

**VIABILIDAD TÉCNICA DE LA RECUPERACIÓN Y RESTABLECIMIENTO DEL
ANTIGUO CORREDOR FÉRREO BARRANCABERMEJA – BUCARAMANGA
SEGMENTO I.**

**CAROLINA GÓMEZ MORA
CAMILO ANDRÉS VELÁSQUEZ ORTIZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2014

**VIABILIDAD TÉCNICA DE LA RECUPERACIÓN Y RESTABLECIMIENTO DEL
ANTIGUO CORREDOR FÉRREO BARRANCABERMEJA – BUCARAMANGA
SEGMENTO I.**

**CAROLINA GÓMEZ MORA
CAMILO ANDRÉS VELÁSQUEZ ORTIZ**

**Trabajo de grado para optar al título de
INGENIERO CIVIL**

**Director
LIUS DAVID ARÉVALO DURÁN
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2014

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	17
2. JUSTIFICACIÓN	18
3. OBJETIVOS	20
3.1 OBJETIVO GENERAL	20
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	20
4. MARCO REFERENCIAL	21
4.1 LOS FERROCARRILES Y EL DESARROLLO REGIONAL Y URBANO DE COLOMBIA	21
4.1.1 Aspectos sobresalientes en la historia de los ferrocarriles	21
4.1.2 Primer Período	23
4.1.3 Segundo Período	29
4.1.4 Tercer Período	31
4.1.5 El impacto urbano	38
5. ELEMENTOS DE LA VÍA	41
5.1 BALASTO	41
5.1.1 Roca de origen	42
5.1.2 Fabricación y forma del balasto	43
5.1.3 Dimensión de las piedras	43
5.1.4 Características mecánicas	44
5.1.5 Ensayo de caracterización física	44
5.1.6 Descripción visual	44
5.2 TRAVIESAS	49
5.2.1 Traviesas en concreto	50
5.2.2 Traviesas en madera	52
5.3 SUJECIÓN	54

5.3.1 Sujeción para traviesa tipo Pandrol	55
5.4. RIEL O CARRIL	57
5.5 JUNTAS DE RIEL	60
5.5.1 Bidas	60
5.5.2 Carril continuo soldado	60
6. ESTACIÓN	65
6.1 ESTADO ACTUAL	66
7. COMPARACIÓN	68
8. RELACIÓN BENEFICIO COSTO	71
8.1 ALTERNATIVAS PROPUESTAS	71
8.2 ESTIMACIÓN DE COSTOS	71
8.3 ESTIMACIÓN CUALITATIVA DE BENEFICIOS	72
8.3.1 Alternativa 1	72
8.3.2 Alternativa 2	72
9. DISEÑO METODOLOGICO	74
10. RESULTADOS	75
10.1 RESULTADO DEL ANÁLISIS BENEFICIO COSTO	75
10.1.1 Ahorro en tiempos de viaje	75
10.1.2 Ahorro de contaminantes	76
10.1.3 Desarrollo colateral de la región	76
10.1.4 Valorización de tierras	76
10.1.5 Minimiza riesgo de accidentes	77
10.1.6 Alternativa vial frente a desastres naturales	77
10.1.7 Mayor capacidad de carga y pasajeros frente a la alternativa 1	77
10.1.8 Menores costos en fletes	77
10.1.9 Estimulación del desarrollo de la infraestructura férrea	78
10.1.10 Nuevos modelos tecnológicos	78
11. CONCLUSIONES	79
BIBLIOGRAFIA	80

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. K0+000, Estación Barrancabermeja.	45
Figura 2. Izquierda K0+400, derecha K1+800	46
Figura 3. Izquierda K0+600, derecha K1+000.	46
Figura 4. Residuos y basura en K1+100.	47
Figura 5. Izquierda K2+600, derecha K5+200.	48
Figura 6. Balasto suficiente.	48
Figura 7. Tipos de travesía	49
Figura 8. Traviesas en madera	54
Figura 9. Sujeción tipo Pandrol	56
Figura 10. Sección transversal de un riel Vignole	57
Figura 11. Sección transversal, riel tipo 46E2 (U33)	58
Figura 12. Brida, junta de riel.	60
Figura 13. Soldadura Aluminotérmica.	62
Figura 14. Estación Barrancabermeja	65
Figura 15. Estación Barrancabermeja.	67

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Comparación entre Trocha Yárdica y Trocha Estándar	68
Tabla 2. Resumen alternativas propuestas.	71
Tabla 3. Costos de rehabilitación y construcción.	72

GLOSARIO

ACTIVIDAD FERROVIARIA: Acciones relacionadas con el tema de transporte, operación, construcción, mantenimiento, y, en general, con la gestión integral o parcial de los ferrocarriles.

CARRO MOTOR: Vehículo ferroviario con propulsión propia, utilizado para el transporte de baja carga y pasajeros.

BALASTO: Material seleccionado que recibe la carga del durmiente y la transmite en forma uniforme a la plataforma.

CAMBIO DE VIA: Sistema colocado en la vía férrea para direccionar en forma manual o automática el paso de una vía férrea a otra.

CENTRO DE CONTROL DE OPERACIONES: Instalación de la organización ferroviaria, desde la cual se dirige y controla el movimiento de los trenes sobre tramos definidos.

CONTAMINACIÓN AMBIENTAL: Acción que resulta de la introducción, en el ambiente por el hombre, directa o indirectamente, de contaminantes que por su concentración, al superar los patrones ambientales establecidos, o por el tiempo de permanencia, hagan que el medio receptor adquiera características diferentes a las originales, perjudiciales o nocivas a la naturaleza o a la salud.

CRUCE A NIVEL: Área común de intersección entre una vía férrea y un camino, que cuenta con autorización de la organización ferroviaria.

DESVÍO: Vía auxiliar conectada por uno o ambos lados a la vía principal, o a un ramal, para permitir la entrada, salida y cruce de trenes.

ELEMENTOS DE SUJECIÓN: Piezas metálicas que sujetan firmemente los rieles a las traviesas.

ESTACIÓN: Instalación de una organización ferroviaria, definida en el horario de trenes y que exhibe señales fijas donde los trenes toman o dejan pasajeros, mercancías y/o equipajes. En ella también se realiza la recepción, almacenamiento, clasificación y despacho de mercancías.

FLETE: Importe de dinero que el remitente o el destinatario paga al operador ferroviario que presta servicio público, como retribución por el transporte de mercancías y/o equipajes.

LOCOMOTORA: Vehículo ferroviario con propulsión propia, para mover material rodante.

MANTENIMIENTO: Ejecución de las tareas rutinarias o periódicas que permiten conservar las condiciones de servicio de la vía férrea, y evitar o controlar el deterioro de sus diversos elementos.

RECUPERACIÓN DE VÍA: Ejecución de las obras necesarias para devolver a la vía férrea existente sus características geométricas y portantes iniciales.

RIELES: Perfiles de acero que reciben directamente la carga del material rodante por intermedio de las ruedas de los equipos ferroviarios.

TRAVIESAS: Vigas transversales en la cual se apoyan los rieles. Mantienen fijos los rieles en su posición y transmiten su carga al balasto en forma uniforme.

TROCHA: Distancia entre las caras internas de las cabezas de los rieles, medida en un plano a 14mm por debajo del tope de las cabezas de los rieles.

TROCHA ANGOSTA O YÁRDICA: Vía férrea cuya trocha es de 914mm.

TROCHA ESTANDAR: Vía férrea cuya trocha es de 1435mm.

VÍA FÉRREA: Vía sobre la que transitan vehículos ferroviarios, conformada estructuralmente por rieles, traviesas, balasto y elementos de sujeción, apoyados sobre la plataforma.

RESUMEN

TITULO: VIABILIDAD TÉCNICA DE LA RECUPERACIÓN Y RESTABLECIMIENTO DEL ANTIGUO CORREDOR FÉRREO BARRANCABERMEJA – BUCARAMANGA SEGMENTO I.

AUTORES: CAROLINA GÓMEZ MORA**
CAMILO ANDRÉS VELÁSQUEZ ORTIZ

PALABRAS CLAVE: Trocha Yárdica, Trocha Estándar, Estación De Ferrocarril, Elementos De La Vía, Locomotora.

DESCRIPCIÓN:

El siguiente artículo muestra un análisis de viabilidad técnica para el restablecimiento del antiguo corredor férreo Barrancabermeja Bucaramanga en el segmento I¹ como tren turístico y de cercanías, además un diagnóstico del estado actual del corredor férreo, teniendo en cuenta los elementos e infraestructura de la vía. Se ilustra un comparativo de los componentes estructurales entre las vías férreas nacionales e internacionales. La relación beneficio costo también hace parte de los parámetros para otorgar un criterio de viabilidad, bien sea para la rehabilitación de la vía existente o para la implementación de nuevos modelos tecnológicos en infraestructura férrea. Teniendo en cuenta el estado actual de la red vial y los altos costos de operación para el transporte de carga y pasajeros, el ferrocarril tiene una oportunidad única para desarrollarse y ofrecer un servicio de transporte competitivo, con nuevas opciones logísticas y económicamente más convenientes para la región.

En el documento se muestra una tabla comparativa entre el ancho de vía de una yarda y ancho estándar. Se plantean dos alternativas para el restablecimiento del ferrocarril en el segmento I, cada alternativa se presenta con sus respectivos costos y beneficios frente al sistema de transporte por carretera.

Segmento 1: K0+000 – K10+000, tomando como K0+000 la estación del ferrocarril de Barrancabermeja

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Luis David Arévalo Durán, Ingeniero Civil

ABSTRACT

TITLE: TECHNICAL FEASIBILITY OF RECOVERY AND RESTORATION OF THE OLD RAILWAY CORRIDOR BARRANCABERMEJA – BUCARAMANGA SEGMENT I.*

AUTHORS: CAROLINA GÓMEZ MORA**
CAMILO ANDRÉS VELÁSQUEZ ORTIZ

KEYWORDS: 3FT Gauge Railways, Standard Gauge, Railway Station, Track Elements, Locomotive.

DESCRIPTION:

The following article shows an analysis of technical feasibility for the restoration of the former railroad corridor between Barrancabermeja and Bucaramanga in segment I as tourist train and vicinity, in addition an assessment of the current status of the railroad corridor, taking into account the elements and infrastructure of the track. It illustrates a comparison of the structural components between the railroads national and international. The cost benefit ratio also is part of the parameters for granting a viability criterion, either for the rehabilitation of the existing track or for the implementation of new technological models in railroad infrastructure. Taking into account the current state of the road network and the high costs of operation for the transport of cargo and passengers, the railway has a unique opportunity to develop and offer a competitive transport service, with new logistical options and economically, as appropriate for the region.

The paper is a comparison chart between the gauge and screens standard gauge. Two alternatives for the restoration of rail in segment I. Each alternative is presented with their respective costs and benefits compared to road transport system are discussed.

Segment 1: K0+000 – K10+000 taking as K0+000 the railway station of Barrancabermeja.

* Work Grade

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Luis David Arévalo Durán, Ingeniero Civil

INTRODUCCIÓN

El sistema de transporte férreo es indispensable para el desarrollo económico del país, ya que estos corredores permitirían la conexión de las zonas de producción con los centros de consumo y los centros estratégicos de importación y exportación, movilizand o altos volúmenes de carga y pasajeros, mejorando sustancialmente la competitividad, principalmente para las exportaciones.

Este sistema de transporte tiene grandes ventajas con relación a otros medios, como la seguridad, menos impacto ambiental por la disminución de emisiones, alta capacidad de carga y pasajeros, excelente control logístico como se evidencia en los países más avanzados.

El propósito de esta investigación se centra en el estudio sobre la viabilidad para la recuperación de la línea férrea Barrancabermeja Bucaramanga en un tramo de diez kilómetros, al que llamaremos segmento I, tomando como punto de inicio la estación del ferrocarril de Barrancabermeja.

De esta manera se hizo un recorrido por el sitio tomando registros fotográficos para después hacer una descripción visual del estado actual de la estación, la vía y sus elementos. Con base en la investigación se realiza un cuadro comparativo entre el ancho de vía de yarda y el estándar.

Para finalizar la investigación se realiza un análisis beneficio costo y en base a esto se proporciona un criterio de viabilidad técnica.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los Ferrocarriles Nacionales de Colombia (*FNC*) fue una empresa creada en 1954 por el gobierno colombiano mediante el decreto 3129 para unificar en una sola entidad estatal el Sistema Ferroviario de Colombia que hasta la fecha estaba compuesto de varias empresas locales administradas por las regiones. La nueva empresa operaría y mantendría la infraestructura de transporte férreo hasta el año de 1991 cuando debido a problemas financieros se llevó a cabo su liquidación. Año en el que se comienza a crear la empresa Ferrovías para administrar, restaurar y actualizar lo que quedaba de Ferrocarriles Nacionales en años siguientes, meta que nunca cumplió.

Es por esto que se hace el estudio de viabilidad técnica debido a la falta de un medio de transporte eficiente, económico, que sirva de alternativa frente a otros medios existentes y al atraso en el que se encuentra el transporte férreo en el país.

2. JUSTIFICACIÓN

Se pretende realizar un plan de viabilidad técnica de la recuperación y restablecimiento del antiguo corredor férreo Barrancabermeja – Bucaramanga en el segmento I.

Teniendo en cuenta que el ferrocarril es un transporte masivo de carga y pasajeros, se pretende dar solución a aquellos pequeños agricultores que no tiene otra salida más que ir hasta la carretera para poder sacar sus productos a otras poblaciones o mercados. Con el restablecimiento del ferrocarril los agricultores no se verán en la necesidad de recorrer largas distancias, sino que por el contrario, las estaciones y la vía férrea que se encuentran localizadas en las veredas cercanas, podrán servir de sitios de atracción de pasajeros y carga.

Adicionalmente se presenta un problema significativo debido a que gran parte de la carretera Barrancabermeja – Bucaramanga se encuentra construida sobre coluviones, lo que hace que en tiempos de fuerte invierno, como en lo sucedido en la pasada ola invernal 2010 – 2011, la vía colapse hasta el punto de dejar incomunicadas las dos ciudades más importantes del departamento de Santander. Es allí, donde el ferrocarril, podría convertirse en un medio alternativo para el transporte de carga y de pasajeros.

Igualmente se busca disminuir el impacto sobre el medio ambiente. Con la alternativa a plantear en el estudio, se podría desestimular el uso de vehículos que circulan entre estas ciudades, disminuyendo así la contaminación ambiental originada por las emisiones de gases y partículas contaminantes.

El costo de los combustibles y peajes se ve reflejado en el costo final de los fletes o de los pasajes. Teniendo en cuenta que el tren es un sistema de bajo costo, resulta más fácil en un contexto económico acceder a este medio de transporte.

Así mismo el proyecto crearía un ambiente turístico, donde los pasajeros puedan disfrutar de un viaje en medio del paisaje agradable y tranquilo.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar la viabilidad técnica para el restablecimiento del antiguo corredor férreo Barrancabermeja – Bucaramanga (Segmento I) como tren turístico y de cercanías.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diagnosticar el estado actual de la estación Barrancabermeja y de la estructura de la vía férrea Barrancabermeja – Bucaramanga, mediante un análisis preliminar del segmento I de la vía mencionada.
- Revisar las especificaciones técnicas actuales de la vía y los equipos (locomotoras) a nivel internacional y compararlas con las existentes en el segmento I.
- Analizar la relación beneficio/costo por kilómetro de vía y presentar un criterio de viabilidad sobre la posible construcción de una nueva trocha o la recuperación de la trocha existente.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 LOS FERROCARRILES Y EL DESARROLLO REGIONAL Y URBANO DE COLOMBIA

4.1.1 Aspectos sobresalientes en la historia de los ferrocarriles. La historia de los ferrocarriles está estrechamente ligada a la historia del desarrollo de Colombia. La inauguración de la primera línea ferroviaria en Inglaterra en 1825 ocasionó una pronta revolución en el sistema de transporte en muchos países europeos. Si bien la primera línea en el territorio colombiano de entonces fue puesta en funcionamiento en el año de 1852 en Panamá, esa revolución tecnológica en nuestro país habría de esperar hasta el tercer decenio de este siglo, etapa en la cual se cumplió el mayor acometido en la modernización del sistema de transportes. Al comenzar aquella etapa países latinoamericanos como Argentina, México, Chile y Brasil ya habían construido casi la totalidad de sus redes y se habían integrado entre sí y con otros países de la región.

La construcción del ferrocarril de Panamá fue la realización de una de las ideas del Libertador quien en la naciente república había planteado la construcción de un canal o de una línea férrea que atravesara el Istmo. Esta línea no tuvo repercusión significativa para el desarrollo en Colombia debido al aislamiento geográfico y administrativo de la región hacia el interior del país. El primer ferrocarril en nuestro actual territorio se inauguró en 1871 entre Barranquilla y la Bahía de Sabanillas. Fue el ferrocarril de Bolívar. Su construcción obedeció a la necesidad de conectar el río Magdalena con el mar, debido a que el paso directo de embarcaciones estaba obstaculizando en las Bocas de Ceniza. Cincuenta años más tarde esta dificultad se superó técnicamente y Barranquilla que ya había cobrado inmenso auge por el ferrocarril, se vino a convertir en el primer puerto del norte de Suramérica. Al finalizar el siglo, Colombia contaba con 513 kilómetros de líneas férreas y entre 1904 y 1915 esta cifra se había duplicado. Con el auge de

los años veinte se incrementó masivamente la construcción ferroviaria cuya extensión llegó a alcanzar 3.262 kms. En el año 1934. Esta cifra fué superada ligeramente a principios de la década de los años sesenta por la construcción del Ferrocarril del Atlántico que comprendió un tramo de 672 kms. Debido al desmantelamiento y suspensión de líneas a partir de 1933, a mediados de los años ochenta la red transitable solo contaba con 2.900 kms., que principalmente eran utilizados para transporte de carga. Aproximadamente el 70% de este transporte lo absorbía la línea del Atlántico. Algunos de los aspectos más sobresalientes de la historia de los ferrocarriles se describirán a continuación dentro de lo que se puede identificar como los períodos de su desarrollo. Aunque los autores consultados no se refieren explícitamente a una periodización en la construcción de los ferrocarriles, todos coinciden en resaltar el papel importante de los primeros ferrocarriles en el transporte de café para su exportación, en las circunstancias del auge de los años veinte, en el tiempo que estuvieron en competencia con las carreteras y en el estancamiento y deterioro que perduran en el presente. Para los objetivos de esta exposición se asumen los siguientes períodos: Primer Período: 1871 a 1914. Desde la inauguración del primer ferrocarril en Barranquilla hasta la inauguración del Ferrocarril del Pacífico entre Cali y Buenaventura. Construcción por concesiones. Construcción de los ferrocarriles cafeteros. Época del desarrollo económico orientado por el "crecimiento hacia afuera". Las guerras civiles. La guerra de los Mil Días. La colonización de ladera. Segundo Período: 1914a 1934. Estancamiento de la construcción ferroviaria por efectos de la primera guerra mundial entre 1914 y 1922. Intensificación en la construcción de líneas férreas por la disponibilidad de fondos provenientes de la indemnización de Panamá y de los empréstitos. Construcción de grandes obras arquitectónicas ferroviarias como las estaciones. Tercer Período: Desde comienzo de los años treinta hasta la década de los ochenta.

Etapa de industrialización por sustitución. El ferrocarril entra en competencia con las carreteras. Estancamiento definitivo en las construcciones. Desmonte y paralización de tramos. Construcción del Ferrocarril del Atlántico.

4.1.2 Primer Período. La política para la implantación de los ferrocarriles en la segunda mitad del siglo pasado se fundamentó en la necesidad de crear una infraestructura de transporte moderno que fuera a facilitar y reducir los costos de exportación del café y otros productos con el fin de adquirir las divisas que el país requería para la importación de manufacturas y la cancelación de la deuda externa, parte de ella contraída con Inglaterra para el financiamiento de las campañas emancipadoras en la reciente época de la independencia.

La orientación de la economía nacional que se concentraba en las exportaciones del tabaco, la quina y el añil y posteriormente en las del café, determinó que se diera lugar a una actividad monoexportadora, situación de la cual sigue dependiendo el país para la adquisición de sus divisas. Fué aquella la época que se denominó de "crecimiento hacia afuera". Así, la construcción de los primeros ferrocarriles estuvo ante todo dirigida al fomento de la exportación y no al desarrollo interno, si bien indirectamente estas construcciones influyeron favorablemente en los primeros impulsos de la industrialización por la reducción en los costos de transporte para la importación de maquinaria y materias primas destinadas a la industria como fue el caso en la instalación de las primeras fábricas textiles en Medellín. La reducción de los costos de transporte causó también un descenso en los precios de las manufacturas y objetos importados de los cuales dependía el país para el general y necesario consumo. Hasta principio de este siglo la actividad económica en Colombia se desarrollaba en núcleos o regiones autónomas aisladas unas de otras con una producción de subsistencia, orientada a la exportación, pero con escasa relación entre sí mismas. Muchas de estas regiones ya se identificaban como áreas especializadas en la ganadería o en un determinado cultivo o explotación, como el tabaco en el Valle del

Magdalena, el café en los Santanderes, Cundinamarca y el Tolima, el banano en la Costa Atlántica y la caña de azúcar en el Valle del Cauca. Otras regiones exportaron hasta finales del siglo pasado productos exóticos como la quina, el añil y el caucho, que eran productos de extracción. Algunas regiones como las de Santander y Nariño se habían desarrollado también a través de la producción artesanal de textiles y sombreros desde el tiempo de la colonia. Todas estas condiciones, como también la abundancia de la riqueza natural en metales y maderas, impulsaron igualmente la construcción de los ferrocarriles. El inicio de esta grandiosa empresa se dió mediante la Ley 69 de 1871 de carácter general sobre el fomento de los ferrocarriles en el territorio nacional, durante el gobierno del general Eustorgio Salgar. Esta se refería a la apertura de líneas férreas que debería poner en comunicación las capitales de los Estados de Antioquia, Boyacá, Cundinamarca Magdalena y Santander con el río Magdalena.

La conformación de la red férrea existente hasta los años veinte fué prácticamente determinada por la visión del gobierno del presidente Manuel Murillo Toro, concretada en la Ley 52 de 1872, la cual promovía la construcción de líneas telegráficas en el territorio nacional y concebía una red ferroviaria integrada a un sistema mixto de comunicaciones. Considerando las vías existentes, la ley planteaba proyectos para la construcción de nuevos trayectos para una comunicación interoceánica que debería partir desde Buenaventura para atravesar las partes más pobladas de los estados de Cauca, Tolima, Cundinamarca, Boyacá y Santander y terminar en un punto del río Magdalena de fácil comunicación con el Atlántico. Además se planteaba la construcción de una línea que debería unir a Cúcuta con el río Magdalena. Fueron innumerables los obstáculos que se presentaron en la construcción de los ferrocarriles. Entre ellos se encuentran aquellos de orden financiero por la carencia y dificultades en la consecución de divisas para los proyectos, pues el país no disponía de tecnología y recursos humanos especializados. La topografía, las lluvias, las vastas áreas inexploradas, los caudalosos ríos, la baja densidad de la población, la escasez de recursos

alimenticios, las guerras civiles y otros fenómenos políticos incidieron igualmente en la lentitud y retraso de la construcción de líneas férreas en este período. Entre las diferentes guerras civiles que se libraron, la guerra de los Mil Días causó los mayores trastornos en las instalaciones ferroviarias. Esta dejó destruidos y paralizados muchos tramos con las consecuentes inversiones para su recuperación. Las condiciones de transporte que reinaban a la llegada de los ferrocarriles y aún hasta principios de este siglo, fueron descritas por historiadores y narradores viajeros de la época. El medio de transporte más importante en aquel entonces era la mula y el caballo, seguido por los tercios. Estos últimos eran cargadores humanos de procedencia indígena o negra que transportaban personas y mercancías por caminos inaccesibles a las bestias por su tortuosidad o por los efectos de las lluvias torrenciales. Los precios de transporte fluvial disminuyeron considerablemente con la llegada de los barcos metálicos a vapor, pero el costo del transporte mular seguía siendo muy alto y aún superior y seguía siendo el transporte de los tercios. Debido a que la producción industrial en Colombia era prácticamente insignificante, todo tipo de artículos manufacturados tenía que ser importado. La diferencia de los precios para estos artículos en el área de influencia de los puertos fluviales y en el interior del país era muy notoria. Al contrario, los precios para los alimentos producidos en el interior, eran mucho mayores que el de aquellos mismos importados y vendidos en los valles de los ríos navegables. El tiempo utilizado para el transporte influyó igualmente sobre los precios. Por ejemplo, el recorrido desde Estados Unidos hasta los puertos fluviales en el Magdalena Medio resultaba relativamente más corto que el requerido entre Bogotá y Honda. Así, el transporte de bienes por tonelada kilómetro entre Bogotá y Honda podía alcanzar cinco o diez veces el precio de transporte del mismo peso desde Estados Unidos hasta el mismo puerto. A diferencia de los países europeos donde inicialmente los ferrocarriles vinieron a suplantar la ineficiencia y alto costo de las vías carretables hechas para carros con tracción animal, en Colombia el ferrocarril llegó a reemplazar directamente el transporte que se realizaba por caminos y trochas. Carreteras para carros tirados por caballos sólo existían en la

Sabana de Bogotá y Antioquia y el estado de los caminos era en general desastroso. El ferrocarril trajo pues como consecuencia directa el abastecimiento del transporte. De la situación anterior descrita sobre el tipo de economía existente en el país en regiones aisladas entre sí y las condiciones de transporte en el siglo anterior, se puede deducir que la localización de las primeras líneas férreas obedeció a estas circunstancias. El mayor aliciente para la implantación del sistema ferroviario fué la creciente producción de café, producto que generaba altos costos de transporte y que era destinado a la exportación hacia los países europeos y los Estados Unidos, donde había alcanzado gran aceptación y creciente demanda. El cultivo del café que había sustituido al cultivo del tabaco, se expandió en diferentes zonas del país dadas las condiciones climáticas favorables en la mayor parte de los departamentos y la feracidad de sus tierras. Inicialmente los cultivos se hacían cerca de los ríos navegables, pero poco a poco se fueron desplazando hacia las laderas de climas templados distantes de estos. La situación dispersa de los cultivos concentrados en diferentes regiones incidió en la conformación de la red férrea, que hasta comienzos del presente siglo estuvo constituida por un grupo de pequeños tramos aislados unos de otros los cuales conectaban los principales núcleos de población pasando por las regiones productoras hasta los puertos fluviales sobre el Magdalena, el cual seguía siendo el eje principal del sistema nacional de comunicación interna. Los productos destinados a la exportación se sacaban por caminos y trochas a lomo de mula hasta las estaciones del ferrocarril. De las estaciones se hacía el transporte hacia los puertos fluviales y allí se cargaban los vapores que los conducirían a los puertos marítimos y al exterior. El ferrocarril de Antioquia unió a Medellín con Puerto Berrío y Amaga; el ferrocarril de la Dorada unía a esta ciudad con Ambalema; el ferrocarril de Girardot unía a esta ciudad con Bogotá; el ferrocarril del Tolima a Ibagué con Flandes y el ferrocarril del Pacífico a Cali con Buenaventura. El ferrocarril de Cúcuta, el segundo construido en nuestro país e inaugurado en 1888, unía a esta capital con Puerto Villamizar sobre el río Zulia en la frontera con Venezuela. El café colombiano proveniente inicialmente de la

región de los Santanderes, buscaría su salida hacia el Lago de Maracaibo. Posteriormente los cultivos de café se desplazaron a Cundinamarca y Tolima y más tarde al occidente del país. La extensión de los ferrocarriles cafeteros se siguió ampliando en los decenios siguientes. Además de estas líneas, hasta 1915 se habían construido otras como el ferrocarril de Cartagena, el ferrocarril de Santa Marta y el ferrocarril del Nordeste que unía a Bogotá con Tunja. Hasta 1914 los ferrocarriles cafeteros disponían de 783 Kms. de líneas que correspondían aproximadamente al 70% de las existentes en todo el territorio nacional. Las construcciones más importantes fueron las del ferrocarril de Antioquia y las del Pacífico por el papel decisivo que desempeñaron en el desarrollo de la parte occidental de Colombia. El establecimiento del ferrocarril del Pacífico coincidió con la apertura del Canal de Panamá, hecho que también iría a influir notoriamente en la transformación de esta área, como se explicará posteriormente. El planeamiento, ejecución y propiedad de las líneas férreas estuvieron hasta los años treinta básicamente en manos de extranjeros ingleses y pocas veces en poder de compañías nacionales privadas. Los objetivos de los constructores apuntaban más a la productividad de sus propios intereses que a los intereses de la nación. Las primeras construcciones se financiaron con el endeudamiento del Estado a través de concesiones de explotación a las líneas, dadas a las compañías por períodos que se extendían hasta noventa nueve años y en segunda medida con el respaldo de bonos. Los bonos emitidos eran negociables en el exterior y representaban un endeudamiento progresivo de la nación, debido a que estos multiplicaban su valor por los intereses corridos y por las indemnizaciones que el Estado tenía que dar cuando por su parte no se cumplían los contratos. Junto a este sistema de financiamiento los empresarios recibían en propiedad inmensas extensiones de tierras baldías para su explotación, además exenciones de aduana e impuestos nacionales, departamentales y municipales, como también en tarifas de transporte. Las condiciones contractuales de la época se pueden ilustrar con los ejemplos del ferrocarril de Panamá y el ferrocarril del Cauca. Según Alfredo Ortega la concesión a la compañía norteamericana se hizo

para su uso y posesión por el término de noventa y nueve años. El gobierno se obligó a «no construir ni permitir que otra persona o compañía extranjera construyera ningún camino de rieles en el Istmo, ni permitir que, sin acuerdo o consentimiento de la compañía se ejecutara la apertura o explotación de ningún canal marítimo entre los dos océanos!...] en la zona privilegiada!...] Durante este tiempo la compañía podía reglamentar y establecer el uso de puertos, muelles y construir cualquier clase de vías de comunicación»!...] La compañía recibió «concesión a título gratuito y a perpetuidad 96.000 hectáreas de tierras baldías...«además por la ley se le dió concesión «en plena y perpetua propiedad de todas las tierras pertenecientes al Estado en la isla de Manzanillo». Años más tarde la Compañía Americana del Canal había comprado la mayor parte de las concesiones adquiridas por la Compañía del Ferrocarril.

Para el contrato sobre la construcción del ferrocarril del Cauca, uno de los tantos que habían sido asignados al ilustre empresario cubano Francisco Cisneros, además de haber asumido una buena parte de la financiación, el gobierno nacional concedió a la compañía constructora el privilegio de explotación a cincuenta años, exenciones de impuestos y aduanas y doscientas mil hectáreas de tierras baldías. A pesar de todas estas dificultades y circunstancias, puede decirse que la construcción de los ferrocarriles fué una labor intrépida. Según los análisis económicos del historiador W. P. Mc. Greevy, los ferrocarriles cafeteros aportaron un mayor beneficio social a Colombia, que aquellos que se construyeron posteriormente en el tercer decenio con miras a la integración del mercado interno.

4.1.3 Segundo Período. La primera guerra mundial produjo inicialmente en Colombia un estancamiento en el movimiento del mercado externo y una consecuente merma en la disponibilidad de divisas, hecho que repercutió en una disminución en la ejecución de vías de comunicación. Sin embargo, este acontecimiento influyó positivamente en una activación de la naciente industria que ya se orientaba al consumo interno. Durante los años veinte e inicios de los treinta, las construcciones de vías de comunicación tomaron un ritmo antes insospechado.

La necesidad de integrar la economía de los diferentes núcleos de producción y consumo en el interior del país, había sido ya reconocida en los decenios anteriores debido a las condiciones favorables de mercado que habían sido generadas por los excedentes de la producción cafetera. La activación del mercado interno sólo sería posible a través de la reorientación de la política de transportes con el mejoramiento, innovación y construcción de nuevas vías de comunicación y sistemas que permitieran integración de estos núcleos. La ampliación de la red férrea fue el principal propósito de esta política. La indemnización por la separación de Panamá llegó en el momento oportuno en que el país necesitaba los medios económicos para esta reactivación. El Estado se vio provisto de una gran capacidad financiera que le permitió hacer grandes inversiones en obras de infraestructura y en creación de instituciones. Numerosas firmas extranjeras y algunas nacionales acudieron atraídas por las perspectivas de rentabilidad con planes de financiación y empréstitos para iniciar un acometido tecnológico que iría a duplicar en menos de doce años la longitud de las líneas férreas construidas en los últimos cincuenta años e iría a impulsar en menor grado la construcción de las carreteras. El boom de los años veinte repercutió también en la realización de grandes obras de arte ingenieril y arquitectónico. Audaces construcciones como puentes, túneles, cables aéreos, terminales marítimos y acueductos, como también significativas y hermosas obras que enriquecieron la arquitectura de las ciudades, entre las que se cuentan estaciones, hoteles,

hospitales, viviendas y talleres, son un valioso testimonio de la prosperidad y dinamismo de aquella época. En términos cuantitativos globales, la construcción férrea durante este período presenta la siguiente situación: Durante el lapso en que transcurrió la primera guerra mundial hasta principios de los años veinte, los kilómetros construidos aumentaron ligeramente. Este escaso incremento de 315 km se dio en el ferrocarril de Antioquia, en el de la Sabana, en el de Santa Marta y en la iniciación del ferrocarril de Caldas. Pero en el lapso entre 1922 y 1934 aumentó considerablemente la capacidad nacional de 1.481 kms a 3.262 kms construidos, es decir en más de un 100%. En este período la red férrea alcanzó la mayor extensión durante su historia. Este último aumento vino a favor de los ferrocarriles de Antioquia, del Pacífico y del Tolima, los cuales duplicaron su capacidad, mientras los de La Sabana y los de dos Centrales del Norte la triplicaron. En el mismo intervalo fueron construidos el ferrocarril de Nariño, el de Ibagué y el de Caldas que apenas habían sido iniciados en el período anterior, y otros de menor importancia.

Al finalizar los años veinte, existía una concepción clara sobre la planificación de la red ferroviaria dentro del sistema vial del país. La red proyectada hacia el futuro inmediato comprendía un total de 5.251 kms, de los cuales habían en 1927, 2.420 en funcionamiento. En proyectos que comprendían un total de 2.297 kms se habían iniciado trabajos para la ampliación de la red y 534 kms que consideraban proyectos para realizar posteriormente. Al principio de los años treinta se habían interconectado diferentes tramos y con ello se eliminó una buena parte de los transbordos, produciendo así un efecto positivo en los cortos del proceso de carga y descarga. El volumen de carga y pasajeros transportado por los ferrocarriles había alcanzado su mayor eficiencia y rendimiento y su participación dentro de los demás sistemas de transporte ocupaba el primer lugar. La extensión de los kilómetros en servicio superaba a la de las carreteras. La red planteada en esta época sólo alcanzó a realizarse en un 60%. La política nacional de transportes iniciada por el partido liberal en 1930 significaría el abandono de un sistema

nacional de ferrocarriles en favor de una política vial que se iría a concentrar en el ensanchamiento de la red de carreteras. Fueron numerosos los proyectos y contratos sobre ferrocarriles, tranvías y cables aéreos, que se hicieron en este tiempo. Entre los que apenas se iniciaron o que nunca se llegaron a ejecutar hasta el presente, se encuentran los siguientes: Ferrocarril de Ibagué a Armenia. Ferrocarril Cúcuta-Río Magdalena. Ferrocarril del Carare. Ferrocarril Riohacha-Sierra Nevada de Santa Marta. Ferrocarril Pasto-Guapi. Ferrocarril Cúcuta-Pamplona. Ferrocarril Medellín-Urabá. Ferrocarril de Oriente., entre Bogotá y Villavicencio. Ferrocarril Neiva-Florencia. Ferrocarril Popayán-Pasto y otros. En cuanto al desarrollo económico e industrial que tuvo lugar en Colombia a partir de los años treinta, tres factores fundamentales influyeron directamente en las condiciones favorables que lo irían a posibilitar. En primer lugar la existencia de un mercado interno y una industria nacional incipiente; en segunda medida la política estatal de transportes de los años veinte y la disponibilidad de fondos y préstamos que permitieron las grandes obras de infraestructura como los ferrocarriles, y finalmente la crisis mundial que obligó al país a producir artículos de consumo que anteriormente tenía que adquirir del extranjero, fenómeno que se denominó «industrialización por sustitución».

4.1.4 Tercer Período. La política estatal del transporte orientada a la expansión intensa de las carreteras tuvo sus primeras manifestaciones después de la guerra de los Mil Días cuando se expidió durante el gobierno del General Rafael Reyes un plan para el mejoramiento del sistema de transporte y la construcción de carreteras.

Después de la crisis de 1929 que tuvo como efecto la revitalización y crecimiento acelerado de la industria, la creciente presión del vehículo automotor como un medio de transporte flexible se presentó como una alternativa más practicable y eficaz para la integración del mercado interno y por tanto para una mayor articulación entre las diferentes regiones del país. Así como los ingleses habían

construido y financiado una gran parte de los ferrocarriles con miras a la ampliación del mercado de la industria ferroviaria producida en el exterior y por las perspectivas de rentabilidad que a largo plazo les aseguraban las concesiones, la construcción de las carreteras obedeció también al interés de la industria automoviliaria norteamericana en la expansión de sus mercados en América Latina. La nueva política de transporte fué promulgada por el ministro de Obras Públicas Germán Uribe Hoyos, cuando después de cuarenta y cuatro años de interrupción el partido liberal volvió a subir al poder en 1930 con el presidente Olaya Herrera. Un año más tarde, el Congreso había aprobado el programa que daba prioridad al ensanchamiento de la red de carreteras, cuya extensión en las principales vías era en ese momento inferior a la de la red ferroviaria en explotación. La conexión de tramos de ferrocarril concluidos a principio de los años treinta posibilitaron la integración de varias regiones fueron prácticamente las últimas obras de esa hermosa y pujante época en la que los ferrocarriles fueron un factor determinante en el desarrollo del país y mantuvieron por varios decenios la primacía entre los demás sistemas de transporte. En los años treinta el transporte masivo de carga y pasajeros era abastecido primordialmente por el ferrocarril. A partir de la cuarta década el ferrocarril entró en competencia con el vehículo automotor y veinte años más tarde el sistema de carreteras había alcanzado una clara supremacía sobre éste. Actualmente aproximadamente el 90% del volumen de carga es transportado por carreteras y el transporte de pasajeros por ferrocarriles ha desaparecido. El abandono, deterioro, desmonte y paralización de las líneas férreas obedeció a la carencia de una planificación integrada de los diferentes modos de transporte que tuviera en cuenta su complementariedad y no la sustitución de los ya existentes. La falsa concepción reflejada en las acciones siguientes, suponía que la dedicación exclusiva a la construcción de las carreteras como sistema prioritario para el tiempo futuro, implicaría la sustitución y el abandono paulatino de los ferrocarriles. La nueva política no dió peso significativo a un sistema intermodal en el cual se planteara la continua renovación y mantenimiento de la infraestructura ferroviaria que en ese momento estaba

funcionando en su totalidad. Desde entonces comenzó a considerarse el sistema férreo como un sistema obsoleto, como algo que ya no valía la pena mejorar. El desmonte y paralización de las líneas comenzó en 1933 con la construcción de las carreteras de Cúcuta a Puerto Villamizar y a Pamplona a expensas de la carrilera. Años más tarde, fueron desmontados los rieles que unían a Tumaco con el Diviso para dar paso sobre su banca a la carretera. La suspensión de tramos se dió por diferentes motivos, pero principalmente por considerarlos no rentables o innecesarios ya que algunas carreteras se habían trazado en dirección paralela a éstos. Entre las líneas suspendidas o desmontadas se encuentran además: El ferrocarril de Barranquilla (o Bolívar) desmontado en 1940 debido a la apertura de las Bocas de Ceniza; el ferrocarril de Cartagena a Calamar suprimido en 1951 por la reapertura del Canal del Dique; en 1955 quedaron desconectadas las líneas de Manizales y Pereira de la red nacional, por el levantamiento de sus rieles en el área de Pereira, consecuencia de una acción cívica que solicitó del gobierno el traslado de la estación central y la desviación de la carrilera hacia las afueras de la ciudad; también fueron suspendidas las líneas entre Cartagena y Sincerín, donde existe un ingenio azucarero, entre Suárez y Popayán, entre Quimbaya y Armenia y otras.

En los años ochenta había líneas que se consideraban «en funcionamiento» y que en realidad presentaban un servicio muy ocasional; tal es el caso del tramo entre La Caro y Barbosa que pasa por Chiquinquirá, en donde transcurrían meses sin que pasara un tren. La conexión férrea entre el departamento de Antioquia y el Océano Pacífico estuvo interrumpida por más de diez años. Los materiales provenientes de los cortes a media ladera que se ejecutaron para construir la Carretera Troncal de Occidente fueron arrojados al río Cauca; el lecho del río subió y en 1972 una creciente sepultó la línea a partir de La Felisa. En resumen, haciendo un cálculo global de la longitud de los tramos que se ha suspendido o desmontado definitivamente en este último período, se puede concluir que estos suman un total de ochocientos Kilómetros aproximadamente. En 1934 estaban en

funcionamiento 3.262 kms, en 1949, 2.983; en 1961 3.431 y en 1980, 2.900 kms. El aumento de la extensión entre 1949 y 1961, se debe a la construcción del ferrocarril del Atlántico que entró en funcionamiento en este último año. La disminución posterior se debe a la suspensión de los servicios de Pereira a Manizales, Cartago y Armenia, a la paralización de la línea entre Suárez y Popayán y a la interrupción entre Cartago y la Felisa. Las obras más importantes construidas en los últimos decenios fueron el empalme del ferrocarril de Antioquia con el ferrocarril del Pacífico en 1946 y el ferrocarril del Atlántico. La construcción de este último obedeció a las recomendaciones de la Misión Curie que en 1950 propuso la integración ferroviaria regional con la construcción del ferrocarril del Atlántico y del tramo faltante entre Ibagué y Armenia. El trazado e iniciación de este último tuvieron lugar a principios de los años treinta, obras que fueron suspendidas debido al auge que tomaron las carreteras. La necesidad de realizar esta última obra, y la de construir el ferrocarril del Carare, cobró en el decenio anterior gran actualidad. La carretera que une a Ibagué con Armenia no tiene las especificaciones necesarias para abastecer el tipo de tráfico y carga que se mueve en la pesada travesía de la cordillera central. La construcción del tramo faltante (por túnel) posibilitaría el traslado directo de carga hacia Buenaventura de las regiones que no tienen acceso a la red en el occidente del país. El transporte de carga entre Puerto Salgar y Bogotá es ineficiente y está limitado a bajas velocidades y baja capacidad de arrastrarse debido a los fuertes declives y al estado de la carrilera. El restablecimiento de la vía entre La Caro y Barbosa y su prolongación hasta el río Magdalena atravesando la región del Carare, permitiría una mayor capacidad y además iría a influir positivamente en el desarrollo de esta región. Influencia de los ferrocarriles en la ocupación del territorio en Colombia.

Los ferrocarriles desempeñaron un papel importante en la ocupación del territorio Colombia no. A nivel rural influyó en forma significativa en la ampliación de la frontera agraria principalmente en los cultivos del café. En el ámbito urbano influyó notoriamente en la transformación del sistema urbano por el impulso al

crecimiento y desarrollo de ciudades y por la creación de nuevos asentamientos. Concretizando lo anteriormente expuesto se puede concluir que en una primera fase los ferrocarriles influyeron en la conformación de las regiones productoras agrícolas, en la época del "crecimiento hacia afuera", en la cual la economía nacional estaba orientada al consumo de subsistencia y a la exportación. La función principal de los ferrocarriles como un sistema innovador, consistió en el mejoramiento del transporte (capacidad, costos, tiempo...) entre los principales núcleos urbanos, las áreas de producción y los puertos de embarque fluvial y marítimo. Esta etapa estuvo relacionada con la expansión del café, primeramente en los Santanderes, en Cundinamarca y Tolima, y posteriormente en Antioquia y el viejo Caldas en la última fase de la colonización antioqueña. En el Valle del Cauca con los cultivos de la Caña de Azúcar y la creación de grandes ingenios y en la costa atlántica con el cultivo del banano. Como se anotó anteriormente, los primeros ferrocarriles se distribuyeron sobre el territorio en tramos dispersos, situación que obedecía al aislamiento de las regiones entre sí. En una segunda fase que se inició en los años veinte, la expansión de las líneas férreas se orientó a la consolidación y articulación de las regiones, debido a la orientación de la política económica a la integración del mercado interno y más tarde a la necesidad de conectar las líneas o redes del interior sobre un eje que fuera a comunicar con el océano Atlántico. La construcción de nuevas líneas conectó tramos dispersos uniendo regiones y ensanchando la red en otras direcciones. La integridad y funcionamiento de lo que se pudiera denominar como una red nacional dejó prácticamente de existir por el desmonte y paralización de líneas y la consecuente interrupción entre las regiones. El mayor impacto de los ferrocarriles sobre el desarrollo regional y urbano se atribuye principalmente a la conformación del cordón de desarrollo entre los departamentos de Antioquia, los del Viejo Caldas y el Valle del Cauca como también al desarrollo del área norte del departamento del Atlántico. La evolución de Cali, Barranquilla, Manizales y Pereira vino a evitar la primacía urbana de una o dos ciudades del territorio nacional con gran distanciamiento de las demás como es el caso en otros países del continente. La

influencia de los ferrocarriles en la ocupación espacial puede apreciarse a través del análisis de diferentes factores, cuyo estudio puede ser objeto de una investigación profunda. Aquí vale la pena hacer referencia a dos indicadores importantes: Por una parte, la evolución del volumen de carga y de pasajeros transportados desde que comenzó a funcionar el ferrocarril en una determinada región hasta el momento en que el transporte férreo entró en competencia con las carreteras; por otra, el desarrollo demográfico de los núcleos urbanos que estaban situados o que se generaron dentro del área de influencia inmediata por donde pasaban las líneas férreas, dentro del mismo período. Las cifras globales para la región occidental demuestran que los mayores flujos de carga ferroviaria se alcanzaron cuando al finalizar los años veinte el ferrocarril de Caldas se encuentra en pleno funcionamiento y se une con el ferrocarril del Pacífico. La integración de estas dos redes con el ferrocarril de Antioquia vino a organizar el cordón de desarrollo en el Occidente de Colombia, en el momento en que las carreteras no habían desplazado completamente a los ferrocarriles. La apertura del canal de Panamá incidió decisivamente en la orientación del flujo de carga de la región occidental hacia Buenaventura debido al descenso de costos del transporte hacia el exterior que se veían reducidos por las bajas tarifas de transporte marítimo que sustituía al terrestre entre el interior del país y la costa sobre el Océano Atlántico.

Además el movimiento de carga entre el interior del país y las naciones situadas sobre el Océano Pacífico se hacía fundamentalmente por vía férrea y vía marítima, evitando así el uso de transporte fluvial. La implantación de los ferrocarriles no contribuyó significativamente al aumento del número de poblaciones ni al ensanchamiento de la malla urbana nacional, que al finalizar el siglo anterior ya se encontraba definida en la forma como existe actualmente. Antes de llegar los ferrocarriles, la mayor parte de las poblaciones y ciudades se encontraban unidas por una red de caminos y por vías fluviales. Las últimas fundaciones que fueron muy numerosas, se hicieron en el siglo pasado durante la colonización antioqueña. Así, la influencia de los ferrocarriles fué mayor en la

conformación del sistema urbano en Colombia, por el cambio que iría a generar en los niveles de jerarquía de diferentes núcleos como por ejemplo sobre el crecimiento de Barranquilla y Cali, ciudades que pasaron a ocupar un puesto entre las cinco mayores del país. El ferrocarril también tuvo influencia sobre el desarrollo de los puertos de Buenaventura, Tumaco. Puerto Berrío, Puerto Wilches e igualmente en la revitalización de Santa Marta en los últimos años. También en otras ciudades a donde a principios del siglo se transportaba todo tipo de artículos de consumo y maquinaria para el montaje de industrias como en el caso de Medellín y donde además tenía lugar la comercialización de los productos como el café y por lo tanto había un movimiento monetario. Algo similar sucedió con Manizales, Armenia y Pereira. La convergencia de varias líneas en algunas de estas ciudades como en Bogotá, Cali y Pereira contribuyó igualmente a su desarrollo, pues estos puntos de cruce eran lugares estratégicos en el movimiento de carga y pasajeros procedentes de diversas direcciones. El caso de Barranquilla y Puerto Berrío tiene su particular importancia por ser los principales nodos entre el transporte férreo y el transporte fluvial. Estas ciudades son puertos terminales de transbordo sobre el río Magdalena. Barranquilla se desarrolló como ciudad a partir de la instalación del ferrocarril; su crecimiento económico y físico tomó tal impulso que en pocos años desplazó en importancia comercial a Santa Marta y Cartagena; el florecimiento de su economía permitió en esta ciudad la instalación de las primeras industrias metalmecánicas en Colombia. El viaje en tren de Barranquilla al mar gozó por mucho tiempo gran popularidad y este movimiento generó el asentamiento de caseríos, quintas y lugares de recreación. Puerto Berrío alcanzó su mayor auge mientras estuvo garantizado el movimiento entre el interior de Antioquia y el Océano Atlántico. Después esta población entró en un período de estancamiento y decadencia, del cual se iría a recuperar muchos años más tarde. Fueron relativamente pocos los núcleos urbanos que se fundaron o nacieron como consecuencia de la construcción de los ferrocarriles. El más importante de ellos fue Puerto Berrío en Antioquia, fundado por Francisco Cisneros en 1875 al iniciarse la construcción de la línea que uniría al río

Magdalena con Medellín. Sobre este mismo tramo, de algunas estaciones rurales, se formaron municipios como Caracolí, Cisneros y Yolombó. En el departamento del Valle un campamento ferroviario evolucionó a lo que hoy es la población de Dagua, asentamiento que se convirtió en municipio cuando se construyó el ferrocarril del mismo nombre, el cual lo iría a unir con el puerto marítimo de Buenaventura. En Cundinamarca en 1938 fué trasladada la población de Puerto Liévano con el nuevo nombre de Puerto Salgar a un lugar más apropiado para el atracado de los barcos de vapor, de donde se efectuaría el transbordo de carga y pasajeros al ferrocarril que comunicaría con el interior de este departamento y con Boyacá.

4.1.5 El impacto urbano. A nivel de todo el país, como se mencionó anteriormente, el mayor impacto urbano se produjo sobre el impulso al crecimiento de las ciudades, lo cual evitó la excesiva concentración urbana y generó un cambio en los niveles de jerarquía. El impacto ocasionado particularmente sobre las distintas poblaciones y ciudades presenta situaciones diferentes y varía en intensidad y escala según el asentamiento. En términos generales los impactos urbanos se pueden entender por la incidencia de los ferrocarriles sobre la estructura urbana, su influencia en el orden funcional de la ciudad y por los efectos de orden social y ambiental.

Las líneas férreas han influido sobre la forma de las ciudades por cuanto han propiciado sus tendencias de crecimiento en una determinada dirección. Esto se puede constatar claramente en el proceso de crecimiento de la ciudad de Bogotá por la influencia del Ferrocarril de La Sabana en dirección occidente hacia Facatativá y del Ferrocarril Central del Norte en dirección Puente del Común-Zipacquirá. El impacto sobre la conformación física urbana se puede apreciar igualmente por la función limitante al crecimiento cuando las líneas corrían tangencialmente al casco urbano; con el auge de la expansión urbana, las carrileras quedaron insertadas dentro de la ciudad asumiendo la función de una

molesta barrera para el desarrollo e integración de las actividades mediatas a lo largo de la vía y la interrelación de los sectores. El crecimiento urbano y el aumento del flujo automotor exigían un mejoramiento en la funcionalidad de la red vial, por lo cual las líneas tuvieron que ser desplazadas a la periferia como sucedió en Bogotá con la línea del Ferrocarril Central del Norte, lo cual permitió construir la Avenida Caracas y la Autopista sobre los derechos de vía del Ferrocarril. Algo similar sucedió con la Avenida Ciudad de Quito (Carrera 30) que pudo construirse sobre el trazado del ferrocarril del Nordeste tras su desplazamiento hacia el occidente de la ciudad. A través de esta transformación antiguas carrileras se convirtieron en ejes direccionales espaciales de comunicación de la ciudad. El impacto potencial del Ferrocarril en las ciudades de Medellín y Bogotá se dará por la adaptación de las líneas para el transporte masivo, lo cual generará una gran transformación en el uso, densificación, funcionalidad y costo del suelo, como también efectos sobre el transporte automotor, flujos de pasajeros e impactos sobre el medio ambiente. Los ferrocarriles pueden considerarse como un elemento estructurante de la ciudad no solamente por su efecto sobre el crecimiento y la forma urbanas, sino también en el sentido de que las líneas férreas pueden ser un elemento de afectación a la continuidad de la trama urbana y a la relación de los sectores de la ciudad. La forma como la línea remata en la ciudad incide igualmente sobre la malla urbana, como en el caso de las estaciones terminales de Bogotá y Medellín o de estaciones de paso como lo fué en Manizales y Pereira. En algunas poblaciones menores de poco crecimiento la trama urbana no sufre alteración mayor pues el trazado de la línea y la ubicación de las estaciones sucede tangencialmente. En otras poblaciones el desarrollo urbano que al comienzo se dió sobre un lado de la carrilera alrededor de la estación, se extiende posteriormente al otro costado quedando esta incrustada dentro de la misma malla urbana. En otros casos existe una interrelación de la trama urbana con la línea férrea a través de un espacio público el cual sirve de lugar intermedio entre la estación y la ciudad como se puede apreciar en la ciudad de Cartago. El acelerado crecimiento urbano en las grandes ciudades en relación con los ferrocarriles ha

generado desarrollos particulares tales como aparición y ensanchamiento de áreas industriales, enormes superficies de talleres y bodegas incrustados en la ciudad, pero también utilización inadecuada y deteriorante de las franjas de aislamiento contiguas a las carrileras destrazadas e invadidas por tugurios, desechos y malezas, montones de vagones corroídos por la lluvia y el tiempo, sumado a ello una carga en costos de vigilancia y un impacto negativo de afeamiento a la estética urbana. El impacto urbano se puede apreciar igualmente en función de la influencia de las estaciones sobre el espacio público, la vivencia y el ambiente de las ciudades por la presencia de los trenes en los tiempos de prosperidad, pero también por un efecto positivo en el valor de uso, e imagen urbana, generado por la singularidad y valor arquitectónico de las construcciones ferroviarias, entre las cuales, las de mayor significado son las estaciones.

5. ELEMENTOS DE LA VÍA

5.1 BALASTO¹

Aunque la vía que se instala actualmente en los modernos ferrocarriles metropolitanos y tranvías suele ser vía en placa, es decir, vía colocada sobre una estructura rígida de hormigón, y que confía la elasticidad necesaria para la vía a elementos flexibles situados entre el carril y la placa, existen todavía muchos kilómetros de vía en balasto, y se siguen construyendo así en los tramos en superficies en muchas ciudades y en los ferrocarriles de medias y largas distancias, fundamentalmente por su menor coste a corto plazo.

La experiencia de muchas décadas en explotaciones ferroviarias llevo, hace más de un siglo, a la conclusión de que la mejor solución para el reparto de cargas bajo la traviesa era colocar un material granular. Este material se conoce como balasto, y es una capa de piedra partida que se coloca sobre la plataforma envolviendo a las traviesas en cinco de sus seis caras. De esta forma el balasto transmite y reparte las cargas para no superar las tensiones admisibles de las capas inferiores, empotra a las traviesas para evitar el movimiento longitudinal debido a la dilatación, la aceleración y el frenado del tren y el movimiento transversal debido al movimiento de lazo y a la fuerza centrífuga, proporciona la elasticidad necesaria a la vía, haciendo más cómoda la rodadura y reduciendo los impactos debido a los efectos dinámicos, permite afinar la rasante de la vía actuando sobre él, facilita el drenaje y permite la evaporación del agua de la plataforma.

¹ F. GONZALEZ, J.FUENTES, Ingeniería Ferroviaria, Segunda Edición, Editorial: Unidad Didáctica, 2010.

Además, al actuar sobre el balasto mediante equipos especializados como las bateadoras, pueden recuperarse las características geométricas de la vía, se impide el crecimiento de plantas y arbustos, se reduce el peligro de heladas y se amortigua el ruido transmitido a través del aire.

El balasto se utiliza en grandes cantidades, por lo que además de una serie de características técnicas que sirven para definir su calidad, como la dureza, la forma cubica y con aristas, la graduación de tamaños y limpieza, debe cumplir unas condiciones económicas básicas que, en general, no pueden desligarse de las primeras, constituyendo todas ellas un conjunto de condiciones que obligan a una elección de compromiso. La calidad que exige al balasto obliga a obtenerlo en zonas que pueden estar a grandes distancias de los puntos de utilización, lo que puede aumentar el coste hasta un 40%.

La gran ventaja del balasto es el estar formado por partículas independientes que le permiten moverse y proporcionar las características elásticas que precisa la vía. Pero ahí radica también su desventaja principal, que le permite deformarse a lo largo del tiempo bajo el paso de las cargas, obligando a mantenimientos costosos de la geometría de la vía.

Una solución puede ser la utilización de un material que una las partículas del balasto entre sí, pero permitiendo al mismo tiempo los pequeños movimientos relativos que dan la flexibilidad a la vía.

5.1.1 Roca de origen. La piedra para balasto de ser preferiblemente silíceo. Son preferibles las de origen ígneo, ya sean plutónicas o volcánicas, aunque se admiten las de origen metamórfico, como las anfibolitas, corneanas o cuarcitas, y las de origen sedimentario, cada una de ellas con sus ventajas e inconvenientes, y cuyo comportamiento en la vía resulta muy diferente.

5.1.2 Fabricación y forma del balasto. La forma del producto final es condición básica para funcionalidad que se le exige al balasto. Este debe proceder de la extracción, machaqueo y cribado, de bancos sanos de canteras de las rocas antes citadas. Es importante que el balasto sea un producto de machaqueo, pues las piedras con formas planas, como también ocurre con los cantos rodados, tienden a resbalar unas sobre otras y no se consigue el rozamiento necesario entre traviesa y balasto.

En el caso particular de la traviesa de madera el balasto con aristas vivas se clava en la cara inferior de aquella, consiguiéndose un mayor rozamiento. Pero, además de las aristas, conviene que la piedra se aproxime a la forma cubica. La arista viva, junto con la forma citada, tiene un efecto de encaje de las piedras entre si, procurando una buena resistencia frente al deslizamiento longitudinal y transversal de las traviesas, sobre todo si estas son de madera.

5.1.3 Dimensión de las piedras. En la mayoría de las administraciones ferroviarias el tamaño del balasto está comprendido entre 20 y 50 mm o entre 30 y 60 mm. En España las medidas aceptadas por norma van desde los 31,5 mm a los 63 mm. No se admiten tamaños menores de 30mm porque aunque aumentaría la compacidad y mejorarían la transmisión de cargas de la traviesa, se colmatarían los huecos y el balasto se impermeabilizaría. Como consecuencia, el tamaño mínimo se limita para asegurar el drenaje, la evaporación del agua infiltrada y evitar el efecto de bombeo.

Se limitaría también el tamaño máximo porque dificultaría la colocación del balasto de mayor tamaño y aumentaría los gastos de conservación, dificultaría también la nivelación, que debe poder ajustarse en milímetros.

5.1.4 Características mecánicas. La circulación de los trenes crea sobre la vía una onda de avance que da lugar a la elevación de las traviesas situadas delante del vehículo en el sentido de su marcha. Esto provoca que en su descenso la traviesa golpee el balasto, lo que da lugar a un desgaste progresivo. Este efecto es más acusado en las vías con juntas en los carriles. Como consecuencia el balasto debe ser tenaz para no permitir la abrasión de unas piedras contra otras, duro para que no se machaque por efecto del tráfico y no friable para que no se disgregue por efecto de las heladas.

Las características del balasto en servicio se modifican en razón de la degradación mecánica de las partículas durante los trabajos de construcción y mantenimiento y también bajo las cargas del tráfico, la degradación química y mecánica por causas climatológicas y la contaminación por finos del balasto.

5.1.5 Ensayo de caracterización física. El ensayo de desgaste de los Ángeles, consiste en medir la pérdida de peso de un muestra del material a la que se ha sometido a golpeteo en un cilindro metálico giratorio de eje horizontal, en el que se añaden unas esferas de fundición o acero de un diámetro aproximado de 47 mm y un peso comprendido entre 390 y 445 gramos cada una. Girando 1.000 vueltas a 30 revoluciones por minuto se criba la muestra por el tamiz de 1,6 mm. La pérdida de peso expresada en tanto por ciento del peso inicial es el denominado coeficiente de desgaste de los Ángeles.

De acuerdo a la exploración de campo realizada y los registros fotográficos, el balasto se compone de grava o roca triturada.

5.1.6 Descripción visual. En el transcurso del recorrido del segmento I, se observaron diferentes estados del balasto como:

- **K0+000:** Se observó que hay deficiencia en el espesor de la capa de balasto, también requiere limpieza de la capa vegetal que está aflorando y desechos que la población arroja a la vía. Ver **Figura 1**.

Figura 1. K0+000, Estación Barrancabermeja.



- **K0+400 y K1+800:** En estos puntos se encuentran intersecciones viales, por donde transitan vehículos de carga liviana y pesada. Por este motivo no hay balasto, en su lugar existe pavimento pero de la misma forma requiere mantenimiento. Ver **Figura 2**.

Figura 2. Izquierda K0+400, derecha K1+800



- **K0+600 – K2+000:** Se encuentra deficiencia total del balasto, hay abundante presencia de escombros, desechos y capa vegetal. Ver **Figura 3**.

Figura 3. Izquierda K0+600, derecha K1+000.



- **K1+100:** En este punto se nota la falta de conciencia ciudadana, ya que la presencia de residuos y basuras es excesiva, debido a que las casas se encuentran ubicadas muy cerca de la vía férrea. Ver **Figura 4**.

Figura 4. Residuos y basura en K1+100.



- **K2+600 y K5+200:** Falta de balasto y presencia de capa vegetal. Ver **Figura 5**.

Figura 5. Izquierda K2+600, derecha K5+200.



En los puntos no mencionados, se encuentra suficiente balasto y en muy buen estado. Ver **Figura 6.**

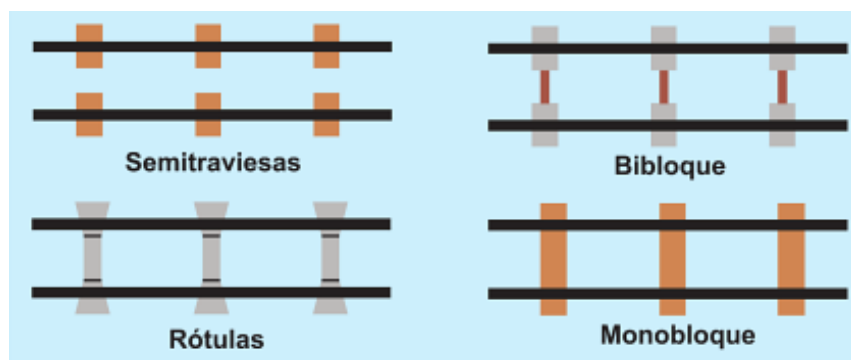
Figura 6. Balasto suficiente.



5.2 TRAVIESAS

Es el elemento transversal de la vía, situado entre el carril y el balasto, que forma con el carril el emparrillado de la vía. Sirve de soporte a los carriles, mantiene el ancho de la vía y su nivelación y mantiene la inclinación de 1/20 en los carriles. Tiene como misión además resistir los esfuerzos en las tres direcciones creados por el tren y recibidos por el carril, y transmitirlos al balasto. Debe aislar además eléctricamente un carril de otro. Tipológicamente los tipos de traviesa son los que se resumen en la siguiente figura.

Figura 7. Tipos de travesía



Fuente: F. Gonzalez, J.Fuentes, Ingeniería Ferroviaria, Segunda Edición, Editorial: Unidad Didáctica, 2010.

Aunque antiguamente se utilizaron mucho las traviesas metálicas, actualmente son de madera o de hormigón (armado y pretensado), y en los ferrocarriles metropolitanos de nueva construcción son siempre de hormigón pretensado.

La forma de la traviesas es una solución de compromiso entre la resistencia necesaria y la necesaria economía de construcción y conservación. Cuanto más pesa, más estabiliza la vía, pero más gasto de manipulación se genera. La dimensión total de la superficie de apoyo se determina por cálculo, de tal forma que las tensiones máximas transmitidas por la traviesa al balasto no excedan de

un cierto valor determinado. La idea es que el momento flector sea el menos posible. Interesa una forma estrecha en el centro y ancha en los extremos.

Las traviesas se colocan con un espaciamiento mínimo de 50 cm porque menos hace imposible el bateo y un máximo que depende de la naturaleza de la plataforma, de la carga por eje y del carril, pudiéndose llegar a 80 cm en vías secundarias. La distancia normal entre traviesas es de 60 cm.

5.2.1 Traviesas en concreto. Comenzaron a utilizarse de hormigón armado durante la Primera Guerra Mundial, pero no tuvieron éxito en primer lugar por la tendencia a la rotura frágil por cargas bruscas, lo cual se manifiesta en una figuración en la zona de apoyo del patín u en la zona de la sujeción, todo ello seguido de la desintegración del hormigón, y en segundo lugar por la poca resistencia a la fatiga creada por la alternancia del signo de los momentos. Por ello las traviesas de hormigón que se utilizan hoy son exclusivamente pretensadas o postensadas.

El hormigón pretensado supone una buena solución ya que mejora la resistencia a esfuerzos alternativos al trabajar siempre a compresión, disminuye el espesor de la traviesa, fundamentalmente en el centro.

Las traviesas en concreto que se encuentran en el tramo en estudio, son traviesas mono bloque de sección variable, en sus extremos se observa una sección trapezoidal que va cambiando hacia el centro a una sección rectangular.

Ventajas:

- Vida media entre 40 y 50 años.
- Estabilidad de la vía debido su peso.
- Gastos de mantenimiento bajos.
- Facilidad de reparación e incombustibilidad.

- Eficiencia energética, reducción de combustible de las locomotoras.
- Excepcional resistencia a la intemperie y a la corrosión.
- Amigable con el medio ambiente.

Desventajas:

- Elevado costo.
- Difícil manejo debido a su peso.

Las traviesas en concreto del segmento I, se encuentran en buen estado, pero se recomienda hacer un mantenimiento y limpieza.



5.2.2 Traviesas en madera. Se utilizan cada vez menos por las ventajas de las traviesas de hormigón, pero existen todavía muchos centenares de kilómetros de vías con traviesas de madera. Las ventajas de la madera son la resistencia incluso en accidentes, la resistencia al deslizamiento ya que el balasto se clava en la madera, el fácil manejo por su peso reducido y su posibilidad de reutilización. Tiene como inconvenientes su envejecimiento, su combustibilidad, su menor peso con lo que estabiliza menos la vía, su deterioro ante efectos animales y la paulatina debilitación de las sujeciones.

Las maderas empleadas son: roble, haya, pino, abeto, cedro, pinabeto, abedul, eucalipto y recientemente maderas tropicales de muy buenas características como la akoga. El criterio es que las maderas duras pueden valer hasta 200km/h. Las características físicas normales son una densidad de 750 a 800 kg/m³, una resistencia al arranque de 40 a 60 Ton y un módulo de elasticidad de $7 \cdot 10^5 - 8 \cdot 10^5$ kg/m².

No se exigen que las traviesas de madera sean rectas, pero si que si cara inferior sea plana. Las caras laterales deben ser sensiblemente paralelas y la superior debe tener una parte plana, al menos, para apoyo de los carriles.

Las traviesas en madera tiene tres fases fundamentales de fabricación: la tala, descortezado y labrado, el secado, zunchado, cajado y taladrado y finalmente la impregnación de materiales como la cerosota, que la hacen imputrescible.

Las maderas más adecuadas son las tropicales, sin embargo, cuando éstas fueron escaseando, se sustituyeron por otras de peores características pero más disponibles en el mercado.

La madera sin tratamiento no podría colocarse como traviesa en la vía, ya que no tardaría en producirse su putrefacción y su deterioro sería muy rápido. Para evitar esto, se somete a las traviesas a un proceso de inyección de aceites pesados para rellenar sus células. El aceite utilizado es la creosota que procede de la destilación de la hulla.

Ventajas

- Buenas características mecánicas ante esfuerzos (flexibilidad, resistencia a la flexión y tenacidad)
- Aislamiento eléctrico
- Posibilidad de cajado y clavado de las sujeciones
- Resistencia al deslizamiento sobre el balasto (incrustaciones)
- Peso reducido (facilidad de manejo transporte y colocación)
- Buen comportamiento en descarrilamiento
- Proceso de fabricación económico y sencillo

Desventajas

- Vida media 20 años (inferior a las de concreto)
- Limita la estabilidad lo que obliga a limitar la velocidad
- Sujeción elástica costosa
- Combustibilidad
- Pérdida de características mecánicas en su uso
- Debilitamiento de las sujeciones
- Daño ambiental

Las traviesas en madera del segmento en estudio, están situadas en los puentes y en los desvíos y se encuentran muy deterioradas, pues unas están podridas y otras sencillamente no están. Se recomienda hacer el cambio total de estas traviesas.

Figura 8. Traviesas en madera



5.3 SUJECIÓN

Se denomina sujeción al conjunto de elementos cuyo objeto es dar continuidad estructural a la vía. La sujeción se constituye a partir de los elementos que fija el carril asegurando una posición estable del mismo sobre la traviesa. Las principales funciones para las que se diseña la sujeción son:

- Fijar los carriles a las traviesas.
- Asegurar la invariabilidad del ancho de la vía.

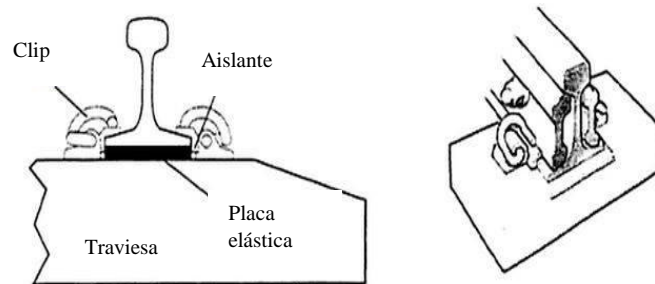
5.3.1 Sujeción para traviesa tipo Pandrol. Son elementos que aseguran una reducción efectiva de las emisiones de vibración que se producen en la relación traviesa - riel, mientras que las cargas verticales y horizontales son absorbidas por el elemento de apoyo que es la traviesa. Es un elemento cuya función específica es la de anclar el riel al durmiente, a las planchas de apoyo o a otros soportes de la vía.

Esta sujeción no incluye ningún tipo de elemento roscado para el apriete con lo que se mejora sustancialmente el mantenimiento aunque tiene el inconveniente de que no se controla el esfuerzo de apriete. Es aplicable a cualquier tipo de traviesa, existiendo diseños para aplicar a traviesas de hormigón de madera o metálicas.

El elemento fundamental de la sujeciones tipo Pandrol es el clip, ver **Figura 7**, fabricado a partir de una barra de acero de alto límite elástico. El apriete se consigue por la deformación del clip².

² Ibid. Pág. 64

Figura 9. Sujeción tipo Pandrol



Sujeción tipo pandrol



El material a utilizar en su construcción está definido por la norma BS 970 - PARTE 2:198 – grado 251 A 58, o bien acero SAE 9254 o 9260 o DIN EN 10089 tipo 38 Si 7, o cualquier otro acero que, a propuesta del fabricante, tenga las mismas características de los anteriores, que sea admitido y aprobado por la autoridad de aplicación.

5.4. RIEL O CARRIL

Se denomina a cada una de las barras metálicas sobre las que se desplaza las ruedas de los trenes, ver **Figura 8**. Los rieles se disponen como una de las partes fundamentales de las vías férreas y actúan como soporte y dispositivo de guiado. La característica técnica más importante del riel es el contacto con la rueda.

El carril más utilizado actualmente es el perfil Vignole, debido al ingeniero inglés CHARLES VIGNOLE (1793-1875), que se caracteriza por tener tres partes bien diferenciadas: cabeza, alma y patín. Este tipo de carril se fija directamente a la traviesa o por medio de placas³.

Figura 10. Sección transversal de un riel Vignole



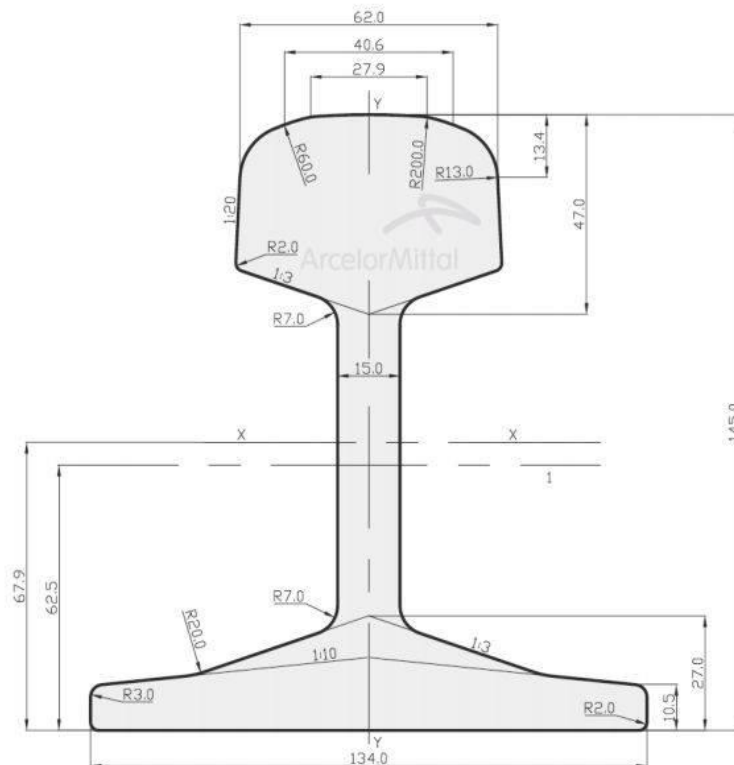
El carril se caracteriza fundamentalmente por la forma y por su peso. Esta última cualidad da una idea de robustez y capacidad de resistencia ante las cargas a las que va a estar sometido. Normalmente el carril se designa por algún acrónimo

³ Ibid. Pág. 35

referido a la administración u organismo que se ha encargado de normalizar sus características y con un número que indica el peso por unidad de longitud⁴.

Un riel como el encontrado en el Segmento I, designado 46E2 (U33) tiene un peso de 46 kg/m, según la normalización EN 13674 – 1. Las dimensiones básicas de los rieles 46E2 (U33) se muestran en la siguiente figura:

Figura 11. Sección transversal, riel tipo 46E2 (U33)



Fuente: ArcelorMittal. Catálogo general de carril. <http://www.arcelormittal.com/rails+specialsections/catalogues/general/general-rail-EN-ES.pdf>. P. 9. [Citado: 14 de Julio de 2014]

Las funciones del riel son fundamentalmente:

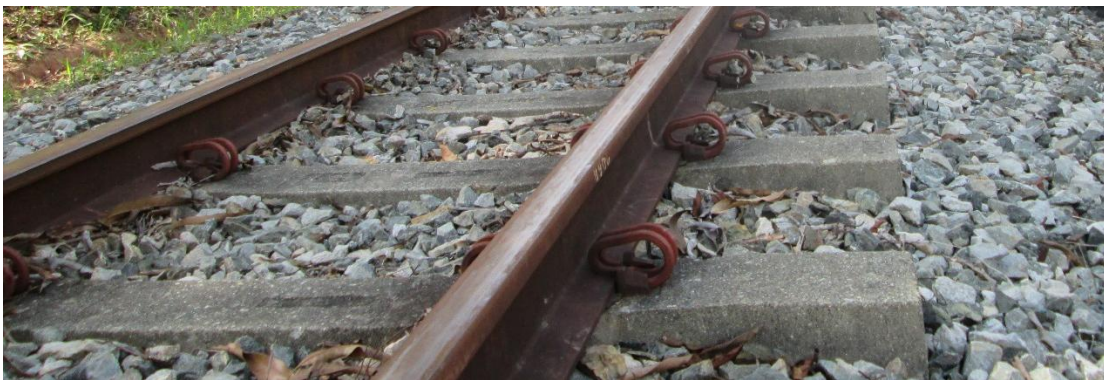
- Resistir directamente las cargas que recibe el material rodante y transmitirlas, a su vez, a los otros elementos que componen la estructura de la vía.

⁴ Ibid Pág. 30

- Realizar el guiado de las ruedas en su momento.
- Servir de conductor de la corriente eléctrica para la señalización y tracción en las líneas electrificadas.

Los carriles son hoy día de acero, aleaciones de hierro en la que la proporción de carbono es importante y que se pueden forjar. Las características químicas y físicas deben dar al acero del carril una alta resistencia a la abrasión, ausencia de fragilidad, facilidad para soldar y un coste aceptable⁵.

Los elementos químicos que aparecen en el acero corriente, además del hierro y el carbono, suelen ser el silicio, azufre, fósforo y arsénico. Para aceros especiales se suelen añadir manganeso y cromo. El carbono aumenta la dureza y la resistencia al desgaste, aunque un exceso de este elemento es causa de fragilidad. El silicio aumenta la dureza y la resistencia al desgaste. El azufre es malo porque da fragilidad al acero en frío, pero es imposible su eliminación completa. El fósforo también es perjudicial por aumentar la fragilidad, pero tampoco es posible su eliminación completa desde un punto de vista económico. El manganeso aumenta la dureza. El cromo confiere al acero dureza, resistencia al desgaste y tenacidad, y el arsénico aumenta la dureza y la resistencia, pero disminuye la resistencia a partir de cierto porcentaje.⁶



⁵ Ibid. Pág. 32

⁶ Ibid

5.5 JUNTAS DE RIEL

En vías férreas, se denomina junta al sector de unión de los rieles.

5.5.1 Bridas. Es la unión entre los rieles, realizada por unas piezas metálicas llamadas bridas (o eclisa) ver Figura 10. La pequeña separación entre dos carriles consecutivos se denomina cala. Las misiones de la las juntas son:

- Unir los carriles haciendo que se comporten parecido a una viga continua.
- Que tenga resistencia mecánica como la de los carriles.
- Impedir movimientos relativos entre carriles contiguos
- Permitir desplazamientos longitudinales por dilatación.

A pesar de todo, la rigidez de la vía en la zona de la junta no es constante puesto que se produce una variación brusca en el momento de inercia⁷.

Figura 12. Brida, junta de riel.



5.5.2 Carril continuo soldado. Se denomina carril continuo soldado a una barra de longitud suficiente para que al menos uno de los puntos se mantenga fijo, independiente de la temperatura.

⁷ Ibid. Pág. 75

Dadas las ventajas que presenta el carril continuo, como son la eliminación de bridas, junto con la reducción del mantenimiento, han hecho que sea la implantación habitual en la mayor parte de las líneas ferroviarias, aun a pesar de la necesidad de una mayor inversión inicial y de problemas puntuales. Aun así, desde que se empezaron a utilizar los carriles continuos se detectaron diferentes problemas para su implantación, que puede resumirse en:

- Dificultad técnica de la soldadura.
- Unión carril – traviesa. Parte crítica que debe aunar sensibilidad a las vibraciones de alta frecuencia junto con la posibilidad de holguras a los movimientos longitudinales.

Los problemas detallados se han solucionado adoptando las siguientes medidas:

- Montaje a $T > 25^{\circ}\text{C}$
- Radios mínimos 300 m
- Refuerzo de banquetas si $300\text{m} < R < 400\text{m}$
- Distancia entre traviesas 60 cm
- Ausencia de defectos puntuales
- Permitir dilataciones en puntos concretos⁸

Se utiliza soldadura aluminotérmica, ver **Figura 11**. Se basa en el proceso exotérmico de reducción del óxido de hierro por el aluminio.

⁸ Ibid. Pág. 80

Figura 13. Soldadura Aluminotérmica.



Como introducción es conveniente recordar algunas características esenciales de la circulación ferroviaria. Al ser guiados los trenes por carriles, los cambios de dirección adelantamientos y cruces pueden realizarse, tan sólo, por medio de aparatos situados en lugares fijos. Por esta razón, una vez establecida una trayectoria (ruta, itinerario), el movimiento de una circulación posee tan sólo de un grado de libertad, la velocidad y es, por tanto, controlable mediante un reducido catálogo de señales.

El relativamente reducido coeficiente de adherencia rueda–carril trae consigo considerables distancias de frenado. No es viable, salvo circunstancias excepcionales, regular la velocidad de acuerdo con el estado del trayecto que se divisa (marcha a la vista), ni tampoco es posible alterar rutas sin considerar las posibilidades de frenado⁹.

⁹ Ibid. Pág. 523

La señalización ferroviaria se utiliza para indicar al maquinista las condiciones de la vía que se va a encontrar por delante. El objeto de las señales es transmitir órdenes e información desde la vía, las estaciones y los trenes. La transmisión de información mediante señales, requiere el establecimiento de un código que defina con precisión tanto el aspecto, indicación y situación de las señales, como el significado para el receptor en forma de actuaciones concretas. Las órdenes de las señales deben cumplirse rigurosamente para garantizar el proceso ordenado de la circulación de los trenes¹⁰.

A diferencia de las señales de tránsito, en el ferrocarril se denomina como señales principalmente a las indicaciones para la regulación de tráfico, como semáforos y similares. La necesidad de cierta distancia para permitir que un tren frene condiciona este tipo de señales, ya que es necesario informar al tren de que debe detenerse con suficiente antelación al punto de parada.

Las señales se clasifican en tres grupos:

- Señales fijas: Las que de un modo permanente o temporal están instaladas en puntos determinados de la vía o de las estaciones. Se dividen en:
 - ✓ Fundamentales: Las que regulan la circulación de trenes y las maniobras.
 - ✓ Indicadoras: Las que complementan las órdenes de las señales fundamentales.
 - ✓ De limitación de velocidad: Las que imponen restricciones a la marcha de los trenes, como consecuencia de circunstancias particulares de la vía o de las instalaciones.
- Señales portátiles: Las que pueden ser utilizadas o hechas por el personal en cualquier momento y lugar.
- Señales con silbato de trenes.
- Señales de los trenes: Las que llevan los trenes en sus testeros de cabeza o cola.

¹⁰ Ibid. Pág. 524

Existen numerosos sistemas de señalización, desde indicaciones realizadas por personas a modernos sistemas automáticos de señalización en cabina.

Durante el recorrido del segmento I se hizo visible la ausencia de señalización.

6. ESTACIÓN

Una estación de ferrocarril es una instalación ferroviaria con vías a las que pueden llegar y desde la que se pueden expedir trenes. Se compone de varias vías, con desvíos entre ellas, y se delimita por señales de entrada y salida. Adicionalmente son un punto de acceso al ferrocarril de pasajeros y mercancías.

Suelen componerse de andenes junto a las vías con servicios como venta de tickets, sala de espera, restaurantes, tiendas y oficinas.

Figura 14. Estación Barrancabermeja



6.1 ESTADO ACTUAL

La estación del ferrocarril de Barrancabermeja cuenta con dos puntos de acceso directo; por el sur se encuentra la carrera 32^a y por el occidente la carrera 32. Cuenta con su respectiva zona de parqueo de vehículos ubicada al costado occidental de la estación.

La estación comprende dos edificaciones, una de ellas con un área de 1500 m² que corresponde a bodegas para carga pesada, la cual se encuentra cerrada y sin función alguna. Durante la exploración de campo se observaron diferentes daños en la estación, tales como fisuras en andenes, y descascaramiento moderado de concreto en las columnas, también se evidenció la falta de mantenimiento de la cubierta.

La segunda edificación encierra bodegas para el almacenamiento de carga liviana, ventanilla para venta de tiquetes, oficinas administrativas y una sala de espera en la que se encuentra una tienda. Ver Figura 12. De la misma forma que en la primera edificación, en esta se refleja el deterioro, por lo que requiere labores de mantenimiento en cubierta, cielorrasos, bajantes de aguas lluvias, instalaciones hidráulicas y eléctricas. El lugar se encuentra lleno de malezas y ausente de alumbrado.

Figura 15. Estación Barrancabermeja.



7. COMPARACIÓN

Tabla 1. Comparación entre Trocha Yárdica y Trocha Estándar

Ítem	Componente	Trocha Yárdica	Trocha Estándar
ELEMENTOS DE LA VÍA	Balasto	Espesor de capa indefinido, no obstante en ningún caso el espesor de la capa será inferior a 30 cm.	En ningún caso el espesor de la capa será inferior a 30 cm.
		Se utilizan los materiales más selectos (granito triturado, basalto, roca ígnea, escoria, grava u otros materiales gruesos) debido a su mayor capacidad para soportar cargas.	
		Para esta trocha el consumo de volumen por metro de balasto es de 0.73m ³ /m, teniendo como referencia para el cálculo traviesas de 1.9m de largo, un ángulo de reposo del material de 30° y un espesor de 30cm.	Para esta trocha el consumo de volumen de balasto es de 0.96m ³ /m teniendo como referencia para el cálculo traviesas de 2.5m de largo, un ángulo de reposo del material de 30° y un espesor de 30cm.
	Traviesas	Hechas en concreto reforzado pretensado, mono bloque.	
		Longitud de 1.9 m	Longitud 2,5m
	Rieles	Perfil 46E2 (U33) Longitud: 11m Resistencia a la tracción 25 MPa Alarnameinto o elongación 1%	
	Sujeción	Sujeción para traviesa tipo Pandrol	

Ítem	Componente	Trocha Yárdica	Trocha Estándar
GEOMETRÍA VIAL	Ancho de vía	La distancia medida 14mm bajo la superficie de rodadura es de 914 mm.	La distancia medida 14mm bajo la superficie de rodadura es de 1435 mm.
	Peralte	$\frac{a}{12} < P < \frac{a}{9}$; <i>a: Ancho de vía</i>	
		76 < P < 102 mm	120 < P < 160 mm
	Pendiente Longitudinal	2% < Pend. Long. < 4%	
	Radio de curvatura	Min: 143 m	Min: 200 m
VELOCIDAD	Velocidad Máxima	$V_{max} = K \bar{R}$	
	Coefficiente K	3.36	4.6
	Velocidad media de operación	40 km/h	62 km/h
EQUIPO Y MAQUINARIA	Modelo	GR 12 W: Operaba décadas atrás. Carrmotores: Usuarios actuales. .	GE B 36-7: Cerrejón, Colombia (única en el país con trocha estándar), . G22CW: Argentina ,
	Tipología de locomotora	Diesel-Eléctrica	Diesel-Eléctrica
	Potencia	GR 12 W: 1310 HP	G22CW: 1500 HP GE B 36-7: 3600 HP

Ítem	Componente	Trocha Yárdica	Trocha Estándar
	Peso	GR 12 W: 96 Ton	G22CW: 90 Ton GE B 36-7: 118 Ton
	Velocidad máxima	GR 12 W: 114 km/h	G22CW: 114 km/h GE B 36-7: 113 km/h

8. RELACIÓN BENEFICIO COSTO

La relación beneficio costo tiene un enfoque de apreciación, dado a que se proporciona una valoración a los beneficios generados por una intervención y a los costos que se puedan incurrir.

Se desarrolla el análisis beneficio costo para el estudio de viabilidad teniendo en cuenta la recuperación de la trocha existente o el cambio de trocha yárdica a trocha estándar y sus impactos en el transporte de carga y pasajeros, brindando un enfoque que permite establecer la conveniencia del cambio de trocha en la red férrea del segmento I.

8.1 ALTERNATIVAS PROPUESTAS

Tabla 2. Resumen alternativas propuestas.

Alternativa No.	Descripción
Alternativa 1	Rehabilitar y mantener operable la longitud del segmento I.
Alternativa 2	Construcción de una nueva red férrea en trocha estándar para el segmento I.

8.2 ESTIMACIÓN DE COSTOS

La tabla siguiente resume los costos por kilómetro de rehabilitación y construcción según la alternativa.

Tabla 3. Costos de rehabilitación y construcción.

Alternativa No.	Costo/km (Miles de US\$) (2014)
Alternativa 1	1.012
Alternativa 2	1.150

8.3 ESTIMACIÓN CUALITATIVA DE BENEFICIOS

8.3.1 Alternativa 1

- Ahorro de combustibles.
- Ahorro de contaminantes.
- Desarrollo colateral y turístico de la región.
- Valorización de tierras.
- Minimización de riesgo de accidentes.
- Alternativa vial frente a la inestabilidad del actual corredor vial por desastres naturales.
- Mayor capacidad de carga y pasajeros.
- Menores costos en fletes.

8.3.2 Alternativa 2

- Ahorro en tiempos de viaje.
- Ahorro de contaminantes.
- Desarrollo colateral integral y turístico de la región.
- Valorización de tierras.
- Minimiza riesgo de accidentes.

- Alternativa vial frente a desastres naturales.
- Mayor capacidad de carga y pasajeros frente a la alternativa 1.
- Menores costos en fletes.
- Motivación para el desarrollo de la infraestructura férrea.
- Incentivación a la generación de nuevos modelos tecnológicos.

9. DISEÑO METODOLOGICO

FASE 1: Se realizaran exploraciones de campo en el segmento I de la vía férrea que incluyan registros fotográficos donde se muestren los diferentes componentes del trayecto en estudio.

FASE 2: Se identificaran los elementos de la estructura de la vía mediante una descripción visual del estado actual de los mismos.

FASE 3: Basados en la observación y estudio fotográfico de la estación, se proporcionara una opinión sobre el tipo de obra a ejecutar en ella.

FASE 4: Con base en la investigación se realizara un análisis comparativo de carácter técnico entre el sistema férreo existente con el posible sistema a implementar.

FASE 5: Presentación de resultado del análisis de la relación beneficio costo y viabilidad, correspondientes al denominado segmento I.

10. RESULTADOS

10.1 RESULTADO DEL ANÁLISIS BENEFICIO COSTO

Desde el punto de vista económico la alternativa más viable es la No 1, debido a que los costos de rehabilitación comparados con los de una nueva construcción son más bajos. Por otra parte se busca el desarrollo en el tema de infraestructura férrea, lo que se logra con el planteamiento de la alternativa No 2, dado que se obtienen velocidades superiores, mayor capacidad de carga, mayor capacidad de pasajeros, menor consumo de combustibles, entre otros frente a la alternativa No 1.

Otro aspecto importante a tener en cuenta son los equipos. Los costos de adquisición de maquinaria para trocha yárdica son elevados, debido a que son pocas las líneas férreas a nivel mundial que se mantienen con este ancho de vía, además los fabricantes de locomotoras son limitados al ofrecer estas máquinas.

Para valorar los beneficios frente a los costos de las dos alternativas, es necesario cuantificar los beneficios de cada una de estas alternativas. La cuantificación de estos beneficios se propone de la siguiente manera:

10.1.1 Ahorro en tiempos de viaje. El ahorro en tiempo de viaje, en proyectos de movilidad, es una de las variables de la evaluación de proyectos que más incide en los beneficios frente al costo de un proyecto, y se cuantifican mediante la simulación de modelos que muestren el comportamiento de tiempos de viaje, sin el proyecto de la vía férrea, en este caso valorando los actuales tiempos de viaje del tramo en estudio y en mayor proporción, los tiempos de viaje desde Barrancabermeja a Bucaramanga por el actual sistema vial carretero.

Esta valoración de tiempos de viaje, sin la implementación del proyecto férreo, debe compararse con la cuantificación de nuevos tiempos de viaje con la construcción y puesta en marcha de un proyecto ferroviario.

10.1.2 Ahorro de contaminantes. El ahorro de contaminantes aparece frente a nuevos proyectos de movilidad que garanticen la menor emisión posible de Dióxido de carbono, Óxidos de sulfuro, Partículas contaminantes, Óxidos de Nitrógeno, e Hidrocarburos. Este ahorro de contaminantes puede ser valorado ante la cantidad y tipología de vehículos que saldrían de operación por la implementación del proyecto ferroviario, contabilizando los kilometrajes recorridos por vehículos en el sistema vial terrestre, ya que las emisiones de contaminantes se producen en gramos por kilómetro y en periodos anuales. La correlación de los contaminantes que hoy día se producen por efectos del uso de autos en carretera, frente a la baja contaminación que produciría un tren de pasajeros, de alta tecnología, se entiende como un ahorro de contaminantes en beneficio de la salud social de potenciales usuarios.

10.1.3 Desarrollo colateral de la región. Es un concepto de la economía vial. Los proyectos de movilidad, pueden evaluarse en el contexto de la evaluación económica, social y financiera. El desarrollo colateral aparece como un beneficio económico de la región por donde se dan los trazados de nuevos proyectos de movilidad y la región puede beneficiarse en aspectos industriales, agrícolas y ganaderos, especialmente por el mejoramiento de las comunicaciones entre las regiones involucradas en el proyecto.

10.1.4 Valorización de tierras. Como consecuencia del desarrollo colateral de la región, aparece el concepto de la plusvalía, donde las tierras que antes podrían aparecer como inactivas, con el proyecto tienden a evolucionar y a tomar mayor valor adquisitivo.

10.1.5 Minimiza riesgo de accidentes. La accidentalidad es la externalidad negativa más grave del transporte. Los accidentes en carretera son comunes como consecuencia de la imprudencia de conductores y de bajas especificaciones viales. La formulación de un proyecto ferroviario, entre dos regiones importantes, desestimularía el uso de automotores en general y traería como consecuencia un beneficio en ahorro de accidentes.

10.1.6 Alternativa vial frente a desastres naturales. La ola invernal de los pasados años 2010 y 2011, trajo como consecuencia la destrucción de un gran tramo vial entre Barrancabermeja y Bucaramanga, situación que hoy día no está plenamente solucionada, dada la geología del alineamiento actual con presencia perpetua de coluviones que la hacen inestable.

La transitabilidad entre Barrancabermeja, el magdalena medio y el área metropolitana de Bucaramanga, merecen otra alternativa de solución.

10.1.7 Mayor capacidad de carga y pasajeros frente a la alternativa 1. El transporte ferroviario por sus características de mayor potencialidad, brindan la oportunidad de transportar un mayor número de carga y pasajeros.

10.1.8 Menores costos en fletes. La mayor capacidad de carga y pasajeros implica unos menores costos de viaje, por la disminución de costos de operación, debido a que se logra un mayor índice de transporte de pasajeros y carga por kilómetro recorrido frente al transporte carretero.

10.1.9 Estimulación del desarrollo de la infraestructura férrea. La construcción de proyectos ferroviarios es un tema que hace parte del plan nacional de desarrollo y es prioritaria la recuperación, reconstrucción, formulación y construcción de una nueva malla vial ferroviaria con el cual el país sea viable. Aunque este proyecto es una sencilla hipótesis de lo que significa un tramo vial ferroviario abandonado, sirve de alguna manera para promover nuevos escenarios de discusión en pro del desarrollo de la infraestructura ferroviaria.

10.1.10 Nuevos modelos tecnológicos. La discusión del tema ferroviario y el diagnóstico del pasado sistema ferroviario colombiano, frente a los nuevos retos desarrollados en otros países europeos, donde el sistema es eficiente y eficaz, por el mejoramiento sustancial de los indicadores de movilidad entre regiones, brindan la posibilidad de importar nuevas tecnologías para ser implementadas, especialmente frente al ancho de trocha y la tecnología de trenes y locomotoras.

11. CONCLUSIONES

1. Teniendo en cuenta el estado actual de la red vial y los altos costos de operación para el transporte de grandes volúmenes de carga, el ferrocarril tiene una oportunidad única para desarrollarse, y ofrecer un servicio de transporte competitivo, con nuevas opciones logísticas y económicamente más convenientes para el país.
2. Basados en la exploración de campo realizada al segmento I, se observó que su estado se encuentra en condiciones aptas para el tránsito de carrmotores, no obstante es notable la falta de mantenimiento, señalización y recurso humano para una mejor operación.
3. Una de las mayores preocupaciones es que a pesar de las millonarias inversiones que el país ha realizado en la rehabilitación de la red, es claro que el hecho de mantener los trazados existentes y la trocha angosta con la que fueron construidos hace casi un siglo, lo hace muy poco competitivo en comparación con los estándares internacionales.
4. Según el estudio de viabilidad del cambio de trocha yárdica a trocha estándar es que la red férrea colombiana precisa de un cambio de trocha a estándar por razones estratégicas, de oportunidad de negocios de mercados internacionales y de desarrollo del marco normativo.
5. La diferencia de costos por kilómetro entre cada una de las alternativas presentadas es del 13,64%, cifra que es relativamente baja si se tiene en cuenta que los beneficios con la alternativa No 2 son mayores; en ese orden de ideas se infiere que es ésta la mejor alternativa para el restablecimiento del corredor férreo en estudio.

BIBLIOGRAFIA

ÁLVAREZ MÁNTARAS, Daniel y LUQUE RODRIGUEZ, Pablo. Ingeniería e Infraestructura de los Transportes Ferrocarriles. España: Editorial y publicaciones Universidad de Oviedo, 2003. 64 p.

AMERICAN RAILWAY ENGINEERING AND MAINTENANSE OF WAY ASSOCIATION. Manual For Railway Engineering. Version 2001, United States, 2001. 47 p.

CRESPO, Carlos. Vías de Comunicación, Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos. México: Limusa Noriega Editores, 1999. 549 p.

FERNANDEZ GONZALEZ, Francisco y FUENTES LOSA, Julio. Ingeniería Ferroviaria. Madrid: Editorial Unidad Didactica,2010. 30 p.

ORTEGA DIAZ, Alfredo. Ferrocarriles Colombianos. Bogotá: Imprenta Nacional, 1923. 78 p.

ALVAREZ, Alejandro. Técnica ferroviaria. España: Editorial Tébar, 2012. 142 p.

ARQUES PATÓN, José Luis. Ingeniería y gestión del mantenimiento ferroviario. España: Díaz de Santos, 2009. 94 p.