenes.

Por tal motivo conservar las líneas férreas de trocha angosta en zonas de empinadas de montaña, no solo permite mantener una operación más adecuada a las condiciones topográficas sino que además teniendo en cuenta el número de líneas férreas construidas en este tipo de trocha en el país no se deberá modificar túneles, pendientes, radios de curvatura y capacidad de los ponederos²² entre otros aspectos.

3.1 Línea Férrea del Pacifico - La Cumbre

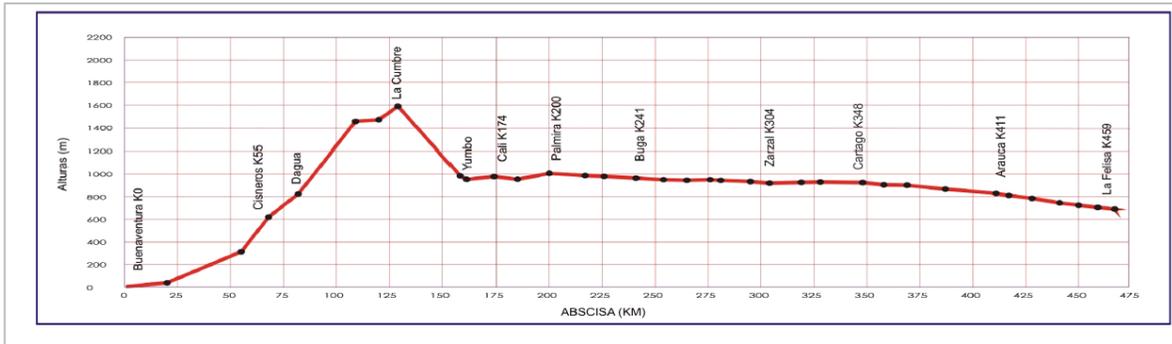
El municipio de La Cumbre se encuentra ubicado en el departamento del Valle del Cauca a 1.591 msnm, presenta entre sus particulares más importantes el cruce de la línea férrea del Pacifico en sentido occidente – oriente, la cual comunica al interior del país con el Puerto de Buenaventura, pasando por su cabecera municipal.

Este punto de la geografía colombiana manifiesta características tales como la alta variabilidad de sus pendientes (de 800 a 2.200 msnm) y topografía con formas montañosas; dichas particularidades en la zona dificultan la operación de los ferrocarriles pues el alineamiento horizontal del corredor se ha visto limitado a radios de curvatura muy bajos y a la existencia de altas pendientes en el perfil longitudinal, esto hace que se tenga un mayor desgaste en los equipos y sean más lentos; zonas como Dagua (municipio al occidente de La Cumbre) llegan a tener pendientes del orden de los 4.5%; esto significa por ejemplo, que para trasportar 20 vagones se

²² Lugar escogido para la construcción de un puente.

deben que utilizar dos locomotoras o hacer lanzaderas, es decir particiones de trenes con menos vagones.

Figura 3-1 Perfil de la vía férrea Buenaventura – La Felisa [30]



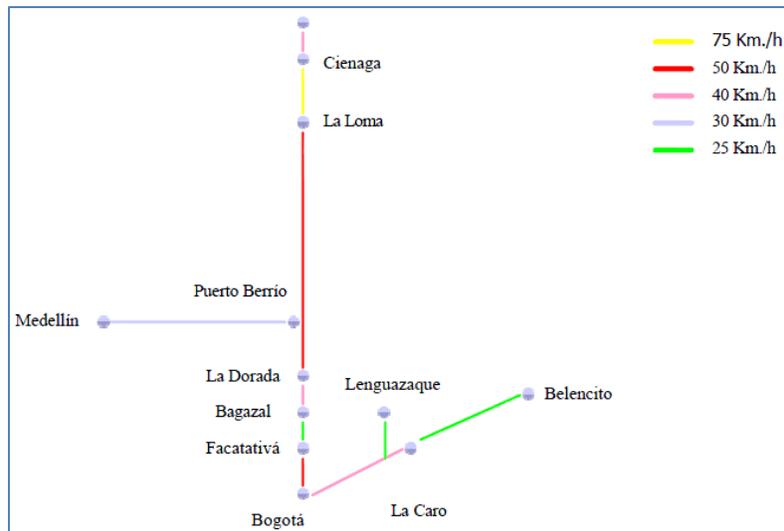
En adición a lo anterior, es importante considerar que el alineamiento del ferrocarril del Pacífico fue diseñado y construido cuando lo esencial en un trazado ferroviario era comunicar la mayor cantidad de centros poblados para incrementar la oferta de transporte a los habitantes de ciudades, pueblos y veredas. Sin embargo, aquella metodología de diseño no se adapta en gran medida a los trazados actuales, principalmente en los casos en que estos se enfocan para conformar redes ferroviarias dedicadas al transporte de mercancías.

A los problemas de geometría identificados en el corredor, se les puede añadir otras dificultades asociadas con inestabilidades geológicas y zonas vulnerables a la lluvia que históricamente han causado daños en distintos sectores del corredor como consecuencia de deslizamientos, derrumbes y hundimientos, entre otros, limitando el trazado de nuevas alternativas o ampliaciones.

3.2 Sistema Ferroviario Central. Facatativá – Bagazal

Este tramo perteneciente al sistema ferroviario central y de importancia para la comunicación del centro del país con la concesión del Atlántico y su salida a los puertos, cuenta con pendientes superiores al 3 % y tramos sinuosos con estrechas curvaturas los cuales no permiten la circulación fluida; además la vía férrea en este tramo maneja alineamientos fuertes producto de la ubicación de cordillera central cercana a la Sabana de Bogotá con una diferencia de altura de aproximadamente de 1.800 m, dificultando tanto el ascenso como el descenso de las locomotoras, adicionalmente presenta deficientes condiciones geológicas en este sector.

Como se observa en la Figura 3-2, la condición topográfica del tramo Facatativá - Bagazal reduce la velocidad de operación de los trenes a 25 Km/h, por lo tanto el empleo de la trocha estándar en este sector no mejora la operación de la línea férrea pues su colocación se dificulta al tenerse que adaptar a las condiciones del terreno.

Figura 3-2 Velocidades de operación mínimas tramo Bogotá – La Loma [5]

3.3 Ferrocarril de Girardot – Alto de Las Cruces

Como parte de la red inactiva a cargo del Invias se encuentra el Ferrocarril de Girardot el cual se construyó entre los municipios de Facativá y Girardot con el fin de comunicar a la capital a través del ferrocarril de la Sabana con el río Magdalena, a pesar de la iniciativa, esta estrategia nunca se consiguió. En este tramo se encuentra el sitio conocido como Alto de las Cruces con una altura aproximada a los 2.800 msnm ubicado al sur de la vía Anolaima; en este lugar se presentan pendientes longitudinales máximas del orden del 4.6 % (Figura 3-3) por lo cual se desarrollaron obras tales como el túnel de Zipacón con una longitud aproximada a los 152 m.

Aunque no se encuentra en operación este tramo es indispensable para la continuación de la red férrea hasta el departamento del Huila, es una opción para llegar al sur oriente del país y a un nuevo puerto en el Pacífico ubicado cerca de la ciudad de Popayán, así como también rescataría la iniciativa de conectar a la Sabana con el río Magdalena.

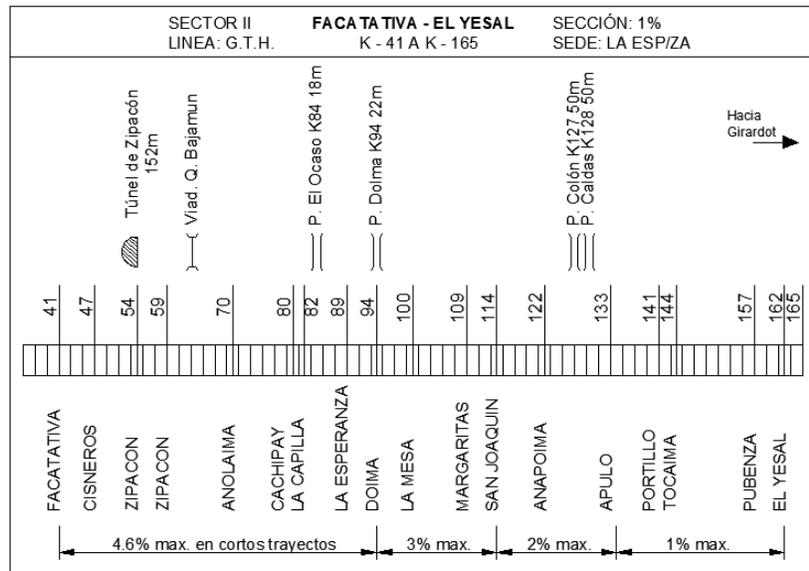
3.4 Líneas férreas Pacífico y Atlántico – conexión La Dorada.

El Municipio de la Dorada es un lugar estratégico por estar ubicado en el centro del país para el transporte multimodal por su cercanía con el Río Magdalena y el paso del sistema ferroviario central, además permite la conexión con el departamento de Caldas y su posterior ensamble con la línea férrea del Pacífico generando la integración de la región Andina y el Altiplano con una salida al océano Pacífico y una posibilidad de transportar el productos como por ejemplo el carbón andino hasta Buenaventura, de manera que se pueda viabilizar este nicho de mercado.

Aunque su ubicación es estratégica, es necesario cruzar la cordillera central para lograr el ensamble con el Pacífico así como superar los 2400 m aproximados de diferencia en altura que hay

entre Bogotá y La Dorada en especial los tramos con mayores pendientes producto de un terreno montañoso (3% - 6%), entre los que se encuentran: Alto del Vino – Villeta – Alto del Trigo, Alto del Trigo – Guaduas y Alto de La Mona – Honda.

Figura 3-3. Esquema del trazado férreo de la línea Facatativá - El Yesal [30]



3.5 Ferrocarril de Antioquia

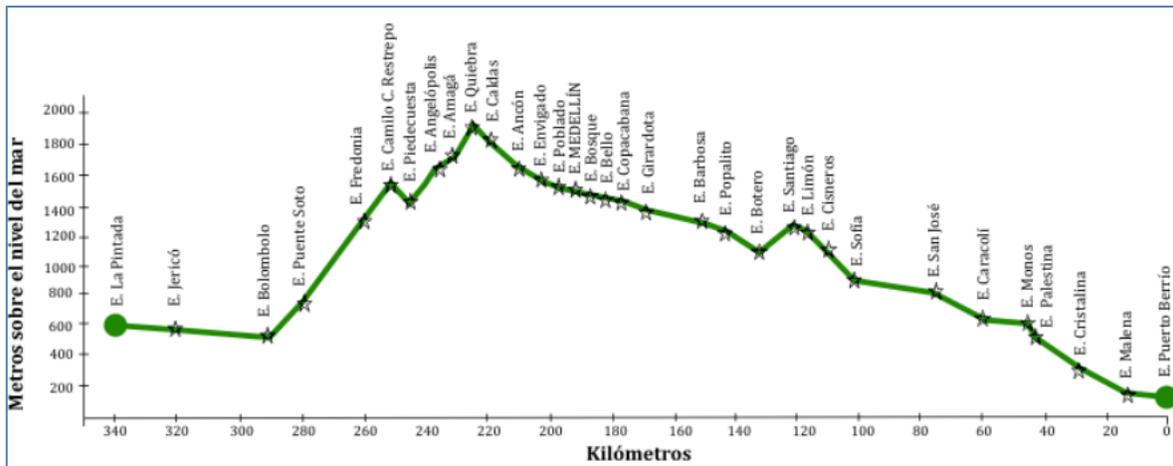
Como posibilidad de conexión de la zona noroccidental con el sistema ferroviario central, se encuentra el Ferrocarril de Antioquía (Puerto Berrio – Medellín), este ferrocarril fue originalmente pensado para comunicar a Medellín con un río navegable como el Magdalena, sin embargo la topografía escarpada de esta zona del país lo dificultó.

Las características técnicas para esta línea férrea consisten básicamente en pendientes máximas de 6 % y radios mínimos de curvatura de 70 metros; como constancia de las difíciles condiciones del terreno se encuentra el túnel de la Quebra²³, los 20 puentes y 5 viaductos que conforman este corredor.

Los tramos de mayor pendiente se encuentran entre las poblaciones de Limón y Sofía (entrada al túnel de la Quebra) del orden de 2.8 a 4.3 %.

²³ Túnel de La Quebra: considerada como la obra que permitió conectar completamente por ferrocarril a Puerto Berrio con Medellín, esto sucedió a finales de la década de 1920.

Figura 3-4 Perfil topográfico de las estaciones del ferrocarril de Antioquia [31]



3.6 Ferrocarril del Carare

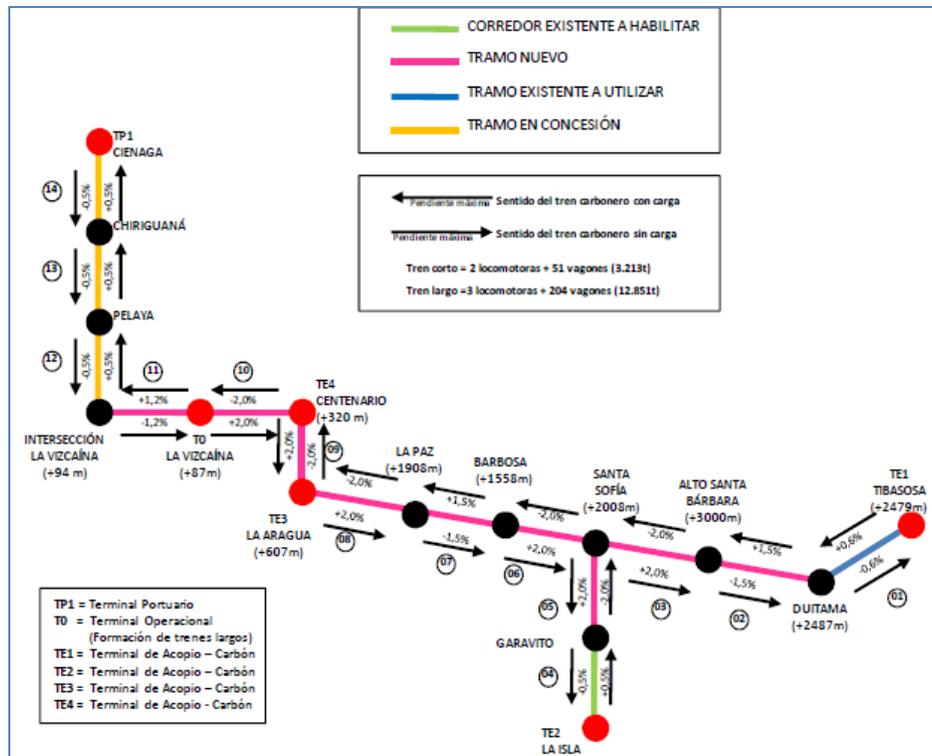
El proyecto Ferrocarril del Carare consiste en una alternativa para de conexión y traslado de carbón que se encuentra ubicado en las minas de los Departamentos de Boyacá, Cundinamarca y Santander con el río Magdalena y el sistema ferroviario central; para el diseño de este ferrocarril se utilizó como criterio principal la selección de una ruta que atienda la mayor cantidad de productores de la zona buscando minimizar las inversiones en vías de acceso y principales.

Se considera que el trazado propuesto es el más adecuado teniendo en cuenta que cualquier cambio en pendiente, reducción de longitud de los cantones²⁴, aumento de la longitud de las estaciones, entre otras no se considera técnica ni económicamente factible ya que traería un diseño nuevo con condiciones de longitud y pendiente de diseño más desfavorables.

Dentro del diseño geométrico se destaca los radios de curvatura de mínimo 200 y máximo 500 m, pendientes longitudinales no superiores al 1.8 % y mantener el ancho de trocha en 914 mm para hacerlo compatible con la red férrea del Atlántico y el Sistema Ferroviario Central. En la Figura 3-5 se presenta el esquema de este corredor.

²⁴ Un cantón es un tramo de vía férrea en el que normalmente no puede haber más de un tren, para así evitar una colisión entre dos de ellos.

Figura 3-5 Esquema del Trazado del FFCC del Carare por Odebrecht-Camargo Correa [33]



En la Figura 3-6 se encuentra la ubicación geográfica de los sitios mencionados anteriormente. Como se puede observar, la mayoría de estos se hallan en la región central del país, así como también muy cerca de las principales ciudades Bogotá, Cali y Medellín, los mayores centros de consumo y donde se concentra la mayor parte de la población, mientras que los puertos se encuentran en los extremos norte y occidente de la Nación.

Superar estas características topográficas a través de un ancho de trocha mayor, considerando que un significativo número de tramos férreos construidos en el país están distribuidos en toda la geográfica colombiana y dentro del trazado de ellos se ubican la mayoría de estas barreras implica que el llevar a cabo un ajuste en el ancho de trocha se deban evaluar otros aspectos relacionados con todos los elementos que conforman las vías férreas tales como, terraplenes, traviesas, aparatos de vía, obras hidráulicas, puentes, túneles, gálibos y zonas de derechos de vía de cada línea, los cuales se encuentran adaptados a trocha de 914 mm, así mismo se debe tener en cuenta las difíciles condiciones geológicas en las cuales se ubican algunos de estos puntos los cuales son drásticamente afectados en temporada invernal.

Figura 3-6 Ubicación en el contexto Nacional de los puntos geográficos que regulan la escogencia del material rodante²⁵ [19]



3.7 Variantes

La implementación del ancho de trocha estándar sobre las líneas férreas existentes del país requiere de trazados con curvas muy amplias y pendientes lo más reducidas posibles, del orden del 4 a 5 %, esto obliga a realizar grandes inversiones iniciales en la nueva construcción las cuales se manifiestan en actividades tales como desmontes de terreno, viaductos y túneles produciendo así grandes movimientos de tierras y rocas muy superiores a los de la construcción de líneas en trocha angosta sin embargo, en el largo plazo obras como los túneles generan menores costos de mantenimiento de la vía con respecto al mantenimiento por ejemplo de taludes; en el caso particular de la línea férrea Chiriguaná - Santa Marta se requiere la ampliación de un número importante de pontones.

El paso de líneas férreas por poblaciones genera inconvenientes dado que estas produce cortes en dos del paisaje existente separando ecosistemas, fauna y dificultando el paso de personas e incluso de vehículos; para mitigar esta situación se plantea la posibilidad de construir los corredores alejados de los núcleos urbanos y de área naturales que requieran de especial protección, éstas variantes ayudan a alejar las emisiones de gases y ruido de las poblaciones así como a minimizar el número de accidentes que se presentan por la presencia constante de tránsito de trenes en la vía. Así mismo modo, en algunos casos las variantes permiten mejorar las

²⁵ Construcción propia a partir de varias fuentes.

características geométricas de los trazados de los corredores donde las características de la topografía son más exigentes.

Algunas variantes que han sido contempladas inicialmente para evitar el paso por poblaciones de las líneas férreas colombianas son las siguientes:

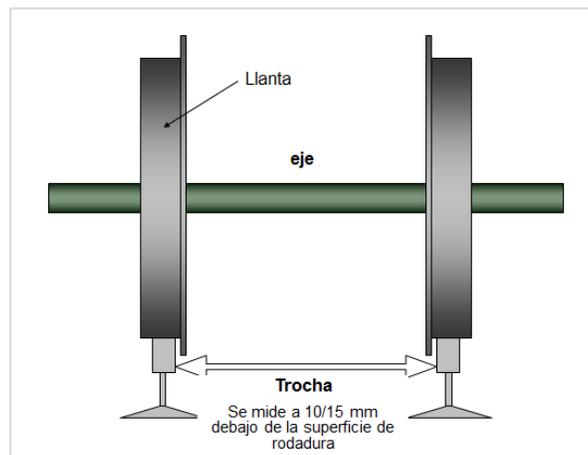
- Quebrada El Doctor – Mamatoco: propuesta por la Sociedad Portuaria Regional de Santa Marta, están fundamentada en la necesidad de permitir movilizar en tren hacia el puerto el carbón que hoy llega en camiones eliminando el paso del ferrocarril por la zona hotelera de Pozos Colorados en Santa Marta, ya ha sido aprobada la prefactibilidad por parte de la ANI. Incluye 16 Km de trazado y un tramo de 800 m de longitud y acceso por túnel al puerto.
- Yumbo – Palmira: para llevar a cabo la ejecución del proyecto Corredor Verde de Cali, la concesión ferrocarril del Pacífico ha propuesto la construcción de una variante para el tren de carga entre Yumbo y Cali; esta propuesta fue incluida por la ANI en los estudios de prefactibilidad así como en pasaron a la Agencia Nacional de Licencias Ambientales para la factibilidad ambiental.

Otras variantes han sido sugeridas son la de Fundación, Aracataca y Bosconia, tema que ha demorado la construcción de la segunda línea para La Loma – Santa Marta y una variante para el paso por el Municipio de La Dorada que permita la fluidez del tráfico férreo en el proyecto Sistema Ferroviario Central.

4. Parámetros en los que inciden la aplicación del tipo de trocha

Una de las características que diferencia principalmente el diseño de las vías férreas es la dimensión conocida como trocha la cual es la distancia entre las caras internas de las cabezas de los rieles, medida en un plano a 15 mm por debajo del tope de las cabezas de los rieles (Figura 4-1)

Figura 4-1 Trocha [32]



A lo largo de la historia y en diferentes países en los cuales se han construido ferrocarriles se ha empleado diferentes anchos de trocha, en la Tabla 4-1 se presenta un breve resumen de los anchos más utilizados y los lugares donde se encuentran:

Tabla 4-1 Anchos de trocha más utilizados en el mundo²⁶

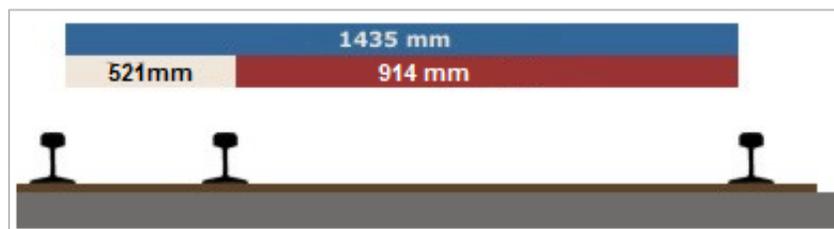
| Ancho de trocha (mm) | País en el cual se emplea |
|----------------------|---|
| 600 | <ul style="list-style-type: none">• Sistema Decauville en Portugal y Brasil• Ferrocarril turístico del Alto Llobregat en España• Chile en el extinto Ferrocarril Militar de Puente Alto hasta El Volcán, Cajón del Maipo• Argentina hasta 1960 en el Ferrocarril Económico Correntino con un recorrido de 180 Km |

²⁶ Construcción propia a partir de varias fuentes.

| Ancho de trocha (mm) | País en el cual se emplea |
|----------------------|---|
| 762 | Austria, Bosnia Herzegovina, Eslovaquia, Hungría, India, Polonia, República Checa, Rumania y Sri Lanka |
| 914 | Canadá, Colombia, Estados Unidos, El Salvador, Guatemala y Perú |
| 1000 | Continente Africano, Alemania, Argentina, Sudeste de Asia, Bangladés, Birmania, Bolivia, Brasil, Chile, España, Grecia, India, Irak, Pakistán, Portugal, Suiza y Vietnam |
| 1067 | Australia, Ecuador, Chile, Costa Rica, Ghana, Indonesia, Japón, Nigeria, Nueva Zelanda, Sudáfrica, Sudán y Terranova (hasta septiembre de 1988) |
| 1435 | Norte de África, Alaska, Argentina, Australia, Canadá, Chile (Metro de Santiago en todas sus líneas), Colombia (Ferrocarril del Cerrejón y Metro de Medellín), China, Corea del Norte, Corea del Sur, Estados Unidos, gran parte de Europa, Irán, Irak, Israel, Japón (Shinkansen), México, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela |
| 1520 | Mongolia, Rusia y en todos los países que formaban parte de la antigua Unión Soviética |
| 1524 | Finlandia y en Panamá (antes de 2000, ahora 1435 mm) |
| 1600 | Australia, Brasil e Irlanda |
| 1668 | España (a excepción de los trenes de la alta velocidad, que usa 1435 mm y otras líneas menores) y Portugal |
| 1676 | Argentina, Bangladés, Chile (EFE), India, Pakistán y Sri Lanka. |

Como se puede observar, varios tipos de ancho de trocha pueden estar presentes en un mismo país; en el mundo se ha venido implementado en diferentes ferrocarriles ya sea para el transporte de pasajeros como de mercancía ancho de trocha de 1.435 mm conocido como ancho de vía normal, trocha estándar, ancho internacional o ancho UIC, dimensión que fue normalizada en la conferencia de Berna de 1887. La trocha estándar ha sido adoptada en la mayoría de los países pues se ha asociado a mayores ventajas operativas como el mejoramiento del tráfico mixto (carga y pasajeros) y a repercusiones en una mayor competitividad de sus sistemas férreos en cuanto a integración regional capacidad de carga.

En el caso colombiano tal como se presenta en el Capítulo 1, el ancho de trocha empleado para la construcción de ferrocarriles corresponde a 914 mm conocido como ancho de trocha angosta o yárdica definición que comparte con otras trochas que son menores a la estándar; hoy en día toda la red férrea del país en operación que se dedica al transporte de carga o se encuentra inactiva aun la mantiene, la única línea férrea construida en Colombia que transporta carga con ancho de trocha de 1.435 mm es la línea del Cerrejón y que transporta pasajeros es el metro de Medellín; la Figura 4-2 presenta el diagrama de los dos tipos de trocha motivo de este documento.

Figura 4-2 Comparación de anchos de trocha [33]²⁷

La decisión para el desarrollo de la trocha angosta en el país como ya se nombró, estuvo básicamente asociada a los menores costos de construcción de líneas férreas y a la mejor adaptación a la topografía del país; era una época en la cual la velocidad era un parámetro de explotación secundario pues no había competencia entre los diferentes modos de transporte.

Actualmente el país intenta definir qué tipo de trocha es más conveniente para afrontar los diferentes escenarios presentados en el Capítulo 2 de este documento acerca de la necesidad de transportar grandes cantidades de mercancías y al mismo tiempo superar de manera eficiente la operación de los trenes de acuerdo con las condiciones topográficas que se describen en el Capítulo 3, pues este último aspecto constituye la más importante particularidad para los trazados de líneas férreas del país; es por ello que el Ministerio de Transporte de Colombia, se encuentra trabajando en un proyecto de resolución de un manual férreo en el cual se den las directrices de las especificaciones técnicas para el diseño, construcción, operación, control ferroviario, mantenimiento y seguridad ferroviaria; este proyecto se adelantó en el marco del contrato de consultoría 319 de 2012 por el consorcio EPYPSA-ARDANUY.

Los productos entregados por esta consultoría se unifican en dos documentos que conforman el Manual de Normativa Férrea – Parte I y II [34]; es importante destacar que para el desarrollo de este manual se revisó la normatividad férrea de los países presentados en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2 Normatividad considerada para el proyecto de manual de normatividad férrea para Colombia [34]

| Nº | País | Denominación de la norma |
|----|--------------|--------------------------|
| 1 | Norteamérica | AREMA |
| 2 | Norteamérica | AAR |
| 3 | UE y otros | UIC |
| 4 | España | ADIF Std. |
| 5 | Japón | Japanese Railway Std. |
| 6 | Francia | SNCF Std. |
| 7 | Alemania | DIN (FSF) |
| 8 | Reino Unido | British Standard |
| 9 | Australia | ARTC |

²⁷ Adaptación de la imagen original.

Como conclusión a esta revisión se encuentra que las Normas AREMA y AAR se orientan al transporte de mercancías mientras que las normas UIC se orientan al transporte de pasajeros; siendo estas tres las de mayor reconocimiento a nivel mundial y punto de partida para la estructuración de normatividad en otras regiones se señala que el manual colombiano se basará en las normas AREMA y AAR y UIC²⁸ dado que este pretende reunir los parámetros tanto para el transporte de carga como de pasajeros en Colombia.

Al centrarse en el transporte de mercancías para Colombia y la incidencia del tipo de trocha, el proyecto de manual de normativa férrea en la sección 6 enuncia lo siguiente [34]:

Artículo 19. La trocha deberá ser capaz de mantener operaciones de vehículo seguras y estables, dada la estructura del material rodante, la velocidad máxima diseñada y otros factores relevantes.

Artículo 20. La trocha de vía será del siguiente modo para asegurar la operación segura del material rodante, y tendrá en cuenta la estructura del material rodante, como la anchura, y registros de rendimiento pasado.

(1) La trocha para líneas férreas ordinarias existentes es de 1 yarda, (914.4 mm) y de 1435.0 mm, según la línea considerada.

(2) La trocha para líneas férreas de nueva construcción que forman parte de la Red Férrea Nacional será construida preferentemente en trocha estándar de 1.435 mm y, excepcionalmente y por causa justificada en trocha de 914.4 mm, según la decisión técnica que se determine. Sus parámetros característicos se determinarán y se justificarán en los proyectos particularizados realizados a tal efecto.

(3) Será posible la construcción de vías de trocha dual 914/1435 mm, aptas para ambos tipos de circulaciones, mediante la implantación de un tercer riel, según la decisión técnica que se determine y sus parámetros característicos se determinarán y se justificarán en los proyectos particularizados realizados a tal efecto.

(4) Se podrán emplear otros tipos de trocha, según la decisión técnica que se determine y sus parámetros característicos se determinarán y se justificarán en los proyectos particularizados realizados a tal efecto.

De acuerdo con lo anterior, el ancho e trocha en Colombia no estará determinado a un solo tipo y podrán emplearse de acuerdo con la evaluación técnica del proyecto; esto permite evaluar otros

²⁸ AREMA: American Railway Engineering and Maintenance of Way Association. Última actualización en el año 2012. Consta de 4 volúmenes (infraestructura, superestructura, pasajeros y administración de sistemas férreos)

AAR: American Association of Railroads

UIC: Union Internationale des Chemins de Fer. Engloba todas las normas aplicadas en España, Francia, Alemania y el Reino Unido entre otros

criterios para la escogencia de la trocha como lo son, la compatibilidad con la infraestructura que existe actualmente, la implementación de proyectos a futuro y la capacidad de carga requerida para atender la demanda.

4.1 Diseño geométrico

De acuerdo con los manuales de diseño de vías férrea se plantea que el empleo de la trocha de 914 mm se ajusta mejor a las condiciones de los terrenos montañosos y escarpados porque permite la aplicación de curvas de menores radios y estas a su vez admiten trazar perfiles con mayores pendientes longitudinales que son necesarias cuando se requiera cruzar obstáculos físicos como descritos en el Capítulo 3.

Sin embargo, también se indica en la literatura que este tipo de trazados penaliza aspectos asociados a la velocidad de operación, la carga máxima admisible transportada por el ferrocarril y la eficiencia del material rodante. Para cada uno de estos aspectos se considera lo siguiente:

4.1.1. Velocidad de operación

Aunque la velocidad es un aspecto importante en el transporte, en el caso de los ferrocarriles de carga el hecho de poder circular en vías exclusivas hace que se pueda lograr mayores eficiencias con velocidades no tan altas, pues al tener menos interferencias en la vía la velocidad media se mantiene constante; el caso colombiano más representativo es la línea férrea La Loma – Santa Marta administrada por Fenoco la cual opera a una velocidad media de 80 Km/h y 30 Km/h en pasos urbanos y cambiavías empleando trocha angosta.

Paralelamente, se refiere el proyecto de manual de normativa férrea sobre las velocidades de operación según el tipo de servicio [34]:

Artículo 147. Cada línea de la RFN²⁹ debe tener asignada una velocidad mínima de circulación o velocidad de proyecto que se fijará en función de los aspectos anteriores (Artículo 9)³⁰.

Artículo 148. Como niveles generales para líneas de nueva construcción, en función del tipo de servicio que se quiera prestar sobre ellas, se establecen los siguientes valores de velocidad de proyecto.

²⁹ RFN Red férrea nacional.

³⁰ Artículo 9. Se define la velocidad de equilibrio en curva como aquella para la cual, la dirección de la fuerza resultante del peso del vehículo y la fuerza centrífuga es perpendicular al plano de la vía. Por tanto, las componentes de la fuerza centrífuga y el peso en el plano de la vía están equilibrados. Si fuese posible operar todo tipo de tráficos a la misma velocidad en curva, la condición ideal de conducción suave y mínimo desgaste del riel se obtendría por simple equilibrio de fuerzas. Sin embargo, la vía en curva soporta varios tipos de tráfico diferentes circulando a distintas velocidades, generando que los trenes lentos produzcan un desgaste mayor del ordinario en el hilo bajo o riel interior, mientras que los trenes más rápidos causan un desgaste mayor en el riel exterior o hilo alto [33].

(1) La velocidad mínima de proyecto para nuevas líneas de tráfico de mercancías, excluidas las zonas de apartado y aparatos de vía u otras áreas en las que la velocidad esté restringida por condicionantes específicos como curvas de bajo radio en planta u otros, será de 50 km/h.

(2) La velocidad mínima de proyecto para nuevas líneas de tráfico de pasajeros, excluidas las zonas de apartado y aparatos de vía u otras áreas en las que la velocidad esté restringida por condicionantes específicos como curvas de bajo radio en planta u otros, será de 80 km/h.

(3) La velocidad mínima de proyecto para nuevas líneas de tráfico mixto, excluidas las zonas de apartado y aparatos de vía u otras áreas en las que la velocidad esté restringida por condicionantes específicos como curvas de bajo radio en planta, será de 60 km/h.

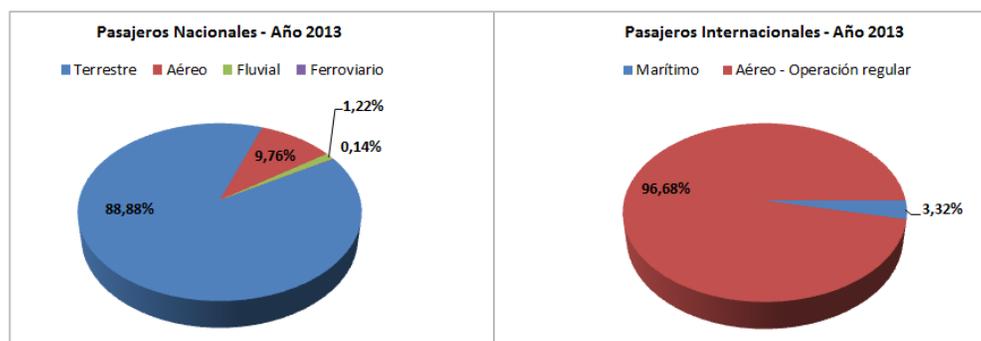
(4) La velocidad mínima de proyecto para nuevas líneas de altas prestaciones de pasajeros, excluidas las zonas de apartado³¹ y aparatos de vía u otras áreas en las que la velocidad esté restringida por condicionantes específicos como curvas de bajo radio en planta, será de 120 km/h.

De acuerdo con lo mencionado en el artículo 148 la velocidad para el transporte de carga que se registra en Colombia supera el valor mínimo solicitado en el caso del ferrocarril de Fenoco y en tramos como La Dorada – Vízcania se han registrado velocidades del orden de 50 Km/h, de acuerdo con lo solicitado por el proyecto de normativa.

Es importante aclarar que en la medida que se solicite aumentos en el valor de la velocidad de operación para los trenes de carga, esto trae consigo otras situaciones como que se requiera de distancias de frenado muchos mayores por ser trenes más pesados y contar con estándares de seguridad más altos para evitar descarrilamientos y accidentes sobre todo en zonas donde hay presencia de poblaciones.

En el caso en que se considera la vía férrea para transporte de pasajeros es preciso evaluar el aumento en las velocidades de operación, pues este resulta ser un factor determinante para competir con el transporte de pasajeros en otros modos; en Colombia el transporte de pasajeros en modo férreo tiene una baja participación (Gráfica 4-1) ya que este modo está limitado su uso entre otras particulares por los trazados de las rutas en operación las cuales no responden a la ubicación de la demanda de pasajeros.

³¹ Zona de apartado: vía férrea corta empalmada a una vía principal en uno o más puntos, que se utiliza para mover vagones con objeto de descargar la vía principal o para aparcar temporalmente el material móvil.

Gráfica 4-1 Participación del modo férreo para el transporte de pasajeros³² [15]

Como estrategias para el transporte de pasajeros que involucren la habilitación de líneas férreas se tienen contemplado lo siguiente [35]:

- En Bogotá a través de E.P Regiotram: Torrescamara – Vossloh – Concreto los corredores estación de la Sabana – Soacha y Estación de la Sabana – Facatativá para rehabilitación, mantenimiento, operación y explotación del corredor férreo para el transporte de pasajeros; adicionalmente se ha contemplado los tramos férreos en la carrera 68, carrera Séptima y la diagonal entre la Séptima y la 26.
- Calarcá – Ibagué, Urbaconsult: construcción, mantenimiento y explotación de la ferropista entre Armenia e Ibagué para el transporte de vehículos livianos y pesados, incluye túnel de 35 Km
- En Medellín se construirá el Tranvía Ayacucho y sus dos cables, este proyecto de la Alcaldía de Medellín, gerenciado por el METRO, beneficiará a 350 mil personas de la zona Centro Oriental de Medellín (comunas 8 Villa Hermosa, 9 Buenos Aires y 10 La Candelaria). La obra consiste en la implementación de tres nuevas líneas totalmente integradas al METRO: un Tranvía de 4.3 km, desde la estación San Antonio de la Línea A hasta el barrio Alejandro Echavarría. [36]

4.1.2. Carga máxima admisible transportada

En la literatura se indica que el peso máximo de carga por vagón en trocha angosta se reduce casi a la mitad en comparación con la trocha estándar haciéndola menos eficiente en términos de Ton/Km; mientras un vagón de trocha estándar mueve en promedio 70 a 85 toneladas métricas, un vagón de trocha angosta mueve máximo 40 toneladas métricas de carga. [18]

No obstante otros autores [39] destacan que si bien el mayor ancho de trocha permite vagones de mayor tamaño, no hay una correlación directa entre la trocha y el peso transportado por los trenes, ya que en el peso de las cargas también influyen factores relativos al peso por eje admitido

³² *Pasajeros en modo terrestre nacional. Dato proyectado por la Subdirección de Transporte con base en serie histórica y reportes de terminales [74].

**Pasajero en modo marítimo internacional. Corresponde al movimiento de arribo de pasajeros cruceros internacionales por el puerto de Cartagena.

de la vía, el número y la potencia de las locomotoras, y el tipo de enganches³³ entre vagones. En lo que respecta a las cargas netas transportadas por tren esto se evidencia precisamente en la línea férrea La Loma – Santa Marta, en los cuales se emplean 20 trenes por día con un promedio de 125 vagones cada uno y han llegado a transportar 45 millones de toneladas en 2013 [1], cantidades bastante significativas que llegan a competir con trenes de otros países de la región. A continuación en la Tabla 4-3 se presentan otros ejemplos de Latinoamérica para comparar el caso colombiano.

Tabla 4-3 Ferrocarriles de América Latina con mayores cargas transportadas³⁴ [39].

| Ferrocarril | Trocha | Extensión (Km) ^I | Peso por Eje (Toneladas) ^{II} | Vagones de mayor carga (Toneladas) ^{III} | Trenes de mayor capacidad de arrastre ^{IV} |
|---|-------------------------|-----------------------------|--|---|---|
| Estrada de Ferro Carajás (Brasil) | Ancha (1,600 mm) | 892 | 33,5 | 111 | 330 vagones/tren x 111 t/vagón= 36,630 t |
| Ferrocarril Mexicano, Ferromex (México) | Estándar (1,435 mm) | 8,3 | 32,5 | 100 | 100 vagones x 100 t/vagón= 10,000 t (granos) |
| Ferrocarriles del Norte de Colombia, Fenoco Drummond | Angosta (914 mm) | 245 | 16 | 48 | 130 vagones/tren x 50 t/vagón=6,500 t (carbón) |
| Prodeco – CMR | | | 20 | 60 | 104 vagones/tren x 60 t/vagón=6,240 t (carbón) |
| Nuevo Central Argentino, NCA (Argentina) | Ancha (1,676 mm) | 3,209 | 20 | 55 | 72 vagones/tren x 55 t/vagón=3,960 t (granos) |
| Ferrovial Oriental, FO (Bolivia) | Angosta (1,000 mm) | 1,244 | 18 | 40 | 60 vagones/tren x 40 t/vagón=2,400 t (granos) |
| Belgrano Cargas (Argentina) | Angosta (1,000 mm) | 7,347 | 17 | 45 | 45 vagones/tren x 45 t/vagón=2,025 t (granos) |
| Ferrocarril del Pacífico S.A., Fepasa (Chile) | Ancha (1,676 mm) | 1,721 | 20 | 48 | 40 vagones x 48 t/vagón=1,920 t (celulosa) |
| Ferrocarril Central Andino (Perú) | Estándar (1,435 mm) | 490 | 24,5 | 75 | 15 vagones x 75 t/vagón=1,125 t |

³³ Enganche: Hace referencia al acoplamiento de los vagones y es un factor genera ineficiencia en la operación de los trenes en el caso de ser manual pues presenta un menor esfuerzo a la rotura, permitiendo menores longitudes y tonelajes por tren y obliga a operaciones manuales lentas y costosas en comparación con el enganche automático entendiéndose se esté como el acoplamiento mecánico entre uñas de la cabezas de enganche. [67]

³⁴ I Las redes que efectivamente están en operación pueden ser menores.

II Se trata del peso por eje máximo de cada ferrocarril. Distintos sectores de un mismo ferrocarril pueden poseer pesos por eje menores.

III Valores aproximados, indicativos de los tráficos más “pesados”.

IV Valores aproximados correspondientes a las prácticas operativas vigentes. En general, corresponden a los tráficos más usuales de mayor peso por vagón y mayor número de vagones por tren.

| Ferrocarril | Trocha | Extensión (Km) ^I | Peso por Eje (Toneladas) ^{II} | Vagones de mayor carga (Toneladas) ^{III} | Trenes de mayor capacidad de arrastre ^{IV} |
|--|---------------------|-----------------------------|--|---|--|
| | | | | | (cemento) |
| Perú Rail (Perú) | Estándar (1,435 mm) | 1,075 | 20,8 | 64 | 16 vagones x 64 t/vagón=960 t (concentrado de cobre) |
| Administración de Ferrocarriles del Estado (Uruguay) | Estándar (1,435 mm) | 1,631 | 18,0 | 35 | 24 vagones x 35 t/vagón=840 t (cemento) |

Como se observa existen otros trenes en Latinoamérica contruidos en trochas de mayor longitud a la angosta (914 mm) que permiten mayor peso por eje y no llegan a transportar la carga registrada por el ferrocarril Colombiano, en principio esta situación de la concesión Fenoco se debe en parte a la optimización del material rodante que se da, las buenas condiciones en que permanece la línea férrea, la especialización a la que se llevado este corredor para el transporte de carbón y el empleo de enganches automáticos que permite organizar 104 y 130 vagones de 48 y 60 toneladas respetivamente, completando por tren una carga total de más de 6 mil toneladas por envío, mucho mayor si se compara con el ferrocarril Nuevo Central Argentino de 72 vagones por tren y 55 toneladas por vagón que transporta granos el cual llega a casi 4 mil toneladas por tren y se traslada por trocha ancha pero dado que emplea enganches de tipo manual limita el número de vagones arrastrados, en este caso el ferrocarril de Fenoco es mucho más eficiente entre otras por aplicar de enganches de tipo automático que permiten formar trenes más largos, una estrategia poco mencionada en la literatura y fundamental para el desempeño de un tren.

No obstante, es importante indicar que está línea férrea se encuentra ya saturada y por lo tanto la necesidad de culminar la segunda línea en su totalidad; se ha proyectado que con la operación completa de la doble línea se pueda llegar a transportar por este corredor un estimado de 87 millones de toneladas al año, cifra que incluye el transporte de otro tipo de otros productos.

4.1.3. Ajuste en la infraestructura por cambio de ancho de trocha

El ajuste de trocha a una de mayor ancho a través de la construcción ya sea para migrar a ancho de trocha estándar o para la implementación de un tercer carril que permita la utilización de los tipos de trocha, genera principalmente una súper elevación proporcional en la trocha angosta superior a la ideal para este. En consecuencia, debe verificarse el centro de gravedad del vagón de trocha angosta para evitar descarrilamientos. [40]

- En algunos casos es necesario reducir levemente el tonelaje cargado de los vagones.
- Hay un mayor desgaste del riel interno de la trocha angosta por la súper elevación.
- El riel que sirve a las dos trochas debe recibir una inspección especial.
- Los aparatos de vía son más complejos y costosos.

4.2 Material rodante³⁵

Sobre la aplicación de material rodante para la trocha angosta (914 mm) se indica que se requiere realizar pedidos previos para su construcción, mientras que para material rodante que se ha usado en trocha estándar este tiene un mayor alcance comercial dado que su empleo está más extendido en diferentes regiones del mundo y por lo tanto no presenta problemas de fabricación.

Aunque el empleo de material rodante adaptado para otros tipos de trocha diferente al estándar puede suponer sobre costos adicionales y que en el caso colombiano el material rodante existente es en general antiguo (más de 25 años de servicio) que requiere proponer esquemas de renovación para modernizar la flota estrategia que se liga a un cambio de trocha, esto no indica que el mercado no pueda responder a la necesidad de fabricación de estos equipos pues otros países fuera de la región como Sudáfrica, Australia e India emplean trocha angosta y mantienen material rodante con buenos estándares internacionales, así mismo en Latinoamérica existen aún un aproximado de 40.000 Km de vía angosta extendidos en países como Argentina, Chile y Bolivia, (Tabla 4-4) y aproximadamente el 20% del total de las líneas férreas del mundo corresponde a la utilización de la trocha angosta, por lo tanto el mercado no está agotado.

Tabla 4-4 Kilómetros para cada ancho de trocha en América Latina [38]

| País | Longitud en Km | | | | | | | Total |
|-----------|----------------|--------|---------|---------|-----------------|--------------|---------|-------|
| | Trocha angosta | | | | Trocha estándar | Trocha ancha | | |
| | < 914 mm | 914 mm | 1000 mm | 1067 mm | 1435 mm | 1600 mm | 1676 mm | |
| Argentina | | | 10655 | | 2772 | | 20584 | 34011 |
| Brasil | 202 | | 25784 | | 194 | 3472 | | 29652 |
| Bolivia | | | 3628 | | | | | 3628 |
| Chile | | | 1163 | | | | 1991 | 3154 |
| Colombia | | 3328 | | | 150 | | | 3478 |
| Paraguay | | | | | 441 | | | 441 |
| México | | | | | 17787 | | | 17787 |
| Perú | | | 263 | | 1622 | | | 1885 |
| Panamá | | | | | 73 | | | 73 |
| Uruguay | | | | | 1641 | | | 1641 |
| Venezuela | | | | | 804 | | | 804 |

³⁵ [69] Material rodante ferroviario se denomina a todo aquel que es apto para circular sobre las líneas férreas (UNE 25-087-74). Se puede clasificar en dos grandes grupos:

- Material motor: el provisto de motor para su autopropulsión y/o para tracción de material rodante. Locomotoras
- Material remolcado: es aquel que para su desplazamiento necesita ser enganchado a material motor. Vagón para mercancías, coches para pasajeros (llamado así en algunos países).

| País | Longitud en Km | | | | | | | Total |
|--------------|----------------|--------|---------|---------|-----------------|--------------|---------|--------------|
| | Trocha angosta | | | | Trocha estándar | Trocha ancha | | |
| | < 914 mm | 914 mm | 1000 mm | 1067 mm | 1435 mm | 1600 mm | 1676 mm | |
| TOTAL | 45023 | | | | 25484 | 26047 | | 96554 |

Muestra de ello, es la llegada de la firma británica Holdtrade³⁶ a Colombia quienes fabricarán material rodante para trocha angosta adaptado a las condiciones de topografía del país y que se empleará en la renovación del sistema férreo central y por el cual se espera transportar en el tramo la Dorada-Chiriguaná carbón, petróleo, petroquímicos, vehículos y agroindustria así como por el tramo Bogotá-Belencito cemento y calizas.

Este tipo de situaciones no es la primera vez que se dan en Colombia ya que para el año de 1919 ingeniero ingles P.C. Dewhurst traído al país por solicitud del gobierno, diseño y modifico locomotoras Kinston Meyer del ferrocarril de Girardot, la modificación que les hizo P.C. Dewhurst fue colocarle los cilindros al frente de tal forma se mejoraba su capacidad de carga; del mismo modo para el material rodante del ferrocarril del Pacifico que comunicaba el puerto de Buenaventura con Cali y por consiguiente se conectaba con el ferrocarril de Antioquia para llegar a Medellín tenía fuertes curvaturas y pronunciadas pendientes lo que lo convertían después del de Girardot como el ferrocarril más difícil de construir en Colombia. De tal forma que necesitaba una locomotora eficiente, capaz de soportar las curvas cerradas, de capacidad suficiente para subir las montañas y económica. Fue así como se creó la locomotora estándar colombiana, la conocida docerruedas 4-8-0, esta máquina llevo en 1925, fue construida por Baldwin Locomotives Word. Rápidamente se convirtió en un éxito, ya que por su distribución de ruedas sobre peso la maquina en vez de perder velocidad en curva, esta aceleraba y no solo fue eso, también tenía gran capacidad de carga y agarre por la posición de los areneros³⁷, la maquina tenía unas líneas acordes nada desproporcionada, de tal forma que también se usó para trenes de pasajeros.

Fue tal el éxito de estas máquinas que el ferrocarril de Girardot exigió que se le agregasen máquinas de este tipo pero más pesadas y menos rígidas, esta nueva máquina se conoció como la clase Tolima y fue más exitosa en las líneas de Cundinamarca y Atlántico, las empresas que las construyeron fueron Baldwin, Skoda, Jean Sant Pierre, Kinston, Tubize, Scawartzkop FF, entre otras. [39]

Otro aspecto importante para tener en cuenta sobre el material rodante es contemplar la posibilidad de emplear locomotoras antiguas repotencializadas, este caso se presentó en noviembre de 2013 con la entrega de dos locomotoras U18 de tipo electro-diesel (U1823 y U1824, con una potencia nominal de 1800 caballos de fuerza (HP)) que se encontraban en la concesión

³⁶ El costo estimado de cada locomotora puede estar en alrededor de 3 millones de dólares, y cada vagón entre 2 y 3 millones de dólares, dependiendo de lo que vaya a transportar, petróleo o cemento. Las máquinas funcionan con diésel y electricidad, y podrán desarrollar una velocidad promedio entre 65 y 70 kilómetros por hora. [68]

³⁷ Practica realizada para generar rugosidad en el contacto riel – rueda.

del Atlántico y que se decidió entregar a la concesión del Pacífico para apoyar la movilización de trenes de carga en los tramos de montaña que cruzan la cordillera oriental buscando el Valle del río Cauca [40].

Del mismo modo las locomotoras diésel-eléctricas para trocha angosta permiten en la actualidad contar con máquinas de potencias similares a las empleadas en las líneas de trocha ancha y estándar.

Un caso particular que ha surgido en Estados Unidos es el transporte de trenes incluyendo vagones tipo double stack es decir, vagones que permiten el cargue de dos contenedores apilados, este tipo de uso muy especializado requiere del empleo de trocha estándar para garantizar la mayor estabilidad del tren ya que la trocha angosta tiene dificultades para lograr la estabilidad transversal requerida, también se requiere material rodante adaptado para mayores cargas, actualización de los gálibos de túneles y puentes para el permitir el paso de trenes de mayor altura. En Estado Unidos esta práctica se ha extendido dado que allí la electrificación de los trenes no se ha difundido aún y se presenta un alto tráfico pesado que ha conseguido optimizarse con esta práctica; otros países como India, Australia y China también han empezado a implementarla.

A continuación se presenta la estimación de los parámetros descritos anteriormente y la incidencia del tipo de trocha sobre estos.

Tabla 4-5 Caracterización de la influencia del ancho de trocha sobre los parámetros de para el diseño de líneas férreas.³⁸

| Parámetro / Tipo de trocha | Trocha angosta | Trocha estándar |
|---|--|---|
| Diseño geométrico | Condicionado por el tipo de terreno (plano, ondulado, montañoso y escarpado) en el cual se desarrolle. | |
| | Favorece la implementación de líneas de ferrocarril en tramos sinuosos y estrechos, permite radios de curvatura bajos y mayores pendientes, ajustándose mejor a la topografía. | Requiere de radios de curvatura amplios y bajas pendientes. Para terrenos montañosos y escarpados. Genera mayores movimientos de tierras y obras como túneles, puentes y viaductos. |
| Velocidad de operación - transporte de carga | Permite mantener una adecuada velocidad para la operación de los trenes. | Se mantiene el mismo rango de velocidades por el peso transportado |
| | 30 - 80 Km/h | 50 - 80 Km/h |

³⁸ Construcción propia a partir de varias fuentes.

| Parámetro / Tipo de trocha | Trocha angosta | Trocha estándar |
|---|---|---|
| Velocidad de operación - transporte de pasajeros | Resulta desfavorable, dado que la velocidad de operación es menos competitivo frente a otros modos. | Es más competitivo, frente a otros modos por ser más estable logrando alcanzar altas velocidades. |
| Carga máxima | No tiene correlación directa con cualquiera de los dos tipos de trocha | |
| | 16 - 20 Ton - eje | 22.5 Ton - eje |
| Material rodante | El mercado actual ofrece posibilidad de adquisición, sin embargo puede demandar mayores tiempos de adquisición. | Cuenta con una amplia oferta en el mercado. |
| Interconexión | La red férrea colombiana se encuentra construida en este tipo de trocha. | Se requiere la adecuación de la red férrea colombiana o la propuesta de puntos de interconexión donde se genere cambio de trocha. |

4.3.1. Métodos existentes para la interconexión de anchos de trocha diferentes

Se han desarrollado métodos para operar líneas férreas con material rodante construido para diferentes tipos de trocha. A continuación se presentan dos métodos para adecuar el material rodante a la vía férrea.

Sistemas de Cambio de Ancho Automático para Mercancías

- *Sistema ANGAC – Dispositivo de Cambio de Ancho Automático para Mercancías:* Se basa en el diseño de un nuevo bogie³⁹ de ancho variable que permita a un tren de mercancías circular libremente entre ancho métrico a superiores de una forma continua, sin necesidad de trasbordos o sustitución de ejes.

El bogie está formado por dos semi-bogies sujetos por una traviesa central. El objetivo consiste en liberar de complejidad en la medida de lo posible el bogie y pasar esto al cambiador. Es mucho más fácil para posteriores reparaciones ya que la ubicación del cambiador es fija y también abarata la fabricación del material rodante.

Tabla 4-6 Características del Sistema ANGAC [43]

| Característica | Valor |
|---------------------------|---------------------|
| Ancho de vía configurable | 1.000 mm – 1.676 mm |

³⁹ De acuerdo con [77] se define bogie como:

1. Conjunto de dos pares de ruedas montadas sobre dos ejes próximos, paralelos y solidarios que se utilizan en los vehículos ferroviarios de gran longitud.
2. Carro o eje al que se fijan las ruedas de un vehículo ferroviario, que soporta un vagón, el extremo de arrastre de una locomotora o un extremo del vehículo, y que puede pivotar bajo él. También se llama carretón o carretilla.

| Característica | Valor |
|---|-------------------------------|
| Capacidad de carga máxima | 25 toneladas/eje |
| Velocidad máxima | 120 km/h |
| Deformación máxima entre caras internas de ruedas | 2 mm |
| Diámetro de rueda | 760 mm – 1.000 mm |
| Empate | 1.600 mm – 1.800 mm |
| Coste de adquisición | 20% superior a bogie estándar |
| Coste de mantenimiento | 10% superior a bogie estándar |

Fuente: [41]

Figura 4-3 Posición ancho mínimo Sistema ANGAC. Fuente: [41]

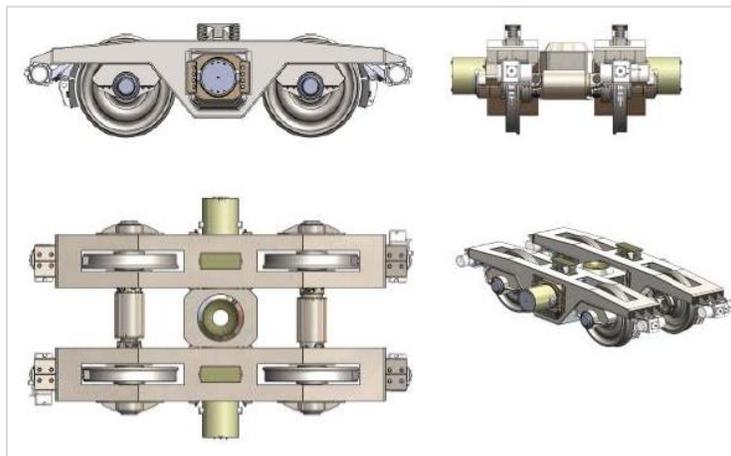
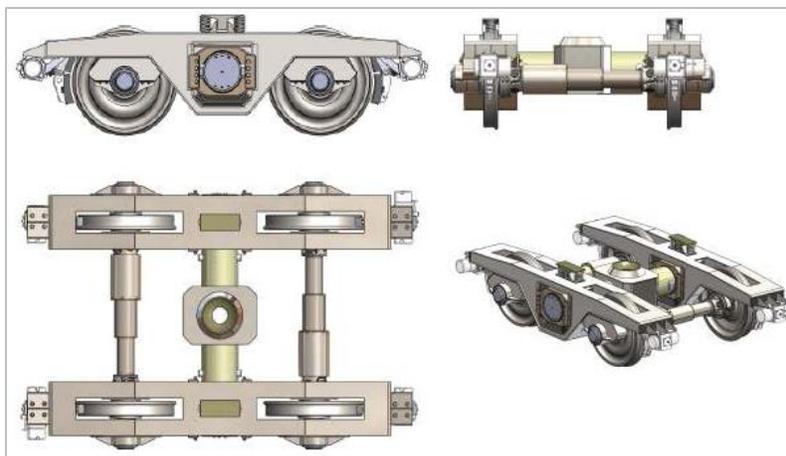


Figura 4-4. Posición ancho máximo Sistema ANGAC. Fuente: [41]

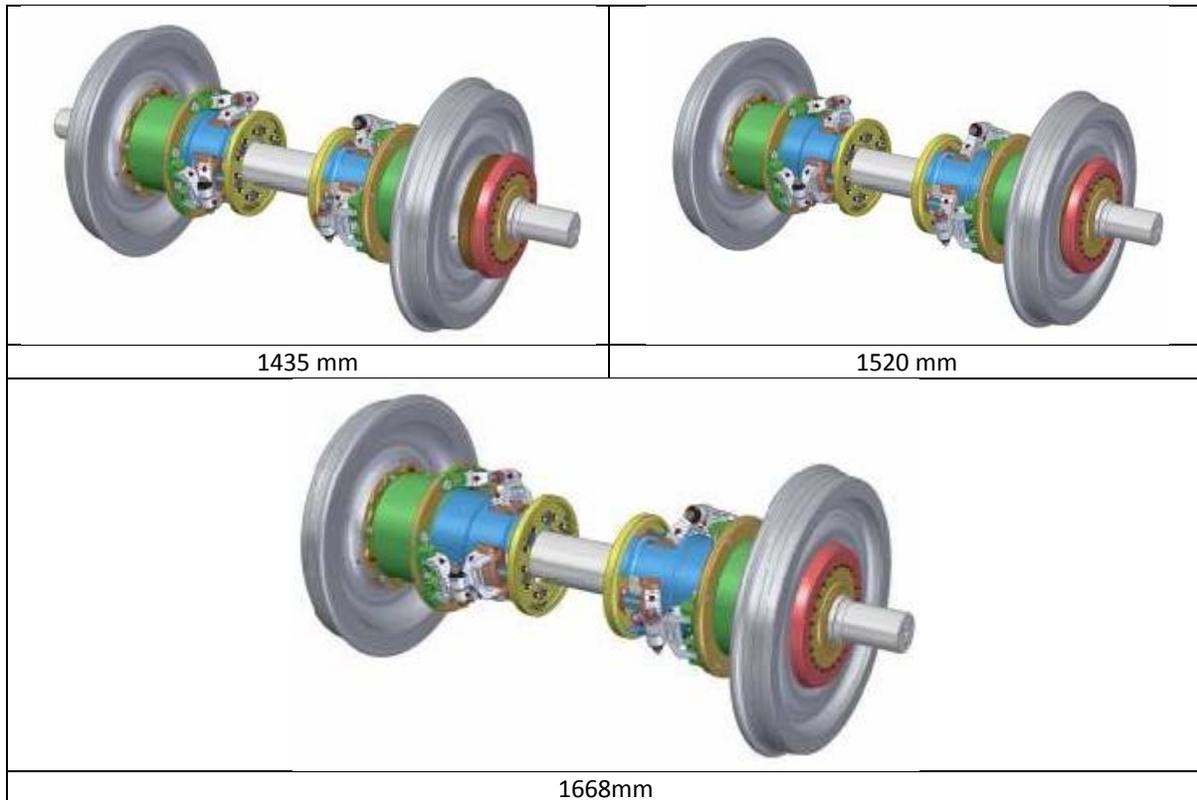


- *Sistema Europeo de Cambio de Ancho Automático ECASYS*: permite la interconexión de las redes ferroviarias actuales europeas de diferente ancho, 1435mm – 1520mm – 1668mm. Está constituido por un eje de ancho variable que se integra fácilmente en bogies existentes o vagones de dos ejes.

Habilita velocidades de circulación de hasta 200 km/h.

El sistema de bloqueo, por desplazamiento axial, no permite holguras y el cambiador de ancho es simple.

Figura 4-5. Posiciones Sistema ECASYS. Fuente: [41]



Adicionalmente, el intercambio de vagones resulta mucho más sencilla que en locomotoras y consiste, básicamente, en el reemplazo de un bogie (de una dimensión o trocha) por otro bogie (de otra dimensión). Menos frecuente y más difícil corresponde al cambio de ejes requerido por una locomotora para poder adaptarse a una nueva trocha. [42]

4.3.2. método de priorización de variables

Con el fin de revisar de los anteriores parámetros mencionados cuales determinantes para las líneas férreas a continuación se presenta un ejercicio basado en el método de priorización de variables basado en matrices [43]. Este modelo establece una forma de organizar los parámetros según la relación de dependencia e influencia. Los pasos a seguir fueron los siguientes:

a. Definición de variables:

Teniendo en cuenta lo presentado en el documento se plantean las siguientes variables a evaluar:

- Topografía

- Velocidad de operación
- Material rodante
- Interconexión

b. Construcción de la matriz.

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------------------------|---|---|---|---|
| 1 Topografía | | | | |
| 2 Velocidad de operación | | | | |
| 3 Material Rodante | | | | |
| 4 Interconexión | | | | |

c. Definición de la puntuación de acuerdo con la influencia.

- 0 = No influye
 1 = Influye poco
 2 = Influye mucho

Tabla 4-7 Matriz de priorización con las cuatro variables escogidas. ⁴⁰

| | | INFLUENCIA | | | | TOTAL |
|-------------|--------------------------|------------|---|---|---|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| DEPENDENCIA | 1 Topografía | | 2 | 2 | 2 | 6 |
| | 2 Velocidad de operación | 0 | | 1 | 0 | 1 |
| | 3 Material Rodante | 1 | 2 | | 1 | 4 |
| | 4 Interconexión | 1 | 1 | 2 | | 4 |
| | TOTAL | 2 | 5 | 5 | 3 | 15 |

d. Sumatoria total de la influencia

$$ST = 6 + 1 + 4 + 4 = 15$$

| Xi | ST | xi/ST |
|----|----|-------|
| 6 | 15 | 0,40 |
| 1 | 15 | 0,07 |
| 4 | 15 | 0,27 |
| 4 | 15 | 0,27 |

⁴⁰ Construcción propia a partir de [40]

e. Valores de dependencia

| |
|-----------|
| yi |
| 2 |
| 5 |
| 5 |
| 3 |

f. Cálculo de los promedios

- Promedio Influencia

$$(0.40 + 0.07 + 0.27 + 0.27)/4 = 0.25$$

- Promedio dependencia

$$(1 + 5 + 5 + 3)/4 = 3.75$$

Límite Superior Influencia = **LS-I** = 0.40

Límite Inferior Influencia = **LI-I** = 0.07

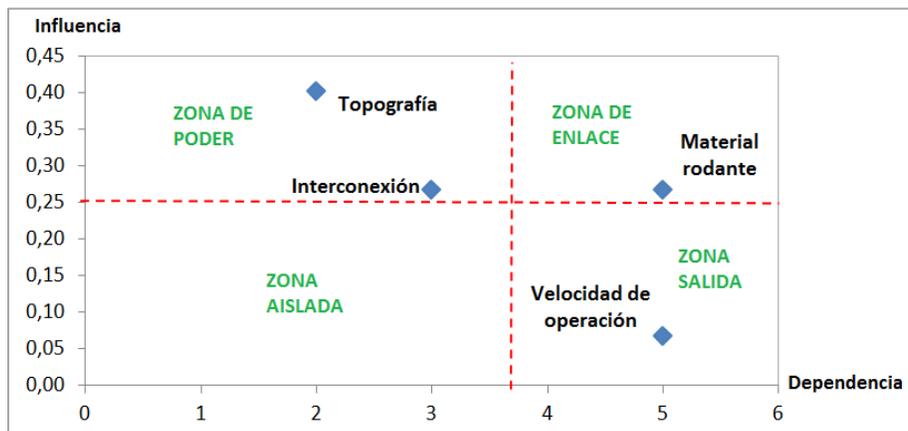
Límite Superior Dependencia = **LS-D** = 5

Límite Inferior Dependencia = **LI-D** = 1

g. Cuadro de valores para el análisis y construcción de la gráfica

| | Variables | | Promedios | |
|---------------------------------|-----------|---|-----------|------|
| | I | D | I | D |
| 1 Topografía | 0,40 | 1 | 0,25 | 3,75 |
| 2 Velocidad de operación | 0,07 | 5 | 0,25 | 3,75 |
| 3 Material Rodante | 0,27 | 6 | 0,25 | 3,75 |
| 4 Interconexión | 0,27 | 3 | 0,25 | 3,75 |

Gráfica 4-2 Identificación de los parámetros determinantes para las líneas férreas en Colombia.⁴¹



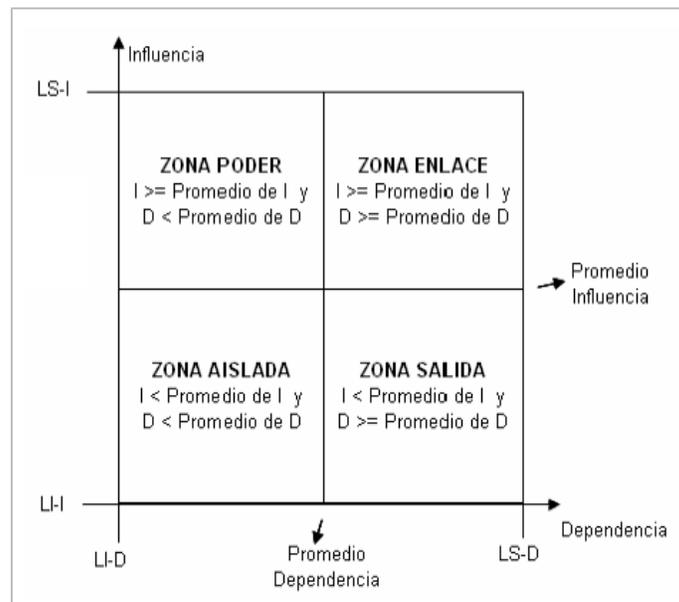
⁴¹ Construcción propia a partir de [40]

Al realizar este procedimiento, se observa que los parámetros se localizan en alguno de los cuatro cuadrantes, y cada cuadrante representa una característica particular para cada uno de los parámetros. [43]

- Los parámetros que son muy influyentes, pero poco dependientes, están en la zona de poder, y se debe a que es muy relevante dentro del proceso del proyecto, pero no establece relaciones de dependencia con los demás.
- Los parámetros que son muy influyentes y muy dependientes se establecen en la zona denominada de enlace, debido a las relaciones que crean entre los parámetros que influye y del cual es influenciado.
- Los parámetros muy dependientes y poco influyentes se ubicarán en el cuadrante de la zona de salida, ya que al ser dependientes de los demás, estos se resuelven por defecto al solucionar los parámetros ubicados en la zona de poder y de enlace.

Por último, los parámetros que no generan relaciones de dependencia, ni de influencia, se encuentran ubicados en la zona aislada.

Figura 4-6 Zonas de influencia-dependencia. [43]



Como se puede observar la topografía y la interconexión en definitiva son los parámetros más relevantes para la implementación de líneas férreas pues influye sobre el resto pero no depende de los demás parámetros; de otro modo el material rodante por sus características puede considerarse un parámetro de enlace dado que depende de los otros parámetros en mayor magnitud.

En cuanto a la velocidad de operación se resuelve a partir del análisis de la topografía y la interconexión.

4.3 Otras consideraciones

- Es necesario estimar al momento de evaluar las medidas para mejorar las características de las vías férreas además del cambio de trocha a estándar, revisar si las diferentes líneas férreas que componen la red han llegado o no a la capacidad máxima de transporte y en caso que no hayan llegado el cambio de trocha no tendría especial relevancia, en cambio se podrían mejorar con estrategias de rehabilitación y mantenimiento de la infraestructura y operación manteniendo el tipo de trocha actual, esto evitaría realizar grandes inversiones y luego tener una infraestructura subutilizada.

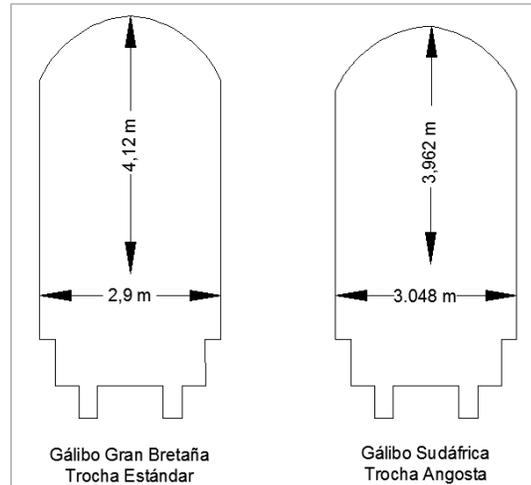
En el mismo sentido se debe revisar el estado actual de las exportaciones y la proyección de estas en el mediano y largo plazo con el fin de verificar la demanda que le permita al ferrocarril entrar en operación ya que el tren es viable cuando se trata de transporte en grandes distancias en caso contrario el transporte por carretera es mucho más óptimo.

Por ejemplo, la situación actual del ferrocarril de Pacífico evidencia que aunque se contará con trocha estándar y material rodante de mayores capacidades, está línea férrea estaría subutilizada pues allí el operador debe consolidar primero la demanda del mercado acercándose a otro tipo de mercancías que puedan ser transportados en ferrocarril y ofreciendo servicios que atraigan a los clientes hacia la intermodalidad con acceso directo al puerto de Buenaventura, prácticas que ya ha empezado a implementar.

- Hay que tener presente que existen otro tipo de mejoras de la operación que permiten el aumento de la capacidad de carga de la línea, entre ellas, construir una segunda línea (caso del ferrocarril de Fenoco), mejorar los sistemas de comunicación, implementar un mejor sistema de señalización y automatizar los cambiavías⁴², todo esto mejora las frecuencias de paso de los trenes y por consiguiente un mayor aprovechamiento de las vías.
- Un aparte para resaltar es el relacionado con los gálibos los cuales componen el indicador que determina el tamaño del material rodante en un tramo de la línea ferroviaria, este indicador es variable en todo el mundo; frecuentemente dentro de un sistema ferroviario único son independientes del tipo de trocha como por ejemplo, los gálibos de Sudáfrica que emplean trocha angosta pero las dimensiones de estas son mayores a la de los gálibos británicos estándar en el cual se emplea trocha estándar como se muestra en la Figura 4-7:

⁴² Cambiavías: denominados también como aparatos de vías son fundamentales en la operación ferroviaria ya que son el elemento que permite la vinculación entre vías.

Figura 4-7 Comparación de gálbos para dos tipos de trocha – Esquema⁴³ [46]



Por lo que se deduce que los gálbos de trocha angosta pueden adaptarse a modelos análogos para circulación de trenes de trocha estándar.

- El ferrocarril de trocha angosta ha presentado rendimientos similares a los de trocha estándar respecto a su operación; se presenta a continuación un resumen de las dos líneas férreas que tienen mayor participación en el transporte férreo de carga en Colombia el Cerrejón y La Loma Santa Marta (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.) y de las cuales ya se han mencionado algunos aspectos anteriormente.

Gráfica 4-3 Ubicación líneas férreas Chiriguana – Santa Marta y Cerrejón [44]



⁴³ Construcción propia a partir de varias fuentes.

Tabla 4-8 Resumen características ferrocarril el Cerrejón y La Loma - Santa Marta, Colombia⁴⁴

| Característica | Cerrejón | Fenoco |
|--|-----------------------------------|--|
| Ancho de trocha (mm) | 1435 | 914 |
| Trazado | Mina el Cerrejón – Puerto Bolívar | Ciénaga - Santa Marta |
| Longitud del tramo (Km) | 150 | 245 |
| Carga anual movilizada a corte de 2013 (Ton) [1] | 33 millones | 45 millones |
| Tipo de carga transportada | Mineral - Carbón | Mineral - Carbón |
| Configuración de trenes | Una locomotora y 130 vagones | Dos o tres locomotoras y 124 o 130 vagones |
| Velocidad de operación (Km/h) | 20 – 70 | 30 – 80 |

- Como ya se ha venido mencionado la interconexión de redes férreas es fundamental para la operación de los trenes esto se debe a que el empleo de un mismo tipo de trocha en general permite eliminar transbordos y modificaciones en las configuraciones de los trenes y esto a su vez trae disminución en los tiempos de viaje de la mercancía; como ya se presentó anteriormente el escenario para Colombia es que se encuentra construida toda la red en trocha angosta excepto el tramo Cerrejón construido en trocha estándar y que no requiere una conexión inmediata con el resto del país dado que ha sido manejado con un carácter netamente privado y no permite el uso por parte de terceros de la línea.

Hay casos exitosos como en India y Brasil donde existen los dos tipos de trocha con el doble objetivo de alcanzar la optimización económica y la compatibilidad operacional; en India se ha instalado la trocha teniendo en cuenta el tráfico, la intensidad de este y la situación de la red vial y por ello se ha mantenido la trocha angosta en algunas partes del país.

Para mantener diferentes tipos de trocha en el país existen además una serie de alternativas para analizar como la implementación de un tercer riel, construcción de instalaciones especializadas en el transbordo de contendores entre trenes con diferentes trochas y sistemas de cambio de ancho automático los cuales consisten en la adaptación de los bogies⁴⁵ que lleva el material rodante y le permite circular libremente entre anchos diferentes de una forma continua, sin necesidad de trasbordos o sustitución de ejes.

De igual modo, cuando los ferrocarriles no se encuentran interconectados es muy difícil pensar en una tarifa unificada.

- Del mismo modo es necesario evaluar la posibilidad de enlace internacional, respecto a este tema Colombia cuenta con las siguientes posibilidades de conexión: con Venezuela, país que tiene trocha estándar y cuya conexión ya estuvo en servicio a través del ferrocarril de Cúcuta y

⁴⁴ Construcción propia a partir de varias fuentes.

⁴⁵ Bogie: Estructura en la que se alojan los ejes y sobre la que se apoya la caja.

con Ecuador, donde existe trocha angosta; esta última le permitiría una mayor integración regional.

- La estimación de costos realizada por el consorcio EPYPSA – ARDANUY para el Estudio de viabilidad y conveniencia del cambio de trocha estándar y sus impactos en el transporte de pasajeros [45] arrojó los siguientes valores (Tabla 4-9) de acuerdo con el tipo de terreno⁴⁶ en el cual se lleven a cabo las actividades de rehabilitación y construcción:

Tabla 4-9 Cuadro resumen de macroprecios por Km⁴⁷ [45]

| Tipo de obra | Costo / Km (Miles de US\$) | | |
|---|----------------------------|------------------|-------------------------|
| | Plano | Ondulado (Medio) | Montañoso (Accidentado) |
| Línea nueva en trocha yárdica sencilla | 976 | 2.785 | 8.153 |
| Línea nueva en trocha estándar sencilla | 1.125 | 3.258 | 9.594 |
| Rehabilitación (yárdica o estándar) | 990 | 1.533 | 2.594 |

La mayor variación de precios se encuentra para las alternativas de construcción de línea nueva en trocha estándar y yárdica en terrenos ondulados y montañosos con respecto a la rehabilitación de línea para los dos tipos de terrenos; a partir de estos datos se calcularon los costos totales estimados de inversión para la construcción total de la red férrea colombiana en trocha estándar, los cuales arrojaron como resultado a un aumento del 86 % respecto a la inversión para hacer la rehabilitación de la misma (Tabla 4-10).

Tabla 4-10 Costos totales de construcción⁴⁸ [45]

| Alcance | Costo en millones de US\$ (Año 2012) |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| Rehabilitación | 7.809 |
| Construcción en trocha yárdica | 11.980 |
| Construcción en trocha estándar | 14.554 |

Teniendo en cuenta las anteriores cifras es inevitable y preciso revisar las inversiones que el Gobierno Nacional ha venido realizando en temas de infraestructura férrea como se presenta a continuación:

⁴⁶ Pendientes longitudinales por tipo de terreno. Plano: menores de tres por ciento (3%); ondulado: entre tres y seis por ciento (3% - 6%) y montañoso: entre seis y ocho por ciento (6% - 8%). [63]

⁴⁷ Elaboración con base en datos del Ministerio de Transporte y bases oficiales de macroprecios de una administración ferroviaria española (ADIF).

⁴⁸ Se excluye de este cuadro la alternativa de construir la red férrea del país en trocha estándar, exceptuando el tramo Chiriguaná – Santa Marta la cual seguiría operando en trocha yárdica hasta la fecha de terminación del plazo actual de la concesión, dado que la variación con respecto a la construcción total es de US\$ 238 millones 1.6 % del costo de la construcción total.

Tabla 4-11 Inversión pública en el sector transporte - precios corrientes⁴⁹ [15]

| Año | Ítem | Carretero | Férreo | Total |
|------|--------------|-----------|---------|------------------|
| 2007 | Apropiación | 2.557.212 | 6.696 | 2.877.952 |
| | Compromisos | 2.486.301 | 4.013 | 2.790.256 |
| | Pagos | 1.792.545 | 3.907 | 2.027.244 |
| 2008 | Apropiación | 1.901.205 | 47.592 | 2.331.539 |
| | Compromisos | 1.867.236 | 44.160 | 2.278.759 |
| | Pagos | 1.433.227 | 39.752 | 1.709.102 |
| 2009 | Apropiación | 2.899.684 | 125.408 | 3.527.298 |
| | Compromisos | 2.865.225 | 21.129 | 3.356.097 |
| | Obligaciones | 2.614.700 | 20.692 | 3.001.025 |
| | Pagos | 2.081.420 | 20.597 | 2.421.551 |
| 2010 | Apropiación | 2.938.011 | 205.863 | 3.788.438 |
| | Compromisos | 2.865.688 | 30.341 | 3.462.364 |
| | Obligaciones | 2.301.537 | 29.131 | 2.785.109 |
| | Pagos | 1.981.016 | 28.707 | 2.405.661 |
| 2011 | Apropiación | 4.188.515 | 58.232 | 4.969.876 |
| | Compromisos | 4.072.314 | 35.587 | 4.715.702 |
| | Obligaciones | 3.611.200 | 35.194 | 4.038.061 |
| | Pagos | 3.099.720 | 35.061 | 3.380.090 |
| 2012 | Apropiación | 6.765.740 | 98.002 | 7.689.203 |
| | Compromisos | 6.645.175 | 42.902 | 7.302.372 |
| | Obligaciones | 6.073.645 | 41.024 | 6.577.419 |
| | Pagos | 4.999.586 | 35.622 | 5.332.073 |
| 2013 | Apropiación | 7.052.265 | 61.372 | 7.952.771 |
| | Compromisos | 7.030.133 | 61.348 | 7.870.856 |
| | Obligaciones | 6.553.736 | 34.710 | 7.327.178 |

⁴⁹Miles de millones de pesos.

[70] **Apropiaciones:** autorizaciones máximas de gastos que aprueba el Congreso y que deben ser comprometidas durante la respectiva vigencia fiscal. (principio de Anualidad). Después del 31 de diciembre, estas expiran y no pueden comprometerse ni modificarse.

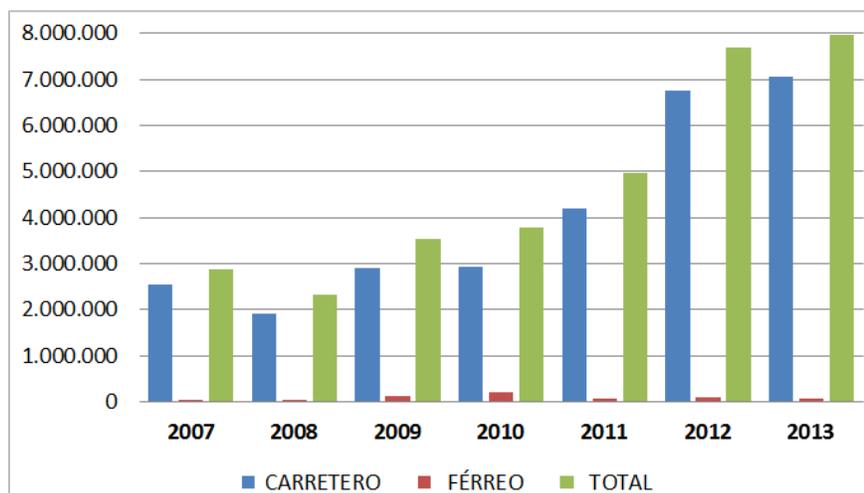
Compromiso: afectación que se hace al presupuesto cuando se suscribe un convenio o contrato, en los términos legales correspondientes. Las entidades deben comprometer los recursos apropiados entre el 1º de enero y el 31 de diciembre de cada año; los saldos de apropiación no afectados por compromisos, caducarán sin excepción.

Obligación: Los recursos comprometidos y que han desarrollado el objeto de la apropiación, generan obligaciones al ente público. Se trata del momento en que se reconoce una deuda o se promete su pago u otra prestación o entrega, como consecuencia del recibo a satisfacción del bien o servicio y de la liquidación del respectivo contrato.

Pago: Es la entrega del dinero o especie que se debe como consecuencia de la obligación legalmente contraída. Implica además, el cumplimiento de las formalidades legales establecidas en los compromisos y la disponibilidad de los recursos correspondientes (PAC). Cierra total o parcialmente la etapa de la ejecución presupuestal.

| Año | Ítem | Carretero | Férreo | Total |
|-----|-------|-----------|--------|------------------|
| | Pagos | 5.019.815 | 18.680 | 5.420.344 |

Gráfica 4-4 Presupuesto de apropiación anual para los dos modos de transporte de mercancías predominantes en Colombia. [15]



En la Tabla 4-11 y la Gráfica 4-4 se señalan las inversiones públicas realizadas en Colombia para infraestructura férrea en los últimos siete años, estas cifras alcanzan un valor promedio del 7 % del presupuesto total asignado todos los modos, mientras que para carreteras las inversiones son del orden del 84 % con respecto al total, el 9 % restante corresponde a los valores para los modos fluvial, aéreo, marítimo donde la inversión también es muy baja.

Esto representa el sesgo que el gobierno nacional ha mantenido desde los años 30 a favor de las carreteras y su poco impulso para poner en marcha la infraestructura férrea que permita sacar adelante la demanda presentada en el capítulo 2.

Con estas cifras es difícil imaginar un plan de mejoramiento de la red férrea que además incluya el cambio de tipo de trocha a través de la reconstrucción total de la red nacional para lo cual se deben destinar grandes rubros presupuestales.

- Una característica de los proyectos de infraestructura es que sus costos de capital son elevados y, generalmente, requieren de una fuerte inversión inicial previa al período de operación. Estas inversiones se destinan al pago de obras, adquisición de tierras, equipos y gastos tales como estudios de factibilidad técnica, impacto económico, ambiental, entre otros. En este sentido la inversión inicial en proyectos de infraestructura adquiere un carácter importante, ya que se trata de recursos considerables que se encuentran en la frontera de la restricción presupuestal de los países e inversionistas privados. En esta etapa de financiamiento el reto es aplicar

vehículos financieros eficientes capaces de atraer suficiente capital –público, privado o externo– para el financiamiento de los proyectos. Una vez que un proyecto de infraestructura entra en operación se inicia una segunda fase de financiamiento, en la que deben subsanarse los costos de capital o de operación.

Estos proyectos de infraestructura son atractivos para la inversión en la medida que los productos a transportar tales como hidrocarburos y carbón, en el caso de las líneas férreas mantengan un buen precio en el mercado que genere necesidad de comercializarlos lo cual repercute en costos de construcción y mantenimiento bajos y tasas internas de retorno altas, las cuales hacen más deseable llevar a cabo dichos proyectos.

4.4 Casos colombianos

De igual manera, otros casos se han estudiado en Colombia como estrategias para mejorar las características de las líneas férreas existentes o nuevas a implementar, se presentan dos casos de mayor conocimiento en el país como lo son el Sistema Ferroviario Central y el Ferrocarril del Carare y se explican a continuación:

Sistema ferroviario central

De acuerdo con el Apéndice B. “Especificaciones técnicas de diseño, conservación, prerrehabilitación, rehabilitación, construcción, mantenimiento y reversión de la infraestructura férrea de la licitación pública” SEA – LP – 001 2008⁵⁰ se planteaba las siguientes velocidades de operación:

- Las obras y actividades de rehabilitación que adelante el Concesionario deberá permitirle obtener los siguientes resultados:
Permitir la circulación de trenes a las velocidades operacionales mínimas.

| Tramo | Velocidad (Km/h) |
|-------------------------|------------------|
| Dorada – Chiriguaná | 50 |
| Puerto Berrio – Cabañas | 30 |
| Dorada - Buenos Aires | 40 |

- En caso de que el Concesionario opte por la construcción de una variante férrea en La Dorada, las obras y actividades de construcción deberán permitirle obtener los siguientes resultados:
- Permitir la circulación de trenes a las velocidades operacionales mínimas de la variante La Dorada de 40 Km/h.

⁵⁰ La Licitación pública SEA – LP – 001 2008 proponía entregar en concesión: 1) la administración de la operación férrea, la explotación comercial y vigilancia de la infraestructura de transporte férreo 2) la prestación del servicio de transporte férreo de carga y de pasajeros; y 3) el diseño, prerrehabilitación, rehabilitación, construcción, mantenimiento y conservación de la infraestructura de transporte férreo; en el sistema férreo central, la cual fue revocada por la Resolución 104 de 12 de febrero de 2009.

En este caso los tramos en los cuales se solicitaba garantizar mayor velocidad están asociados a condiciones topográficas con menores pendientes y más rectos, mientras que para los tramos con condiciones montañosas se limita conforme a lo que se pueda manejar del terreno.

Ferrocarril del Carare

Como resultado del convenio de cooperación No. 3.497 suscrito el 31 de diciembre de 2007 entre el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), FENALCARBON y la constructora Norberto Odebrecht S.A. CNO, la cual se asoció con Construccoes y Comercio Camargo Correa S.A. -CCCC, dichas empresas brasileñas realizaron durante el año 2008 el Estudio de Prefactibilidad denominado “Logística Integral Carbonera del Altiplano Cundinoboyacense y Santander”.

En este estudio se determinó emplear trocha angosta para ser compatible con la línea férrea del Atlántico y el sistema ferroviario central, la velocidad de operación se estimó en 30 Km/h guardando relación con la especificación de un radio mínimo de 200 m.

En ambos casos la optimización del uso de la línea es combinada con otros factores tales como:

- Rehabilitación de líneas férreas existentes con construcción de líneas nuevas, de este modo se facilita la conexión entre tramos y se aprovecha los corredores ya instalados.
- Dado que la circulación de trenes se hace por corredores exclusivos, las limitaciones en cuanto a interferencias que detengan la conducción de estos es mínima siempre y cuando se garanticen las condiciones adecuadas de seguridad y comunicación, por lo tanto el transporte de carga es constante y se aprovecha mejor los tiempos de operación.

En términos generales, independientemente del tipo de trocha que se emplee, el uso del ferrocarril como medio masivo de transporte de carga permite obtener beneficios en términos económicos, ambientales y de seguridad vial.

El siguiente es un ejemplo básico acerca de la disminución de tráficos que se puede generar con el uso intensivo de trenes para el transporte de mercancías en trocha angosta.

La zona minera en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Santander presenta una producción de carbón promedio mensual de 579.811 para el año 2013.

Tabla 4-12 Producción por departamento trimestral – año 2013⁵¹ [46]

| Departamento | Toneladas | | | |
|--------------|-----------|---------|---------|---------|
| | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 |
| Boyacá | 609.344 | 733.982 | 532.629 | 847.373 |

⁵¹ Q1, Q2, Q3 y Q4 corresponde cada uno de los trimestres del año.

| Departamento | Toneladas | | | |
|-------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 |
| Cundinamarca | 777.179 | 589.620 | 332.052 | 709.545 |
| Norte de Santander | 301.804 | 454.319 | 460.730 | 469.785 |
| Santander | 25.770 | 48.328 | 10.159 | 55.120 |
| Total trimestre | 1.714.097 | 1.826.249 | 1.335.570 | 2.081.822 |
| Promedio mensual | 571.366 | 608.750 | 445.190 | 693.941 |

Un camión transporta en promedio 32 Toneladas, por lo tanto para trasladar el promedio mensual de carga de carbón producida por estos tres departamentos se requieren 18.119 vehículos al mes, lo que corresponde a 906 vehículos que deben estar en operación diariamente.

De otro modo con las especificaciones propuestas para el diseño de la línea férrea del Carare se tiene lo siguiente:

| Material rodante | |
|------------------------|----------------------------------|
| Velocidad de operación | 30Km/h |
| Carga por eje | 20,5 T |
| Formación de trenes | |
| En el altiplano | 51 vagones con dos locomotoras |
| Zonas concesionadas | 204 vagones con tres locomotoras |

Con la configuración de trenes sugerida para la zona del Altiplano y suponiendo un carga por vagón de 60 Toneladas se requieren 11 trenes diarios cada uno de los cuales puede transportar 3060 toneladas, para el caso de las red concesionada solo se requerirían 3 trenes diarios y toda esta carga se trasladarían por vías exclusivas sin afectar el tráfico de otro tipo de vehículos, contrario a lo que sucede con el empleo de camiones además el transporte de carbón aunque no realiza tantos viajes en el interior del país sí genera un mayor peso sobre la red vía y por tanto la importancia de migrarlo de las carreteras [47].

Esta es una característica relevante para que sea más eficiente el transporte en trenes de este tipo de productos pues no solo ayuda a disminuir el volumen de vehículos circulando por las carreteras sino también evita el deterioro drástico de los pavimentos y por ende los aumentos en inversiones de rehabilitación y mantenimiento para las vías.

En cuanto a los costos de transporte de mercancías, el caso particular del transporte de minerales desde Sogamoso hasta Santa Marta en el año 2014, se evidenciaría una reducción estimada del 78% en el valor Tonelada - Kilometro teniendo en cuenta los datos relacionados.

| Descripción | Carretero | Férreo |
|---------------------------------|------------|-------------------|
| Tipo de vehículo | Tractomula | Góndola granalera |
| Distancia estimada (Km) | 987 | 1091 |
| Capacidad de carga (Ton) | 32 | 28 |

| Descripción | Carretero | Férreo |
|-----------------------------------|-----------|--------|
| Costo (\$/Ton – Km) ⁵² | 161.84 | 35.80 |

Teniendo en cuenta los anteriores análisis, sí se empezará hoy con la ejecución del ferrocarril del Carare, se tendría superada la operación y el mejoramiento de costos en un horizonte de 15 años.

En general el Gobierno Colombiano espera una vez finalizadas las obras en las vías férreas presentadas en el capítulo 2 Numeral 2.2 y se reactive la navegabilidad del Río Magdalena, será posible reducir drásticamente el costo de transporte en los principales corredores nacionales y coloca como ejemplo, el costo de transportar un contenedor de Bogotá a la costa Caribe se reducirá de US\$ 2.500 que cuesta hoy en día a US\$ 1.500. [44]

4.5 Generalidades del transporte férreo

El uso del ferrocarril genera otro tipo de ventajas, se destacan la disminución del consumo de combustible y de la accidentalidad.

- Disminución el consumo de combustible con respecto al empleo de camiones. De acuerdo con la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Córdoba [48] se presenta el siguiente ejemplo:

| Ferrocarril | Consumo anual | Transporte Real | Rendimiento por litro |
|-------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| | 56.5×10^6 lt | 8.3×10^9 Ton/Km | 147 Ton Km/lt |

El ferrocarril lleva 1 Tonelada a 147 Kilómetros con 1 litro combustible.

| Camión | Consumo medio | Carga media | Factor de retorno vacío | Rendimiento por litro |
|--------|---------------|-------------|-------------------------|-----------------------|
| | 0.4 lt/Km | 28 Ton | 1.9 Km/Km cargado | 37 Ton Km/lt |

El camión lleva 1 Tonelada a 37 Kilómetros con 1 litro de combustible.

Por lo tanto el ferrocarril tiene un consumo 4 veces inferior al camión, y este consumo puede llegar a ser cada vez menor en la medida que se implementen mejoras en la eficiencia logística del transporte y se realicen actualizaciones del material rodante.

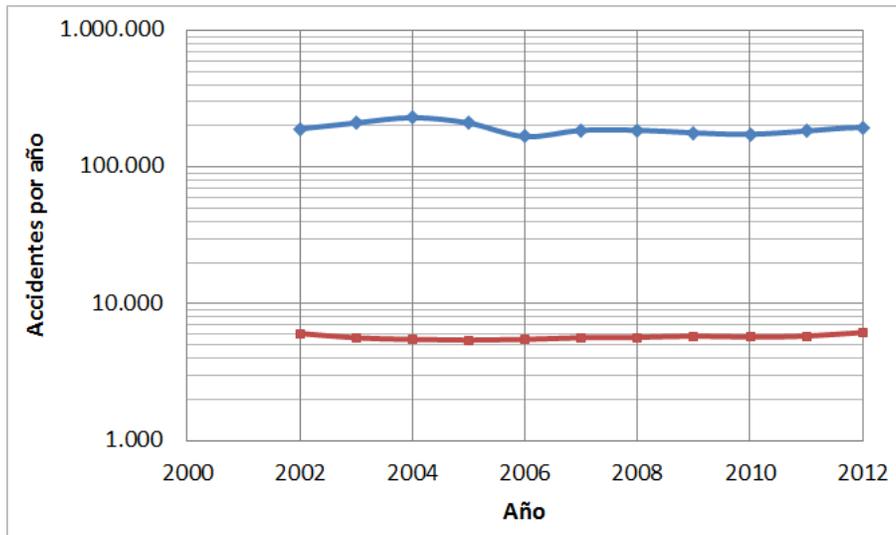
- Disminución de la accidentalidad. El siguiente es el número de eventos registrados para Colombia en el año 2013, allí se evidencia que son aproximadamente el 3 % con respecto a los

⁵² El valor para el modo carretero fue calculado del aplicativo la Sistema de Información de costos eficientes para el transporte automotor SICE – TAC [71].

El valor para el modo férreo fue calculado a partir de las tarifas de carga a los operadores y usuarios de transporte férreo de carga del Sistema ferroviario Central y se afectó para el año 2014 de acuerdo con el IPC del año 2013 (1.9%) [72] y [73]

eventos registrados para las carreteras como se presenta en la **¡Error! No se encuentra el rígen de la referencia..**

Gráfica 4-5 Accidentalidad en el transporte carretero y férreo⁵³ [15]



⁵³ La gráfica se presenta en escala logarítmica dado que los datos cubren una amplia gama de valores y el logaritmo los reduce a un rango más manejable.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- Cada modo de transporte sea carretero, fluvial, aéreo, marítimo o férreo cumple un papel diferente de acuerdo con el sector económico y la región geográfica a la que preste sus servicios, es así como el ferrocarril tiene una vocación principalmente para el transporte de grandes cantidades de mercancías en longitudes amplias; siendo este el principal cuello de botella del país y donde se encuentra la mayor demanda para que este modo sirva, es preciso empezar a aprovechar la infraestructura existente y seguir los ejemplos positivos que demuestran que se puede llevar a cabo una operación eficiente del sistema con cualquier tipo de trocha.
- Para la época del Ingeniero Francisco Cisneros la construcción de trenes en trocha angosta estuvo vinculada a las siguientes ventajas: ajuste a las condiciones topográficas, costos de inversión menores, disminución del peso muerto de los trenes, reducción del deterioro del material rodante, aumento en el potencial de las locomotoras y ahorros de combustible; hoy en día estos parámetros siguen teniendo una ponderación importante en la toma de decisiones pero se combinan con otros como el grado de saturación de las vías y las estrategias de operación aplicadas que permiten aprovechar todo el potencial de la composición infraestructura, material rodante y logística aplicada.
- Se le ha dado mucha importancia a la evaluación del ancho de trocha como parámetro técnico definitivo para el aumento en la capacidad de carga de los trenes de mercancías, y al mismo tiempo se ha sesgado la decisión a cambio de trocha a estándar basada en suposiciones que el ancho de trocha angosta no puede llegar logra las eficiencias en términos de carga y es menos difundida en el mundo y por este motivo se dificulta conseguir el material rodante; sin embargo, estas suposiciones desconocen la importancia que tienen otros aspectos como el peso por eje admitido de la vía y la interconexión de la red férrea, los cuales son determinantes para la prestación de un servicio eficiente de los ferrocarriles sin que ellos estén influenciados del algún modo por el tipo de trocha empleada.

- La conciliación sobre el tipo de rocha a implementar en Colombia ha servido de pretexto para no desarrollar el transporte férreo a pesar de que esta es la mejor alternativa para enfrentar la demanda de movilización de mercancías como por ejemplo, los que más se destacan en la actualidad, los tratados de libre comercio firmados con otros países.
- La falta de fomento del uso del sistema férreo ejercida principalmente por el Gobierno Nacional generó que se perdiera la operación constante de los trenes lo que trajo como consecuencia el subdesarrollo del transporte férreo del país, diferentes casos en el mundo demuestran que sin importar el tipo de trocha empleada sí las líneas férreas son utilizadas no pierden vigencia y cumplen su función como promotoras del desarrollo del país.
- El ancho de trocha angosta no limita las posibilidades, en cambio los reemplazos de trocha sí podrían generar largos años de inversiones y actividades, complicar la explotación y comprometer las interconexiones futuras con la infraestructura presente la cual aún se puede aprovechar.

5.2 Recomendaciones

- Además del mejoramiento de las características técnicas de los corredores férreos, es indispensable generar la oportunidad en la oferta de capacidad, la disponibilidad de condiciones de acceso público a la red y la definición de esquemas tarifarios del sistema de transporte por ferrocarril esto último solo se puede lograr si se cuenta con una red interconectada; todos estos son pieza fundamental para el aumento del uso de este modo.
- Es fundamental aprovechar las iniciativas privadas, principalmente las asociadas con el transporte de minerales ya que este tipo de mercado cuenta con el apalancamiento necesario para la construcción de líneas férreas sin poner en riesgo las inversiones realizadas y además pueden aprovechar al máximo la infraestructura construida, como ejemplo para Colombia se resalta el ferrocarril de la concesión Fenoco.
- Desde el inicio de la construcción de ferrocarriles en Colombia la interconexión por el empleo de diferentes parámetros técnicos ha sido un factor negativo para la apropiada utilización de los trenes, situación que hoy en día con la decisión del cambio de trocha se mantiene; es indispensable definir una normativa técnica para el modo férreo que responda a las particularidades del país y que no continúe prolongando dicha decisión como se plantea en los estudios llevados a cabo hasta la fecha.

- En el largo plazo, en cuanto se logre estructurar un sistema férreo nacional y se refleje la evolución de la inversión de recursos públicos y privados en este, se recomienda revisar las experiencias internacionales tales como la empleada en países como Suiza, donde se cobra un impuesto a los vehículos de carga como costes externos, bajo la premisa “quien contamina paga” y con estos recursos se subsidia la infraestructura ferroviaria, generándose así un favorecimiento de la combinación de modos y minimizando al mismo tiempo los efectos negativos del transporte, convirtiéndose en una opción para el financiamiento de proyectos de este [49].
- En cuanto a las fuentes de información consultadas para este trabajo se evidencio como debilidad de este sector del transporte información dispersa, falta de coherencia entre datos suministrados en diferentes documentos provenientes de una misma fuente, principalmente en lo relacionado con el estado de arte de este sector; así mismo se encontraron estudios y normatividad proyectada que no ha sido concretada a la fecha.

Bibliografía

- [1] Unidad de Planeación Minero Energética, "SIMCO Sistema de Información Minero Colombiano," 6 Mayo 2014. [Online]. Available: <http://www.simco.gov.co/simco/Estadisticas/Produccion/tabid/121/Default.aspx?PageContentMode=1>. [Accessed 10 Junio 2014].
- [2] G. Latorre, Francisco Javier Cisneros y el ferrocarril de Antioquia, Colombia, 1924.
- [3] J. S. Correa R, Los caminos de Hierro: ferrocarriles y tranvías en Colombia, Bogotá D.C.: Colegio de Estudios Superiores de Administración - CESA, 2010.
- [4] A. Maya Mora, Francisco Javier Cisneros. El inicio de las comunicaciones modernas en Colombia, Bogotá: Banco de la República El Ancora Editores, 1999.
- [5] P. Amezcuita and P. García, *Línea férrea del Atlántico y su programa de rehabilitación de los tramos Facatativa (PK40) - Villeta (PK110) - La Dorada (PK210) - Puerto Berrío (PK 328) - Cabañas (PK361)*, Manizales, Caldas: Universidad Nacional de Colombia, 2005.
- [6] A. Pachón and M. T. Ramírez, La infraestructura de transporte en Colombia durante el siglo XX, Bogotá: Fondo de Cultura Económica - Banco de la República, 2006.
- [7] J. Arias, G. Carrillo, R. Gómez, F. Páez, G. Azcárate and G. Robin, "Desarrollo de las concesiones férreas en Colombia," Contraloría General de la República, Bogotá, 2007.
- [8] Departamento Nacional de Planeación, *CONPES 2776 Estrategia para la modernización férrea*, Bogotá: Departamento Nacional de Planeación, 1995.
- [9] Cámara Colombiana de la Infraestructura, *Seguimiento a proyectos de infraestructura de transporte*, Bogotá D.C., Cundinamarca: Cámara Colombiana de la Infraestructura, 2008.
- [10] Departamento Nacional de Planeación, *CONPES 3394. Conexión de los distritos carboníferos a la red férrea nacional. Lineamientos de política.*, Bogotá: Departamento Nacional de Planeación, 2005.

-
- [11] Agencia Nacional de Infraestructura, *Estudio de Conveniencia y oportunidad. Licitación pública VJ-VE-LP-002 de 2013 Módulo 1*, Bogotá: Agencia Nacional de Infraestructura, 2013.
- [12] Agencia Nacional de Infraestructura, *Estudio de Conveniencia y oportunidad. Licitación pública VJ-VE-LP-002 de 2013 Módulo 2*, Bogotá: Agencia Nacional de Infraestructura, 2013.
- [13] L. F. Andrade, *Programa de concesiones modo férreo. Foro sobre la infraestructura requerida para la competitividad del carbón*, Paipa, Boyacá, 2012.
- [14] Instituto Nacional de Vías. Subdirección red terciaria y férrea, "Informe gestión red férrea Nacional," Instituto Nacional de Vías, Bogotá, 2012.
- [15] Ministerio de Transporte. Oficina Asesora de Planeación, "Transporte en cifras. Estadísticas 2013," MinTransporte, Bogotá, 2013.
- [16] Grupo Prodeco, "Nuestro informe de sostenibilidad 2011," Prodeco, 2011.
- [17] Ferrocarriles del Norte de Colombia S.A., "Ferrocarriles del Norte de Colombia S.A.," 2009. [Online]. Available: <http://www.fenoco.com.co/>. [Accessed 27 Julio 2013].
- [18] Cámara Colombiana de la Infraestructura CCI, *Seguimiento a proyectos de infraestructura de transporte*, Bogotá D.C., Cundinamarca: Cámara Colombiana de la Infraestructura CCI, 2012.
- [19] INCOPLAN S.A Ingeniería, Consultoría y Planeación, "Estudio técnico sectorial "Infraestructura de transporte multimodal y logísticas integradas para el desarrollo de la industria minera en Colombia en énfasis en Puertos", " Ministerio de Minas y Energía, Bogotá D.C, 2011.
- [20] Agencia Nacional Minera, "Boletín En que vamos," Junio 2014. [Online]. Available: http://www.anm.gov.co/?q=Aumento_produccion_carbon_primer_trimestre_2014. [Accessed 28 Junio 2014].
- [21] Legis, "Revista de Logística," Julio 2008. [Online]. Available: http://www.revistadelogistica.com/n4_tren_futuro.asp. [Accessed 2013 Julio 28].
- [22] Ferrocarril del Oeste S.A., *Un puerto competitivo y próspero con ferrocarril, el sistema de transporte prioritario para hacer competitiva a Colombia*, Ferrocarril del Oeste S.A., 2010.
- [23] Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A., "Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura S.A.," [Online]. Available: http://www.sprbun.com/informacion-para-comercio-exterior/estadisticas/acumulado_ano.php. [Accessed 20 Julio 2014].

- [24] Departamento Nacional de Planeación, *III Feria Financiera de Infraestructura CCI – Bogotá, Colombia.*, Bogotá: Departamento Nacional de Planeación, 2010.
- [25] Agencia Nacional de Infraestructura, "Ferrocarril Central: paso trascendental para revivir el tren en Colombia," Oficina de Comunicaciones ANI, 19 Julio 2013. [Online]. Available: <http://www.ani.gov.co/article/ferrocarril-central-paso-trascendental-para-revivir-el-tren-en-colombia-5623>. [Accessed 20 Abril 2014].
- [26] J. Kohon, "La infraestructura en el Desarrollo Integral de América Latina. Diagnóstico estratégico y propuestas para una agenda prioritaria," Corporación Andina de Fomento - CAF, Paraguay, 2011.
- [27] A. J. Pedraza and J. C. Arias, *Ferrocarriles Carare y Cerrejón*, Bogotá, 2012.
- [28] Llanopetrol, "Ferrocarril de los llanos," Digitalpaint, 30 Marzo 2015. [Online]. Available: <http://www.llanopetrol.com.co/index.php/proyectos/infraestructura-de-transporte/ferrocarril-de-los-llanos/el-proyecto-ferrocarril>. [Accessed 6 Mayo 2015].
- [29] Departamento Nacional de Planeación, *CONPES 3547 Política Nacional de Logística*, Bogotá, 2008.
- [30] P. Jiménez, *Adaptación de las infraestructuras: la recuperación de la sostenibilidad de Valle del Cauca*, Bogotá: Fondo de Adaptación, 2012.
- [31] A. Bateman Quijano, *Historia de los Ferrocarriles de Colombia*, Bogotá: Página Maestra Editores, 2005.
- [32] J. S. Correa, "El ferrocarril de Antioquia: empresarios extranjeros y participación local," *Estudios Gerenciales*, vol. 28, no. 123, 2012.
- [33] INCOPLAN S.A Ingeniería, Consultoría y Planeación, "Estudio técnico sectorial Infraestructura de transporte transporte multimodal y logísticas integradas para el desarrollo de la industria minera en Colombia, con énfasis en puertos - Informe 4," Ministerio de Minas y Energía, Bogotá, 2010.
- [34] J. P. Martínez and R. Agosta, "Ingeniería de Transporte I Transporte ferroviarios - Capitulo 4," Pontificia Universidad Católica de Argentina, Buenos Aires, 2008.
- [35] INCOPLAN S.A Ingeniería, Consultoría y Planeación, "Estudio técnico sectorial Infraestructura de transporte transporte multimodal y logísticas integradas para el desarrollo de la industria minera en Colombia, con énfasis en puertos - Informe 1," Ministerio de Minas y Energía, Bogotá, 2010.

-
- [36] Consorcio EPYPSA - ARDANUY, "Manual de Normativa Férrea Parte I," Ministerio de Transporte Viceministerio de Infraestructura - Dirección de Infraestructura, Bogotá, 2013.
- [37] L. M. Espinosa, "La República - Así avanza la ejecución de \$12,8 billones para los cinco proyectos férreos del país," 6 Febrero 2015. [Online]. Available: http://www.larepublica.co/as%C3%AD-avanza-la-ejecuci%C3%B3n-de-128-billones-para-los-cinco-proyectos-f%C3%A9rreos-del-pa%C3%ADs_216991. [Accessed 28 Abril 2015].
- [38] Empresa de Transporte Masivo del Valle de Aburrá, "Metro de Medellín Calidad de vida," 7 Mayo 2015. [Online]. Available: https://www.metrodemedellin.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=621%3Atransformacion-tranvia-de-ayacucho-y-sus-dos-cables&catid=1&Itemid=50&lang=es. [Accessed 10 Mayo 2015].
- [39] J. Kohon, "Más y mejores trenes. Cambiando la mariz de transporte en América Latina y el Caribe," Banco Interamericano de Desarrollo. Sector de infraestructura y medio ambiente, Washington D.C, 2011.
- [40] S. M. Rueda Ochoa, *Cómo hacer competitivo el transporte terrestre?*, Bogotá: ANI, 2013.
- [41] ALAF - Asociación Latinoamericana de Ferrocarriles , "Síntesis estadística ALF," 2000-2012. [Online]. Available: http://www.alaf.int.ar/?pag=sintesis_estadistica&sec=mercaderia. [Accessed 20 Septiembre 2012].
- [42] L. A. Tapias, "La larga historia de los ferrocarriles en Colombia," 27 Octubre 2008. [Online]. Available: <http://ferrocarrilesencolombia.blogspot.com/>. [Accessed 18 Enero 2014].
- [43] Oficina de comunicaciones de la Agencia Nacional de Infraestructura, "ANI entrega en concesión dos locomotoras a la red férrea del Pacífico," 5 Diciembre 2013. [Online]. Available: <http://www.ani.gov.co/article/ani-entrega-en-concesion-dos-locomotoras-la-red-ferrea-del-pacifico-8753>. [Accessed 20 Enero 2014].
- [44] S. López Lara, *Sistemas de Cambio de Ancho Automático para Mercancías*, Barcelona: Plataforma tecnológica Ferroviaria Española, 2013.
- [45] E. S. Obschatko and C. Garramón, *La comercialización de granos en la Argentina*, Buenos Aires: IICA Biblioteca Venezuela, 1990.
- [46] UPLA, Universidad Peruana de Los Andes, "Método de priorización de variables basado en matrices," 2010. [Online]. Available: <http://www.planificacion.upla.edu.pe/portal/images/REFLEXIONES/METODOPARAPONDER>

- ARGECYT(conf).pdf. [Accessed 3 Marzo 2014].
- [47] B. Fontgalland, "El porvenir de la trocha angosta," Unión Internacional de Ferrocarriles, País.
- [48] Agencia Nacional de Infraestructura, "Informe de gestión especial," Ministerio de Transporte, Bogotá, 2013.
- [49] Consorcio EPYPSA - ARDANUY, "Estudio de viabilidad y conveniencia del cambio de trocha estándar y sus impactos en el transporte de pasajeros," Ministerio de Transporte, Bogotá, 2012.
- [50] Unidad de Planeación Minero Energética, "SIMCO Sistema de información Minero Colombiano," 6 Mayo 2014. [Online]. Available: <http://www.simco.gov.co/simco/Estadisticas/Produccion/tabid/121/Default.aspx?PageContentMode=1>. [Accessed 20 Junio 2014].
- [51] G. Ospina, J. Aguilar, L. Calderón, T. Concha, J. C. Junca and S. Martínez, "Indicadores del sector transporte en Colombia Informe consolidado," Fedesarrollo, Bogotá, 2013.
- [52] Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Cordoba, *Unidad 2 Transporte Terrestre: Ferrocarril - Carretero*, Santa Fe: Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Cordoba, 2011.
- [53] Administrador de Infraestructuras Ferroviarias ADIF, *Haciendo la movilidad Europea sostenible! Por qué es necesaria una revisión de la directiva de la "Euroviñeta"*, Madrid, 2008.
- [54] Ministerio de Transporte, *Decreto 4165 de 2011. Por el cual se cambia la naturaleza jurídica, cambia de denominación y se fijan otras disposiciones del Instituto Nacional de Concesiones -INCO*, Bogotá: Ministerio de Transporte, 2011.
- [55] Departamento Nacional de Planeación, *CONPES 3512. Importancia estratégica del proyecto de concesión Sistema Ferroviario Cental*, Bogotá: Departamento Nacional de Planeación, 2008.
- [56] Departamento Nacional de Planeación, *Principales proyectos de infraestructura. Sistema Ferroviario Central*, Cartagena: Latin American Leadership Forum, 2008.
- [57] Instituto Nacional de Vías, "INVIAS," Portal Instituto Nacional de Vías - Invias, 2009. [Online]. Available: <http://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/objetivos-y-funciones>. [Accessed 17 Mayo 2014].

-
- [58] J. Arias, G. Carrillo, R. Gómez, F. Páez, G. Azcárate and G. Robin, "Desarrollo de las concesiones férreas en Colombia," Contraloría General de la República, Bogotá D.C., 2007.
- [59] AIFC - Asociación de Ingenieros ferroviarios en Colombia, *Los ferrocarriles locomotoras para el crecimiento económico visión 2050*, Bogotá D.C., 2011.
- [60] G. León, "Capítulo 1. Vías férreas - Generalidades," in *Vías Férreas*, Bolivia, Universidad Mayor de San Simón - UMSS, 2009, pp. 29, 37-38.
- [61] A. Ruano Gómez, *Las líneas de Alta Velocidad frente a las convencionales. Adaptación de las líneas convencionales a Velocidad Alta*, Barcelona: Univeridad Politécnica de Catalunya, 2007.
- [62] I. Thomson, *Los ferrocarriles y su contribución al comercio internacional*, Buenos Aires: Banco Interamericano de Desarrollo - Instituto para la Integración de América Latina y el Caribe, 1997.
- [63] A. G. Capasso Gamboa, *Situacion actual del ferrocarril en México*, Puebla: Universidad de las Américas Puebla, 2007.
- [64] De-Consult, "Una ruta: dos mares - Estudio preliminar," De-Consult - Sucursal de Colombia, Bogotá D.C., 2008.
- [65] G. Arias, *La mula de hierro*, Bogotá: Carlos Valencia Editores, 1986.
- [66] L. A. Zuleta, A. Ovalle and M. J. Manuel, ¿Por qué no han sido exitosos los ferrocarriles en Colombia?, Bogotá D.C.: Universidad Externado de Colombia, 2001.
- [67] G. De la Peña, *El sistema férreo español*, documento RENFE, Madrid, 1996.
- [68] I. González Franco, Pueden los trenes de alta velocidad circular más deprisa y reducir el consumo de energía?, 360.revista de alta velocidad, 2001.
- [69] A. García Álvarez, "Energía y trazado ferroviario," *Vía libre técnica invetigación ferroviaria*, pp. 1-14.
- [70] I. González Franco, "Estimación del consumo de energía y emisisones de CO2 en trenes de mercancías y análisis de la variabilidad," *Fundación de los ferrocarriles españoles*, pp. 51-62, 2012.
- [71] F. Viana Rodrigues and A. Ferreira, "Influencia del trazado en la calidad geométrica de vías

- férreas," *Vía libre técnica Investigación Ferroviaria*, pp. 2-10.
- [72] Dirección General Marítima, "Dimar," Dirección General Marítima, 6 Junio 2014. [Online]. Available: https://www.dimar.mil.co/lexicon/14/letter_c. [Accessed 6 Junio 2014].
- [73] Comité Intergremial e Interempresarial de Buenaventura, "III Encuentro Infraestructura para el multimodalismo," in *Infraestructura para el multimodalismo*, Cali, 2013.
- [74] Centro de investigación en economía y finanzas CIENFI, "10 años de la Ley Páez," 2006. [Online]. Available: http://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/articulos-156657_Archivo_pdf.unknown. [Accessed 25 Mayo 2013].
- [75] Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías, Subdirección de Apoyo Técnico, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2008.
- [76] I. Sanz, M. Á. Dombriz, P. Iñigo, J. C. Enguix and J. Mas, "Transporte ferroviario de mercancías," Marge Books, 2013.
- [77] C. Pardo, "Británicos construyen trenes que operarán en Colombia," 4 Diciembre 2013. [Online]. Available: <http://www.portafolio.co/economia/britanicos-construyen-trenes-que-operaran-colombia>. [Accessed 20 Abril 2014].
- [78] D. Mántaras Álvarez and P. Luque Rodríguez, Ingeniería e infraestructura de los transportes, Oviedo: Universidad de Oviedo, 2003.
- [79] Escuela Superior de Administración Pública, *El proceso presupuestal en Colombia*, Bogotá: Escuela Superior de Administración Pública, 2014.
- [80] Ministerio de Transporte, "Sistema de información de costos eficientes para el transporte automotor de carga SICE-TAC," Ministerio de Transporte, 18 08 2014. [Online]. Available: <http://190.60.211.68:8080/sirtccWeb/costoOperacion.jsf>. [Accessed 11 6 2014].
- [81] Agencia Nacional de Infraestructura, *Anexo 3 Especificaciones técnicas de operación Licitación pública VJ-VE-LP-002*, Bogotá: Agencia Nacional de Infraestructura, 2013.
- [82] Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, *Índice de Precios al Consumidor -IPC-*, Bogotá: Prensa DANE, 2014.
- [83] M. León, Diccionario de tecnología ferroviaria, Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 2005.
- [84] Consorcio EPYPSA - ARDANUY, "Manual de Normativa Férrea Parte II," Ministerio de Transporte Viceministerio de Infraestructura - Dirección de Infraestructura, Bogotá, 2013.