

**GUÍA DE INSPECCIÓN VISUAL DE PATOLOGÍAS PRESENTES EN EL
KILÓMETRO 225 DEL CORREDOR FERROVIAL BOGOTÁ-BELENCITO**

**FELIPE HERNANDEZ BARRAGAN
ANDRÉS FELIPE DUARTE MERCHAN**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DIVISIÓN DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS
TUNJA
2020**

**GUÍA DE INSPECCIÓN VISUAL DE PATOLOGÍAS PRESENTES EN EL
KILÓMETRO 225 DEL CORREDOR FERROVIAL BOGOTÁ-BELENCITO**

**FELIPE HERNANDEZ BARRAGAN
ANDRÉS FELIPE DUARTE MERCHAN**

**Trabajo de grado realizado para obtener el título de
INGENIERO CIVIL**

**DIRECTOR: Ing. JUAN RICARDO PÉREZ CUERVO
I.C., I.T.V., Esp., Mg.**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DIVISIÓN DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS
TUNJA
2020**

Nota De Aceptación:



Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Tunja, 27 de octubre de 2020

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos profundamente a Dios por permitirnos finalizar el ciclo académico en nuestra alma mater Universidad Santo Tomás, agradecemos a todas las personas que han creído en nosotros. A nuestros padres quienes planearon un buen futuro para sus hijos y creyeron con fe en que el camino indicado en la vida es la educación.

También agradecemos a nuestras familias quienes siempre nos han acompañado y apoyado este proyecto, a todos nuestros compañeros que creen en el poder de la ingeniería en la transformación de las realidades locales y su importancia en el desarrollo del departamento.

TABLA DE CONTENIDO

pág

INTRODUCCIÓN	16
1. OBJETIVOS.....	18
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
2. JUSTIFICACIÓN.....	19
3. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	21
4. MARCO REFERENCIAL	22
4.1 MARCO TEÓRICO.....	22
4.2 MARCO HISTÓRICO	24
4.3 MARCO CONCEPTUAL.....	26
5. DISEÑO METODOLÓGICO	28
6. RESULTADOS	31
6.1 INSPECCIÓN VISUAL “TRAMO PAIPA”	32
6.2 GUIA DE VISUAL DE PATOLOGÍAS FÉRREAS	32
6.2.1 Balastro	35
6.2.2 Traviesa o Durmiente	37
6.2.3 Riel	40
6.2.4 Fijaciones	43
6.2.5 Juntas.....	44
6.2.6 Otros hallazgos de Relevancia.....	45
7. CONCLUSIONES	48
8. RECOMENDACIONES.....	50
BIBLIOGRAFIA.....	51

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Infraestructura ferroviaria disponible en el 2020	23
Tabla 2. Estados de funcionamiento	34
Tabla 3. Convenciones Diagnostico Línea Férrea	34

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Red ferroviaria en proceso de entrega a Cundinamarca y Boyacá.....	22
Figura 2. Diagrama de flujo del trabajo investigativo.	30
Figura 3. Componentes de la vía férrea.....	31
Figura 4. Fotografías del tramo y estación del tren en Paipa, Boyacá.....	32
Figura 5. Explicación de la figura estándar en la guía	33
Figura 6. Contaminación del balastro por paso de tráfico	35
Figura 7. Contaminación del balastro por vegetación	36
Figura 8. Ausencia del balastro.....	36
Figura 9. Mala disposición del balastro	37
Figura 10. Pudrición de la traviesa en madera.....	37
Figura 11. Astillamiento de la traviesa en madera	38
Figura 12. Agrietamiento y rompimiento de la traviesa en concreto	38
Figura 13. Fracturación de la traviesa de concreto	39
Figura 14. Desgaste y rompimiento de traviesa en concreto	39
Figura 15. Hundimiento local de superficie de rodamiento y desgaste en riel (caso 1).....	40
Figura 16. Hundimiento local de superficie de rodamiento o y desgaste en riel (caso 2).....	40
Figura 17. Picadura o escamado de riel	41
Figura 18. Desgaste lineal del riel.....	41
Figura 19. Corrosión horizontal del riel	42
Figura 20. Corrosión y aplastamiento de riel	42
Figura 21. Expansión térmica del riel.....	43
Figura 22. Corrosión del clip Deenik.....	43
Figura 23. Clavo gancho suelto y corroído	44
Figura 24. Corrosión y desgaste de la eclisa	44
Figura 25. Corrosión, desgaste y pérdida de arandelas y bulones (caso 1)	45
Figura 26. Corrosión, desgaste y pérdida de arandelas y bulones (caso 2)	45
Figura 27. Escombros de traviesas abandonadas en vía	46
Figura 28. Señalización y pasos en la vía.....	46
Figura 29. Estado de los puentes en la vía.....	47

GLOSARIO

ANI: es la agencia nacional de infraestructura Estatal de Naturaleza Especial del sector descentralizado de la Rama Ejecutiva del Orden Nacional, con personería jurídica, patrimonio propio y autonomía administrativa, financiera y técnica, adscrita al Ministerio de Transporte, según decreto 4165 del 03 noviembre de 2011

BALASTRO: capa de material pétreo de naturaleza silícea procedente de rocas de cantera, procesado por machaqueo, cribado y clasificación, se extiende horizontalmente de una sola pasada en una capa uniforme de 100 mm de espesor que, para asentar y sujetar sobre ella los durmientes, se tiene sobre la explanación de los ferrocarriles¹.

CLIP O GRAPA ELÁSTICA: pieza de forma especial fabricada de redondo de acero de alta calidad, aleado al silicio-manganeso, y tratada térmicamente. Tiene por misión solidarizar el riel al durmiente a través de una placa elástica, por presión sobre su patín.

CORREDOR FERROVIAL: extensión total de una obra férrea, contemplando un número específico¹ de estaciones y de kilómetros.

CORROSIÓN: proceso de deterioro de materiales metálicos (incluyendo tanto metales puros, como aleaciones de estos), mediante reacciones químicas y electroquímicas

DEFORMACIÓN DE LA VÍA: deterioro que sufren los rieles debido a temperaturas elevadas. Al no poder dilatarse libremente, resultan comprimidos axialmente, se deforman y adquieren una nueva configuración.

DURMIENTE DE CONCRETO: la fabricada con concreto. Se distinguen tres tipos: monobloque, mixta y de pre y postensado.

DURMIENTE DE MADERA: pieza de madera procedente de árboles cortado en vida (en la época de paralización de la savia), convenientemente secada e impregnada con sustancias antisépticas, como la creosota, que aumentan la duración de la madera.

¹ REVIE; R Winston y UHLIG, Herbert, H. Corrosion and corrosion control an introduction to corrosion science and engineering, Hoboken New Jersey. John Wiley & Sons, Inc. 2008. Pág. 1-7.

DURMIENTE METÁLICO: durmiente que se fabrica a partir de un perfil en forma de U invertida, embutido en sus extremos, para formar los topes que se clavan en el balasto para aumentar la resistencia al desplazamiento lateral de la vía.²

DURMIENTE O TRAVIESA: elemento de apoyo de madera, concreto o metal colocado transversalmente al eje de la vía, sobre el que se arrostran los rieles constituyendo el perno de unión entre éstos y el balasto. Tiene dos funciones: mantener el espaciamiento de los rieles (es decir, la trocha) y transmitir los esfuerzos que recibe al balasto subyacente.

ECLISA: brida que sujeta las almas de los dos rieles que forman una cala.

EJE: barra que atraviesa un cuerpo giratorio y le sirve de apoyo en el movimiento. Elemento axial al que se aplica un par motor para producir el giro de una componente ajustable. Pieza cilíndrica de acero sobre la que se montan las ruedas, las cajas de grasa y los elementos terminales.

ESTACIÓN: instalación de vías y agujas, protegida por señales que tiene por objeto coordinar los procesos de la circulación. Los apartaderos y Puestos de bloqueo se consideran estación, así como los Puestos de circulación cuando intervengan en el bloqueo. Puntos de observación y medida con aparato topográfico.

FENOCO: Ferrocarriles del Norte de Colombia S.A, operador del servicio.

FERROCARRIL: sistema de comunicación y transporte en el que los vehículos se encuentran acoplados formando trenes circulan guiados por rieles.

FNC: Ferrocarriles Nacionales de Colombia.

GRAPA O CLIP ELÁSTICO: pieza de forma especial que comprime el patín del riel contra la placa de asiento de este y contra la durmiente³.

INSPECCIÓN VISUAL: es el método de ensayo no destructivo más versátil que se utiliza con más frecuencia en las inspecciones de superficies expuestas o accesibles

² Colombia, Ministerio de transporte, viceministro de infraestructura. MANUAL DE NORMATIVA FÉRREA, vol. 2. 2013, pág. 8-200.

³ Colombia, Ministerio de transporte, viceministro de infraestructura. MANUAL DE NORMATIVA FÉRREA, vol. 1. 2013, pág. 8-78.

de cuerpos, ensambles o productos terminados, para determinar el estado de integridad general de una parte o componente.

INTERMODAL: tendencia dentro del transporte que propende por generar servicio de tráfico de carga entre terminales de diferentes tipos.

INVIAS: Instituto Nacional de Vías de Colombia.

JUNTA DE RIEL: conjunto de piezas de unión longitudinal de rieles cuya función es solidarizar los rieles para que presenten una resistencia a la deformación idéntica a la de los rieles que une y permitir la dilatación de estos.

JUNTA: componente de la vía en donde se produce la unión de los rieles.

LÍNEA: comunicación ferroviaria entre dos puntos determinados.

OPERADOR: aquella empresa que por encargo de su cliente diseña los procesos de una o varias fases de su cadena de suministro, organiza, gestiona y controla dichas operaciones utilizando infraestructuras físicas, tecnología y sistemas de información, propios o ajenos, independientemente de que preste o no los servicio.

PATOLOGÍA: es el término más aceptado en Iberoamérica para definir la especialidad de la Ingeniería Civil dedicada al estudio sistemático de las causas, las consecuencias y las soluciones a los defectos, las fallas o el deterioro, que puedan presentar las edificaciones al momento de su construcción o luego de puestas en servicio¹.

PERNOS: pieza metálica que puede tener diferentes largos. Es un elemento de unión. Básicamente este elemento metálico con cabeza pasa por perforaciones que permiten unir y fijar los diferentes componentes de la vía.

PK: punto kilométrico de referencia en la vía.

REHABILITACIÓN DE VÍA: sustitución parcial de los elementos que constituyen la superestructura de una vía con el fin de acondicionarla y cumplir las prestaciones técnicas¹.

RIEL: cada una de las barras perfiladas de hierro o acero laminado que, formando dos líneas paralelas, sustentan y guían el material rodante y actúan como conductor

de las corrientes eléctricas. También es llamado así elemento de acero sustentador del material rodante que se utiliza como dispositivo para su guiado y como conductor de las corrientes eléctricas, en su caso¹.

SISTEMAS DE VÍA: variaciones en el tipo de asiento de la estructura de la vía, sobre balasto, sobre losas, en placa, etc¹.

SUPERESTRUCTURA DE VÍA: materiales que se encuentran situados encima de la capa de forma, integrados por los rieles, contraríeles, los durmientes o, en su caso, la placa, las sujeciones, los aparatos de vía y, en su caso, el lecho elástico formado por el balasto, así como las demás capas de asiento, sobre el que estos elementos apoyan¹.

TRAMO: fragmento de la vía férrea¹.

TRAYECTO: tramo de una línea comprendida entre dos estaciones determinadas. Cuando el término se utiliza en forma genérica, se refiere a la parte de línea comprendida entre dos estaciones colaterales¹.

TREN: serie de vehículos acoplados unos con otros que, remolcados por uno o varios vehículos motores (locomotora, automotor, etc.), conducen viajeros o mercancías de un punto a otro por una vía férrea circulando de acuerdo con una marcha o en régimen especial¹.

VÍA FÉRREA CONVENCIONAL: sistema tradicional de asiento de vía en el que sobre la explanación se coloca la plataforma de balasto que reparte sobre ella las cargas que recibe de los rieles a través de los durmientes¹.

VÍA: estructura compuesta por dos rieles cuya inclinación y separación relativa son mantenidas por durmientes que están apoyadas sobre una capa de balasto de espesor variable separada de la plataforma por una subbase¹.

RESUMEN

La evaluación de infraestructura ferroviaria no se ha desarrollado por completo en el país, las redes de ferrocarriles existentes han experimentado un abandono histórico que han generado patologías en sus estructuras de funcionamiento, los actuales intentos de recuperación exigen la estandarización de protocolos y metodologías eficaces de valoración de daños.

Inicialmente se planteó como objetivo realizar una guía de inspección visual tomando un tramo de 100 metros ubicado en el kilómetro 225 del corredor La Caro – Belencito; con una superestructura formada con traviesas de madera y concreto, balasto calizo y rieles entre 90 y 60 lb/yd. Esta línea pertenece al conjunto patrimonial de orden nacional de las estaciones de pasajeros de ferrocarril de Colombia en el siglo XX.

El tema a desarrollar incluyó una descripción visual metódica de las características y mediante la comparación de su apariencia se trató de identificar las patologías. Con este propósito, se realizó la inspección del riel, traviesa, balastro y pernos a lo largo de cuatro visitas durante el año 2019, en las cuales se revisó y documentó fotográficamente su aspecto exterior.

Mediante la evaluación quedó en evidencia el mal estado en el que se encuentra actualmente, por los daños estructurales en la vía que comprometen la integridad de la obra férrea.

A continuación, se mostró de manera subsecuente una reseña histórica de la red vial, los métodos utilizados, seguidos por los resultados de nuestro estudio presentando el diseño preliminar de una guía de identificación visual de patologías que se manifiestan en la vía férrea.

Finalmente, se determinó un breve análisis de las condiciones actuales en las que se encuentra el sector de estudio. La porción de vía seleccionada exhibió numerosas patologías, que se describen e ilustran; algunas tales como el riel presenta alto corrosión, aplastamiento y desgaste, las traviesas de madera presentan daños evidentes causados por la humedad y las de concreto agrietadas, los pernos están sueltos y corroídos, el material pétreo del balastro no es uniforme en el tramo, por último se registra un paso vehicular y peatonal sobre la obra.

Se concluyó que la apariencia actual de la obra ferroviaria es regular, debido al escaso uso y mantenimiento. Sin embargo, las patologías presentes son comunes en estas estructuras, por esta razón es fundamental su correcta valoración con el fin de ejecutar una atenta recuperación de este valioso medio de transporte.

Palabras clave: *Inspección, ferrocarril, riel, balastro, traviesa.*

SUMMARY

The evaluation of railroad infrastructure has not been fully developed in the country, the existing railroad networks have experienced a historical abandonment that has generated pathologies in their operating structures, the current recovery attempts require the standardization of protocols and effective methodologies for damage assessment.

For this reason, this study aims to make a visual inspection guide taking a section of 100 meters located at kilometer 225 of the corridor La Caro - Belencito with a superstructure formed with wooden and concrete sleepers, limestone ballast and rails between 90 and 60 lb/yd.

This line belongs to the patrimonial group of national order of the stations of passengers of the railroad in Colombia century XX. The current study consists of a methodical visual description of the characteristics that reduce the effectiveness of the railroad tracks and by comparing them to their exterior it aims to identify the pathologies.

To this end, the rail, sleeper, ballast and bolts were inspected during four visits in 2019, in which their external appearance was reviewed and documented photographically. Through the evaluation, the poor condition in which it is currently found, structural damage to the track that compromises the structural integrity of the railway work, became evident. Subsequently, a historical review of the road network is presented, the methods used followed by the results of our study presenting the preliminary design of a visual identification guide of pathologies present in the railway.

At the end, a brief analysis of the current conditions in which the work is located is provided. The selected portion of the track exhibited numerous pathologies, some of which are described and illustrated, such as; the rail presents high corrosion, crushing and wear, the wooden sleepers present evident damage caused by humidity and the concrete sleepers are cracked, the bolts are loose and corroded, the stone material of the ballast is not uniform in the section, and finally a vehicular and pedestrian passage is registered over the work. It was concluded that the current appearance of the railway work is regular, due to the scarce use and maintenance.

However, the pathologies present are common in this type of structure, for this reason it is fundamental to evaluate them correctly in order to carry out a correct recovery of this valuable means of transport.

Keywords: *Inspection, railroad, rail, ballast, sleeper.*

INTRODUCCIÓN

La infraestructura férrea boyacense es un patrimonio público estratégico para el desarrollo del departamento. En la actualidad el corredor vial Bogotá-Belencito se encuentra funcionando en condiciones poco favorables, aún después de una rehabilitación efectuada por el operador FENOCO hace menos de 10 años⁴. Con base en lo anterior, este estudio decidido responder la pregunta *¿Cómo valorar su estado actual con los recursos de los que disponemos?*

Se estableció como objetivo realizar la identificación visual de las patologías presentes en un tramo de 100 metros ubicado en el kilómetro 225 en Paipa, Boyacá. Al no disponer de literatura técnica previa, esta investigación pretende ser una base y precedente de ingeniería aplicada que responden a las necesidades propias de nuestro territorio.

El corredor – Belencito cuenta con una superestructura conformada por traviesas de madera y concreto, balasto calizo y rieles entre 90 y 60 lb/yd. Esta línea pertenece al conjunto patrimonial de orden nacional de las estaciones de pasajeros de ferrocarril en Colombia del siglo XX.

Establecida como prioridad en el gobierno pasado y con interés gubernamental por su papel en el desarrollo social del territorio. Estos tramos han venido siendo utilizados durante la última década para el transporte de acero y cemento, en Paz de Río aún se encuentra funcionando el vagón de pasajeros de servicio público gratuito.

Este uso constante no está respaldado con mantenimiento, se conocen algunas reparaciones de la red, por lo que el desgaste, la corrosión, humedad y otras patologías no han recibido la atención necesaria⁵.

Este estudio se realizó, específicamente en el área de transporte con un enfoque de investigación cualitativa, al caracterizar por medio de descripciones y

⁴ NIETO, Carlos Eduardo. El ferrocarril en Colombia y la búsqueda de un país. Bogotá, 2011. APUNTES • vol. 24, núm. 1. Pág. 62-75

⁵ VALENCIA GIRALDO, Asdrúbal y RENDÓN MARTÍNEZ, José Luis. El problema del desgaste ondulatorio en las vías férreas: la metalurgia de un caso real. Universidad Nacional de Colombia, 2004. Dyna, vol. 71, núm. 144, pág. 29-38.

observaciones el aspecto exterior de la estructura ferroviaria con visitas al sitio. Fue necesario complementar mediante la revisión de literatura en diferentes estudios^{6 7}. Además de seguir los lineamientos y criterios establecidos en normativas nacionales; como es frecuente en este tipo de estudios, las observaciones hechas pueden tener un alto contenido de subjetividad. Por lo que se hace necesario estandarizar las técnicas que permiten fijar las características fundamentales y claves en la determinación de las diferentes afectaciones aquí llamadas patologías, con el fin de mejorar los procesos de peritaje y reparación de la infraestructura.

Este documento aborda aspectos técnicos, históricos, sociales y metodológicos asociados al servicio de transporte prestado por la vía férrea en Colombia. Presenta una breve contextualización del estado actual de las obras férreas, especialmente en el tramo Paipa del corredor Bogotá – Belencito. La segunda mitad, detalla los hallazgos del estudio organizados en figuras que identifican e ilustran tanto de forma esquemática como en fotografía real las diferentes patologías. Además, de señalar otras problemáticas vistas en campo.

El potencial del ferrocarril en el departamento de Boyacá es asombroso a diferencia de otros. En la actualidad, presenta una línea férrea habilitada capaz de transportar los bienes que produce hacia el interior del país. Además, la oportunidad de implementar transporte intermodal en las dinámicas de desarrollo permite que Colombia avance en el cumplimiento de los objetivos planteados en la cumbre mundial de Rio de Janeiro del 2012.

Es satisfactorio presentar este sencillo aporte a la ingeniería colombiana, resultado de un esfuerzo conjunto que se propone invertir los recursos disponibles en infraestructura que potencie el desarrollo del pueblo boyacense.

⁶ EMPRESA DE LOS FERROCARRILES DEL ESTADO. Reglamento de vías férreas ferrocarril de Arica a La Paz. Santiago de Chile. 2009. Pág. 26-51.

⁷ Nuevo Central Argentino S.A. Manual integral de Vías. 2014. Pág. 30–112.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer una guía de inspección visual de patologías en el kilómetro 225 del corredor ferrovial Bogotá-Belencito.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Categorizar visualmente un tramo de 100 m en el km 225 del corredor férreo Bogotá-Belencito.

Describir las patologías presentes en un tramo de 100 m en el km 225 del corredor férreo Bogotá-Belencito.

Establecer una guía general de inspección visual de infraestructura férrea capaz de valorar el aspecto del riel, traviesa, balastro, fijaciones y juntas.

2. JUSTIFICACIÓN

Actualmente, a nivel mundial se exploran alternativas tecnológicas en la detección automática de las afectaciones de las vías de tren⁸, desde drones capaces de realizar recorridos rápidos a lo largo de la obra hasta modelos computarizados 3D que evalúan a tiempo real⁹. Estos avances tecnológicos presentes en países del primer mundo son justificables teniendo en cuenta el tamaño, la extensión total y la capacidad que manejan.

En el caso de Colombia, un país de características bióticas y sociales únicas; una guía ilustrada que estandarice la inspección, el mantenimiento preventivo y las evaluaciones programadas es un avance además de acertado, necesario para las correctas prácticas de la ingeniería aplicada¹⁰.

Ahora bien, frente al avance social es un factor determinante en la ejecución de un proyecto de este tipo. Ya fue mencionado anteriormente el progreso económico que se desprende del transporte de mercancías, personas y servicios, por lo que la sociedad en general es el sector más beneficiado en la operación continua e ininterrumpida del ferrocarril.

Además, es necesario tener en cuenta el beneficio ambiental; al ser un transporte amigable con el medio ambiente, presenta baja emisión de gases de efecto invernadero, tiene bajos costos de funcionamiento, entre otros¹¹. Cuya utilización está a favor de cumplir los objetivos del desarrollo sostenible, aportando a mejorar la calidad de vida del pueblo boyacense.

Sin embargo, todo esto no es posible si no se concibe de la mano con las diferentes instituciones interesadas. Por una parte, el gobierno nacional y local activa un medio de transporte que permite una nueva dinámica económica y social en el

⁸ MARINO, Francescomaria, DISCANTE, Arcangelo. Mazzeo, L. M. y Stella, Ettore. A real-time visual inspection system for railway maintenance: automatic hexagonal-headed bolts detection. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), 2007, vol. 37, no 3. Pág. 418-428.

⁹ RESENDIZ, Esther; HART, John M.; AHUJA, Narendra. Automated visual inspection of railroad tracks. IEEE transactions on intelligent transportation systems, 2013, vol 14, no 2. Pág. 751-760.

¹⁰ CONTRERAS MARTÍNEZ, Francisco José. El transporte ferroviario como elemento básico de la política de transportes y sus efectos sobre la cohesión y la política regional de la Unión Europea Departamento de Análisis Económico. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Uned. Tesis doctoral. Madrid, 2017. Pág. 52-160.

departamento. Por la otra, las universidades públicas y privadas pueden retribuir a la sociedad apoyando la operación y mejoramiento del ferrocarril boyacense. Esta iniciativa al extenderse por un corredor industrial del país pasa a ser una responsabilidad no solo del INVIAS (Instituto Nacional de Vías) o FENOCO (Ferrocarriles del Norte de Colombia), si no de todas las empresas y personas que capitalizan su activación.

Trabajar con las vías del tren y aportar a la rehabilitación de tal patrimonio público es indispensable en este momento. Representa una oportunidad de regeneración económica en épocas de pandemia y recesión. El protocolo de inspección presente en la guía visual de patologías férreas es una herramienta práctica para el profesional inspector, que ofrece sencillez al evaluar y registrar los daños que puede presentar la obra en el recorrido de rutina, con el claro objetivo de realizar un mantenimiento y potenciar su servicio¹².

Esto demuestra que los profesionales en Ingeniería Civil, o en cualquier otra carrera, no se debe limitar al levantamiento de nueva infraestructura, sino también a las correctas prácticas que permitan que estas puedan prestar su servicio de manera correcta y durante el mayor tiempo posible. El corredor punto kilométrico 225 es un reflejo del estado actual de la mayoría de red férrea del país, es necesario documentarlo y actuar para mejorarlo.

¹² EPYPSA-ARDANUY, Consorcio. Estudio para la elaboración del marco normativo férreo colombiano enfocado en factores técnicos de diseño, construcción, mantenimiento, operación, control y aspectos de seguridad. Bogotá: Ministerio de Transporte, 2012.

3. ALCANCES Y LIMITACIONES

La presente investigación cualitativa identifica, cataloga e ilustra las afectaciones de mayor recurrencia. Mediante fotografías, figuras y un sistema de representación gráfica, genera símbolos de cada una de las patologías identificadas con el fin de representarlas tanto en el formato como en la obra misma, ubicando espacialmente a la vista del encargado de repararla. En consecuencia, es un aporte a la consolidación de un manual general de campo para la inspección de los ferrocarriles en Colombia, esta herramienta didáctica en manos de un profesional capacitado es un impulso en el desarrollo del transporte.

Durante el tiempo de estudio se han tenido que superar diferentes limitaciones, el acceso a la información es complicado; la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) dispone en su plataforma WEB referencia a los contratos y actas de los operadores, pero no tiene una base de datos técnica que permita conocer el estado actual de los corredores.

La información a bases de datos es limitada, algunos de los estudios aquí citados se obtuvieron mediante herramientas de búsqueda libre, pues su consulta tiene costos que esta investigación sin patrocinio no se puede permitir. Los documentos recibidos de parte de la alcaldía ocal de Paipa fueron valiosos, aunque pocos, esto a que ninguna administración hasta el momento ha desarrollado con éxito un proyecto en donde se contemple el ferrocarril.

El traslado al área de estudio se realizó a finales del 2019. Allí se alcanzaron a realizar cuatro visitas en las que se recolectó la información utilizada en este estudio. Ya en el año 2020 fue imposible para el equipo visitar el lugar de investigación puesto que se activaron alertas mundiales por la pandemia del SARS-CoV-2 (COVID-19), situación que además de impedir la movilidad, también entorpeció las diferentes dinámicas de la sociedad, retrasando las actividades propuestas en el cronograma.

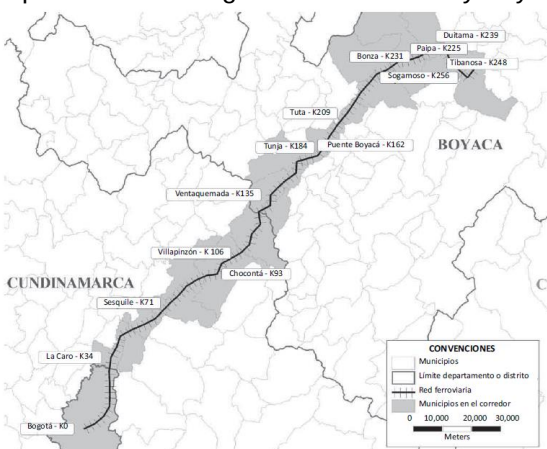
4. MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO TEÓRICO

Colombia posee una red ferroviaria de 3.468 km, de los cuales 1.991 km están concesionados, 1.327 km se encuentran a cargo del Instituto Nacional de Vías y 150 km hacen parte de la red privada de El Cerrejón¹³. La red tiene un ancho de trocha de 914 mm, a excepción del tramo de El Cerrejón que presenta ancho estándar de 1.435 mm¹⁴.

La concesión del Atlántico con una extensión de 1493 km, rehabilitó gran parte de la red ferroviaria desde Santa Marta hasta la Dorada pero debido a la pérdida de la demanda de transporte algunos tramos retornaron inicialmente a la Nación¹⁵ y en la actualidad se está culminando la entrega de un tramo de 262 kilómetros a los departamentos de Cundinamarca y Boyacá por un periodo de 30 años (Figura 1).

Figura 1. Red ferroviaria en proceso de entrega a Cundinamarca y Boyacá



Fuente: Márquez & otros.

¹³ MINISTERIO DE TRANSPORTE. Diagnóstico del Transporte 2008. Grupo de Planificación Sectorial, Oficina Asesoría de Planeación. Diciembre de 2008.

¹⁴ MÁRQUEZ, L. G. Modelo de Oferta de Transporte para Colombia, Selección de Información. Tunja: Unión Temporal Modelación del Transporte, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2008.

¹⁵ MÁRQUEZ DÍAZ, Luis Gabriel; VEGA BÁEZ, Luis Alfredo y POVEDA D'OTERO. Evaluación de la capacidad ferroviaria del corredor Bogotá – Belencito. Revista de Ingeniería. Universidad de los Andes. Bogotá D.C., Bogotá, 2011. Pág. 12-19.

Esto con el ánimo de que estas entidades territoriales se encarguen de la operación del ferrocarril con miras a incrementar la cantidad de carga transportada y ofrecer un servicio de transporte de pasajeros compartiendo la infraestructura que es utilizada prácticamente de manera exclusiva para envío de cemento de Belencito a Bogotá y que hoy por hoy moviliza cerca de 70 toneladas diarias.

Actualmente el gobierno nacional y regional presta interés por la implementación de líneas férreas en las operaciones de movilidad en el territorio, reconociendo el papel histórico que el ferrocarril tuvo durante el siglo XX en la construcción del país¹⁶. Junto a esta cohesión, la sostenibilidad es uno de los grandes retos del transporte del futuro. Factor que cuenta con su componente medioambiental, en el que este medio es relevante en la contaminación acústica, del aire y en la lucha contra el cambio climático¹⁷.

Dado que las condiciones en las que se encuentra no son las mejores como lo señaló la Revista Semana en el 2018, donde se evidenció que de los 3.515 kilómetros que conforman la red férrea solo se encuentran en funcionamiento 448 un 12%¹⁸. Actualmente, según cifras publicadas en el portal virtual oficial de la ANI (Agencia Nacional de Infraestructura) condensadas en Tabla 1. Infraestructura ferroviaria disponible en el 2020, en el 2020 están habilitados un total de 1121 km (31,8%) de vía recuperada.

Por lo que se requiere sumar esfuerzos al actual reglamento colombiano presentado por el Ministerio de Transporte en los dos volúmenes del Manual de Normatividad Férrea¹⁹ con la intención de recuperar los 2394 km restantes.

Tabla 1. Infraestructura ferroviaria disponible en el 2020

CORREDOR	DEPARTAMENTOS	DISTANCIA (km)
Santa Marta-Chiriguaná	Magdalena, Cesar	245
Chiriguana-La Dorada	Caldas, Antioquia, Santander y Cesar	558
Belencito-Bogotá	Boyacá, Cundinamarca, Bogotá	318

¹⁶ NIETO, Op. Cit., p. 16.

¹⁷ CONTRERAS MARTÍNEZ, Op. Cit., p. 10.

¹⁸ REVISTA SEMANA. Ferrocarriles, ¿al borde de la muerte? Bogotá, 2018. Edición on line. Consultado el 15 de febrero de 2020, disponible en: <https://www.semana.com/contenidos-editoriales/infraestructura-la-transformacion-de-un-pais/articulo/el-estado-de-los-ferrocarriles-de-colombia/563110>

TOTAL	1121
--------------	-------------

Fuente: ANI, 2020

Las problemáticas son conocidas y presentan dificultades propias de las dinámicas políticas, sociales y topográficas del país; por lo que la Red Férrea Nacional no es un tema pendiente, es una materia abandonada. A finales del siglo pasado mientras en las grandes economías del mundo se potencializaba y modernizaba el transporte férreo, en Colombia se le daba la espalda²⁰.

El Gobierno Nacional opto por evadir un sistema modal por sus problemas de corrupción en la década de los 80 y dejo a la deriva cualquier posibilidad de inclusión en un escenario de competitividad. La ausencia de gerencia, mantenimiento y cambio; no solo es evidente en las inexistentes vías férreas en Colombia sino en el limitado acople con las grandes conglomeraciones urbanas y/o económicas de los puertos. La inexistente capacitación y entrenamiento del país en este sector, crea una zona abandonada que se podrá recuperar a partir de un Plan Maestro de Transporte Intermodal que genere una inyección de conocimiento sobre el modo férreo.

Colombia se enfrenta al reto de tener mayor competitividad y participar de forma más activa en la economía internacional. No se trata de dejar de construir carreteras, sino de integrar todos los sistemas que ofrecen oportunidades de crecimiento. Se requieren visiones de ingeniería integral de profesionales del territorio nacional. Es decir, aportes que lleven a la generación de documentos técnicos capaces de complementar los actuales estándares con los que se evalúa la infraestructura férrea y generar dinámicas nacionales para su mantenimiento.

Llevar a un nivel adecuado este medio de transporte no solo será un proceso lento sino complicado, que necesitará los conocimientos y el capital privado para su resurgimiento. Hoy por hoy, el carbón es el producto que mayor demanda genera del modo férreo; es necesario diversificar esta herramienta de capitalización a la producción agrícola y conectarla de una manera más eficiente, prolija y rentable con cada uno de los municipios que se encuentran en su recorrido.

4.2 MARCO HISTÓRICO

20 RONCHAQUIRÁ, E. J. & MORENO, M. A. Tesis de grado. Dificultades Que Enfrentará La Infraestructura Vial En Colombia De Cara A La Alianza Pacífico. 2016.

En el año de 1954 bajo el mandato presidencial del general Gustavo Rojas Pinilla mediante el decreto 3129 se creó la empresa llamada “Ferrocarriles Nacionales de Colombia” de siglas FNC, cuya función fue la unificación de todo el sistema férreo nacional en un mismo organismo estatal y que además dentro de sus funciones tenía las de operar y mantener la infraestructura y equipos existentes. De acuerdo, con lo mencionado por Muñoz el tren y más específicamente el ferrocarril del Norte fue una obra que en sus inicios proporcionó un servicio que direccionó el crecimiento de la ciudad hacia la sabana, pero este medio de transporte fue perdiendo importancia debido a razones tanto culturales, políticas, históricas y económicas ²¹.

En el año de 1988 bajo el mandato presidencial de Virgilio Barco, se promovió la Ley 21 que pretendía reestructurar la entidad estatal Ferrocarriles Nacionales de Colombia en la cual se separaban las funciones de mantenimiento y operación. En dicha reestructuración se liquidó la FNC. Luego a este acontecimiento se creó la Empresa Colombiana de Vías Férreas – Ferrovías, como la industrial y comercial del Estado, vinculada al Ministerio de Obras Públicas y Transporte con el objeto de explotar, mejorar, mantener, rehabilitar, modernizar, y administrar la red férrea nacional.

Para el año de 1992 se crea la empresa TURISTREN LTDA. Según el portal web de la compañía “Turistren firmó un contrato con Ferrovías que le brindaba el derecho de uso de la vía y se solicitaron al Fondo de Pasivo Social de los ferrocarriles, los antiguos equipos que pudieran ser rehabilitados. El primero corrió el 29 de mayo de 1993 con el nombre de “Tren Turístico de la Sabana”, con una locomotora a vapor, coches de pasajeros y coche cafetería completamente”²².

En su cronología tenemos que en 1925 estuvo a cargo de la firma Belga Societé Nationale de Chemins de Fer, en 1926 llega a Usaqué y en 1931 llegó a Tunja y Sogamoso, atravesando por Paipa. En 1938 la Nación lo compró y lo prolongó hasta Paz del Río, para facilitar el transporte del material de las minas de hierro. Ya en 1963 se electrifica el tramo entre Belencito (Nobsa) y el municipio de Paz del Río.

El ferrocarril del nordeste buscaba la comunicación de Cundinamarca con Boyacá. El tramo original en la ciudad de Bogotá fue trasladado varias veces. Su ruta de origen hace uso de la línea para el Ferrocarril del Norte. El recorrido entre Belencito

²¹ MUÑOZ PRIETO, Wilman. Concesiones viales en Colombia, historia y desarrollo. Bogotá, 2002. Pág. 18–26.

²² Ibid. P 25.

(Nobsa) y el municipio de Paz del Río esta electrificado y fue el primer tren eléctrico de Colombia, aunque es de carga, tiene un vagón de pasajeros²³.

4.3 MARCO CONCEPTUAL

La vía se ubica a lo largo de los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, el tramo principal de este corredor férreo se compone actualmente de 297,9 km de línea férrea desde el municipio de Facatativá a Belencito y atravesando por la ciudad de Bogotá. Adicionalmente, cuenta con un eje que va de La Caro hasta Zipaquirá con 20,4 km.

Este corredor cruza por los municipios de Facatativá, Madrid, Mosquera; atraviesa Bogotá y continua por siete municipios más que son Chía, Cajicá, Zipaquirá, Tocancipá, Gachancipá, Sesquilé, Suesca, Chocontá y Villapinzón en el departamento de Cundinamarca. También, pasa por Ventaquemada, la ciudad de Tunja, y continúa por Oicatá, Tuta, Paipa, Duitama, Tibasosa y Sogamoso, para terminar en la población de Belencito (Nobsa)²⁴.

Sin embargo, las estructuras que hacen parte de este corredor presentaron un alto deterioro físico debido a que en Colombia el arreglo de equipos nunca se ha realizado de forma responsable y periódica, con lo cual se disminuye su vida útil de manera dramática. Esto se evidenció al momento en que la empresa del Ferrocarril de la Sabana originario (trazado que conectaba la ciudad de Bogotá con el municipio de Facatativá) tuvo que ser arrendada a la empresa de los Ferrocarriles del Norte para el año de 1984 a causa del descuido en el mantenimiento de las locomotoras y posterior crisis financiera.²⁵

Existen además razones que explican el desuso y deterioro del Ferrocarril del Norte; entre las que se encuentra la construcción de las primeras autopistas, las cuales comenzaron a conectar a la capital del país con sus municipios vecinos donde se aumentó el tráfico de automóviles para el traslado de víveres y alcanzaron a movilizar unas 3000 toneladas de materiales, dejando este medio de transporte

²³ CÁRDENAS, Mauricio; GAVIRIA, Alejandro y MELÉNDEZ, Marcela. Rehabilitación de la red férrea nacional, en: La infraestructura de transporte en Colombia. 2005.

²⁴ Op. Cit. p. 22

²⁵ GARZÓN URIBE, Yuddy Carolina, BENAVIDES QUINTERO, Holman David. Diagnóstico del estado actual de la vía férrea y estaciones en el tramo de Espinal a Ibagué, para rehabilitación y posible operación de trenes de carga y pasajeros Trabajo de grado Ingeniero Civil. Bogotá, Universidad Santo Tomás, Facultad De Ingeniería Civil, 2019. Pág. 27- 78.

apartado en cuanto al desarrollo y crecimiento de las necesidades de la ciudad. Por lo cual se tuvo que actualizar la flota de locomotoras por otras más veloces y con mayores capacidades de carga.

Actualmente la línea se encuentra concesionada por la Agencia Nacional de Infraestructura al Consorcio Ibines Ferreo mediante contrato de Obra pública titulado “Contrato de obra Bogotá- Belencito- Dorada- Chiriguaná”. Este documento tiene como alcance la rehabilitación de 522 km de vía (Dorada- Chiriguaná) y 318 km (Bogotá- Belencito).²⁶ Es utilizado por la Compañía Paz del Rio para el transporte de carga desde Belencito hacia Bogotá. También, Cementos Argos utiliza la vía con los mismos propósitos. Fuera de este uso, el corredor férreo se encuentra en estado de abandono; únicamente se hace mantenimiento a las vías, pero la mayoría de las estaciones se encuentran muy deterioradas o destruidas, las únicas estaciones que han sido restauradas para darles otro uso son las de Tunja, Paipa, Duitama y Sogamoso²⁷.

²⁶ Op. Cit. P. 22.

²⁷ Mediante Resolución 01316 - VIII de 1994, del Gobierno Nacional.

5. DISEÑO METODOLÓGICO

Como hipótesis del presente trabajo se tiene que el corredor ferrovial Bogotá-Belencito, presenta mal estado de los elementos que componen la estructura fija; por esta razón un tramo corto puede evidenciar satisfactoriamente las diferentes patologías presentes en el total de la obra. El proceso de elaboración de este estudio se ve representado en la Figura 2. Diagrama de flujo del trabajo investigativo. en donde se encuentra graficada la actividad realizada a lo largo del tiempo.

Con el fin de confirmar el enunciado se propone una investigación descriptiva²⁸, en ella se investigan y determinan las propiedades y características más representativas de las patologías presentes en la vía férrea²⁹, por lo cual se seleccionó específicamente los componentes estáticos. Este estudio no considero la maquinaria móvil como el tren y los vagones, la señalización, ni las edificaciones asociadas (estación).

El sitio seleccionado para realizar la inspección objeto principal de esta investigación se ubica en el km 225 del corredor ferrovial Bogotá-Belencito, más exactamente en el casco urbano del municipio de Paipa (Boyacá). Se demarco un tramo intermedio de 100 metros; donde se realizó la auscultación del balastro, traviesa, riel, fijaciones y juntas a lo largo de cuatro visitas durante el año 2019, en las cuales se revisó y documentó fotográficamente su aspecto exterior.

Para el registro fotográfico de los objetos de estudio se utilizó una cámara NIKON D900, procurando realizar las tomas fijas enfocando en primer plano la característica a analizar, mientras que en un portátil LENOVO ThinkPad se realizó una breve libreta de campo donde se contemplaba la ubicación relativa de la obra por medio del punto kilométrico (PK) visto en la señalización. Las fotografías, figuras y esquemas que acompañan este documento fueron editadas en el software de edición Adobe Photoshop.

²⁸ BORJA S, Manuel. Metodología de la investigación científica para ingenieros. Chiclayo, 2018. Pág. 8-38.

²⁹ CHAVIANO MACHADO, Eriel. Experiencias en la implantación de un manual de inspección de puentes ferroviarios en Cuba. ¿Vamos en la dirección correcta? La Habana, 2019. Pág.

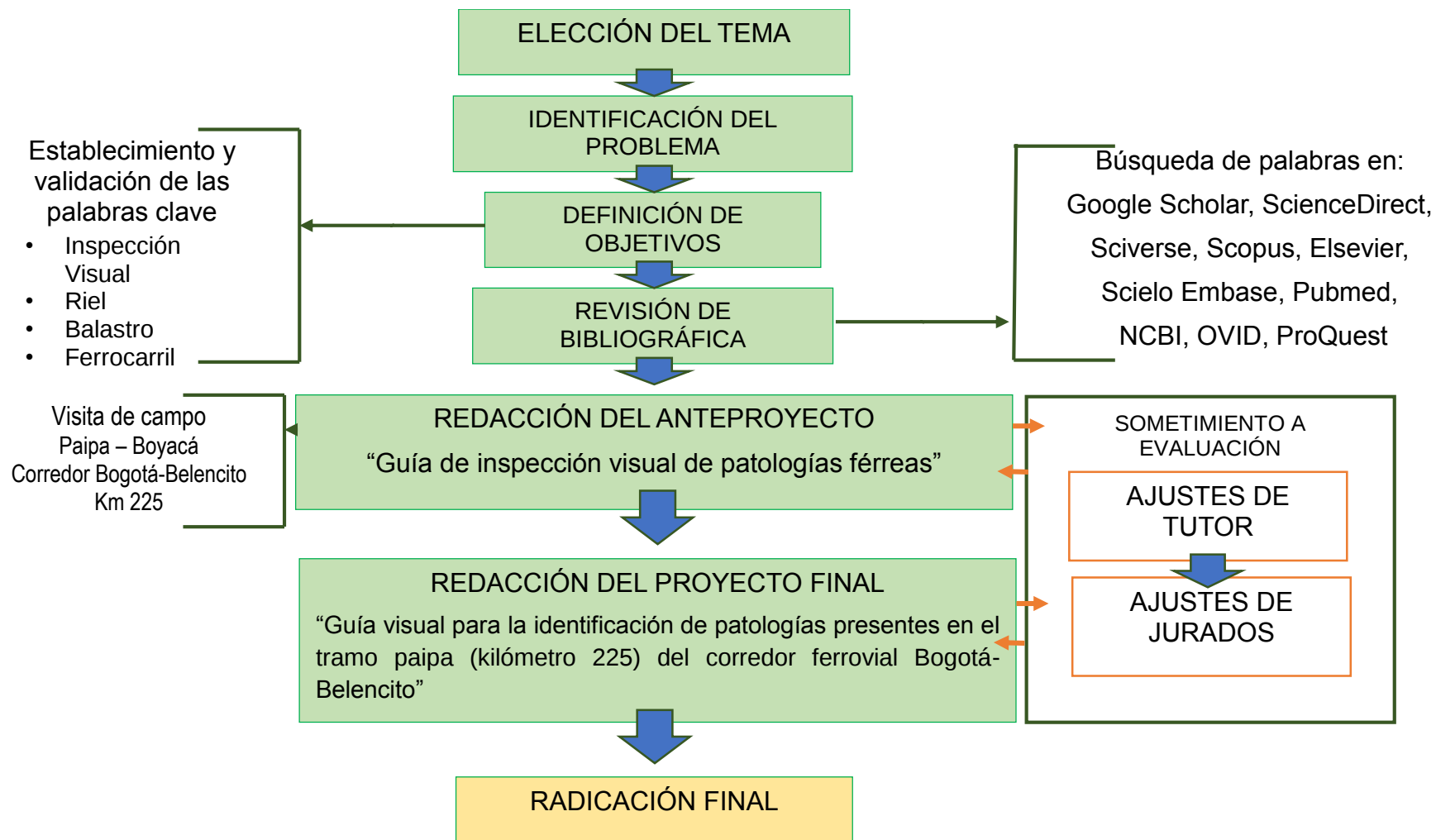
Al no disponer de una guía similar en el país, los criterios utilizados en la selección del material bibliográfico de soporte fueron pocos; se tuvo en cuenta artículos científicos y periodísticos, guías y manuales³⁰³¹. De ellos fueron seleccionados los escritos en idioma español e inglés. Sin embargo, esta investigación se apoyó de una gran variedad de recursos en línea, puesto que la obtención de datos se vio truncada dadas las condiciones impuestas en las medidas de cuarentena causadas por el COVID-19.

La revisión bibliográfica se enfocó en dos aspectos; la historia y legislación que ha tenido el aparato ferroviario a lo largo de su existencia en Colombia. Donde las fuentes principales se remiten a instituciones y organismos relacionados con el transporte (Repositorio UNAL, Alcaldía de Paipa, INVIAS) y técnico en las bases de datos disponibles (Google Scholar, ScienceDirect, Sciverse, Scopus, Elsevier, Scielo Embase, Pubmed, ProQuest).

³⁰ MORÁN JUSDADO, Pablo. Estudio dinámico del contacto rueda-carril en la circulación ferroviaria y análisis de defectos del carril. Trabajo de grado Ingeniero Industrial. Universidad Politécnica de Madrid, escuela técnica superior de ingenieros industriales. Madrid, 2017. Pág. 111-139.

³¹ UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, MINISTERIO DE TRANSPORTES. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras vol. 1. Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. Bogotá, 2006. Pág. 31-43.

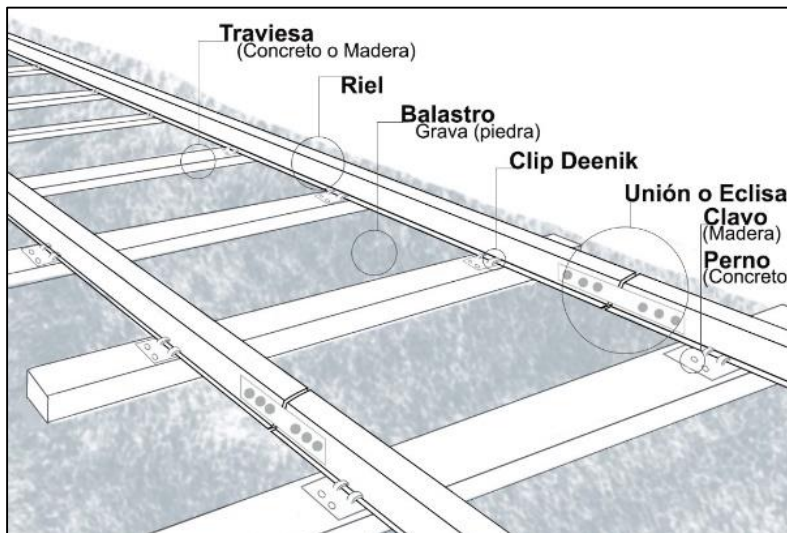
Figura 2. Diagrama de flujo del trabajo investigativo.



6. RESULTADOS

Se evaluó el tramado vial seleccionado caracterizando seis componentes fijos de la vía férrea: balastro, riel, las juntas, las fijaciones y traviesa (Figura 3) Las fijaciones son de tipo elástico y rígido, mientras que las traviesas inspeccionadas en el recorrido son de madera y concreto.

Figura 3. Componentes de la vía férrea



Fuente: Autores 2020.

En cuanto al estudio de la obra férrea se estableció el *estado de deterioros*. Como, se mencionó anteriormente, muchas de las estaciones del complejo vial están en situación de abandono o ruina, mientras que en otras se ha preservado la arquitectura, pero se le ha dado otro uso distinto al ferroviario.

En cuanto a las vías, se determinó que en Paipa se encuentran en desahucio³², lo que implica el mantenimiento o cambio total del corredor. Así mismo, la señalización no es consistente a lo largo de la línea y hay pasos a nivel ilegales, el 80% de ellos no cuentan con barreras de protección y estos han afectado la integridad del tramo.

³² ALDANA VANEGAS, Carlos Fernando. Diagnóstico del sistema férreo presente en la ciudad Bogotá como una alternativa en el mejoramiento de la movilidad. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Tecnología. Monografía. Bogotá, 2018. Pág. 6- 39.

6.1 INSPECCIÓN VISUAL “TRAMO PAIPA”

Figura 4. Fotografías del tramo y estación del tren en Paipa, Boyacá



Fuente: Autor, 2019

Los componentes de la vía se ubican en la plataforma, son ellos los que soportan los esfuerzos por lo cual estos no deben presentar ningún tipo de deformación. Esta tiene que estar conformada por capas de suelo bien compactadas y de óptima calidad, el plano de formación debe poder soportar las cargas que le trasmite el balastro y tener una inclinación suficiente para permitir el escurrimiento del agua. A primera vista las estructuras asociadas al tramo férreo alcanzan a apreciarse estéticamente agradables (Figura 1). Sin embargo, al evaluar por completo bajo la mirada analítica de un profesional con una herramienta visual indicada, los detalles pueden notarse.

6.2 GUIA DE VISUAL DE PATOLOGÍAS FÉRREAS

A continuación, se explica y expone la forma en la que se encuentra organizada la guía ilustrada producto de este estudio, el tamaño de las fotografías y figuras están estandarizadas, al igual que la información que aparece en cada una de las casillas.

Figura 5. Explicación de la figura estándar en la guía

	
Estado: O, B, D	Elemento analizado.
Identificación de la patología discutida.	Punto kilométrico, coordenada GPS o referencia exacta del sitio.
Posible causa de la patología.	Ciudad, localidad.

Fuente: Autores 2020.

Los componentes evaluados en la siguiente inspección fueron el balastro, las traviesas, los rieles, las fijaciones y las juntas. En cada uno de los casos se presenta la información como se dispone en la Figura 5.

La grafica se divide en dos columnas de cuatro filas, en la columna derecha se organiza una fotografía del elemento evaluado, seguido por su nombre, ubicación específica y datos de localidad. Al extremo izquierdo se encuentra una imagen que señala el lugar relativo en que se detectó la patología en la sección de vía analizada.

Una herramienta inédita de la investigación y fundamental en esta guía de inspección visual es la gráfica de convenciones de la Tabla 3, aquí se presenta un símbolo por patología. Es decir, cada defecto se ve representado en la tabla con un distintivo que lo representa.

Iconográficamente cada sección se agrupa mediante figuras geométricas representando el elemento vial superpuesto por otro icono que representa la patología correspondiente. Esto facilita la representación en el esquema ilustrativo ubicado a la izquierda de la fotografía respectiva.

Estos símbolos no solo se aplican para la esquematización del informe final, también se pueden plasmar sobre el componente analizado con aerosol y plantilla o con tiza industrial, agilizando la identificación por parte del técnico que realiza el mantenimiento y reparación.

Este estudio considera tres estados:

Tabla 2. Estados de funcionamiento

Estado	Sigla	Funcionamiento
Óptimo	O	Ideal
Bueno	B	Apto
Deficiente	D	No apto

Fuente: Autores

Se demarca justo debajo de la ilustración de la patología en los cuadros de la guía.

Tabla 3. Convenciones Diagnostico Línea Férrea

INDICACIÓN GENERAL	DIAGNÓSTICO
	Contaminación del balastro por paso de tráfico.
	Contaminación del balastro por vegetación.
	Ausencia del balastro.
	Mala disposición del balastro.
	Pudrición de la traviesa en madera.
	Astillamiento de la traviesa en madera.
	Agrietamiento y rompimiento de la traviesa en concreto.
	Fracturación de la traviesa de concreto.
	Desgaste y rompimiento de la traviesa en concreto.
	Hundimiento local de superficie de rodamiento y desgaste en riel (Caso 1)
	Hundimiento local de superficie de rodamiento y desgaste en riel (Caso 2)
	Picadura o escamado de riel.
	Desgaste lineal del riel.
	Corrosión horizontal del riel.
	Corrosión y aplastamiento del riel.

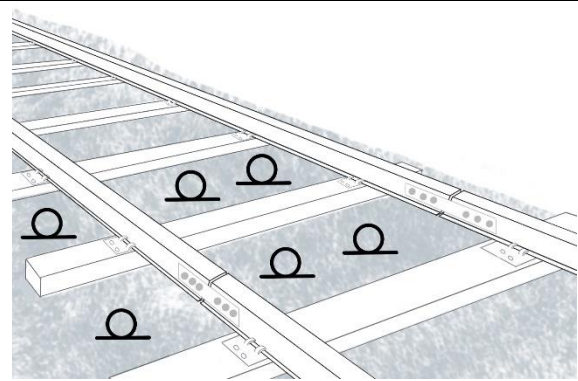
	Expansión térmica del riel.
	Corrosión del Clip Deenik
	Clavo gancho suelto y corroído.
	Corrosión y desgaste de la eclisa.
	Corrosión, desgaste y pérdida de arandelas y bulones (Caso 1).
	Corrosión, desgaste y pérdida de arandelas y bulones (Caso 2).

Fuente: Autores 2020.

6.2.1 Balastro

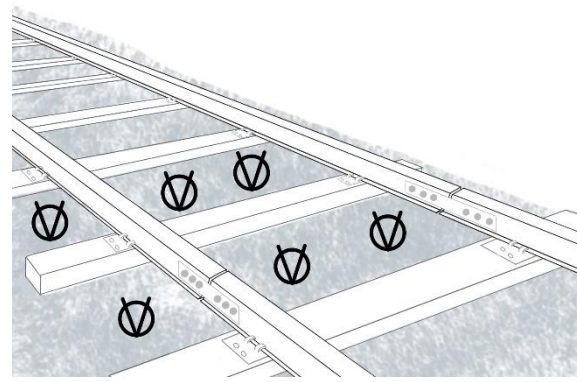
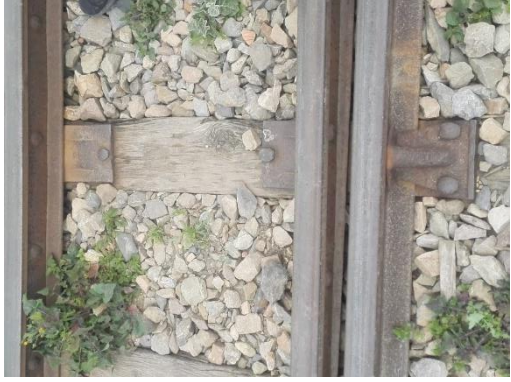
El balastro de material pétreo es la capa que se coloca sobre el plano de formación en espesor de 10 a 30 cm y debajo de la traviesa; a fin de proporcionar un buen soporte a la estructura de la vía. Está constituido por piedra partida proveniente de cantera, triturada según las normas.

Figura 6. Contaminación del balastro por paso de tráfico

	
Estado: D	Balastro
Patología: Contaminación por polvo y materiales finos.	PK 225+010 Corredor Bogotá-Belencito
Causa: Paso de tráfico automotriz	Paipa, Boyacá

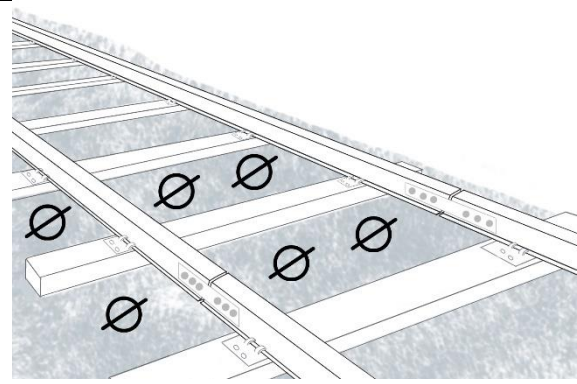
Fuente: Autores 2020.

Figura 7. Contaminación del balastro por vegetación

	
Estado: D	Balastro
Patología: Contaminación por vegetación	PK 225+040, Corredor Bogotá-Belencito
Causa: Falta mantenimiento y mal drenaje.	Paipa, Boyacá

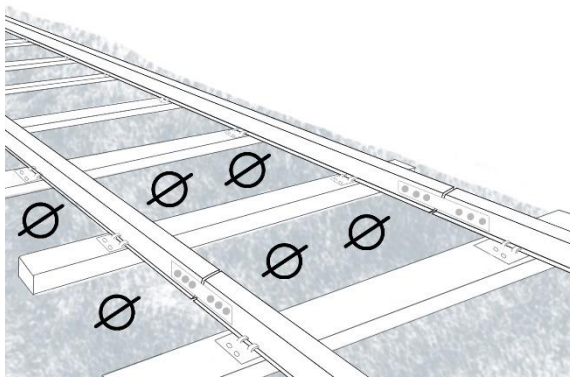
Fuente: Autores 2020.

Figura 8. Ausencia del balastro

	
Estado: D	Balastro
Patología: Sin material pétreo	PK 225+090, Corredor Bogotá-Belencito
Causa: Probable extracción ilegal (robo)	Paipa, Boyacá

Fuente: Autores 2020.

Figura 9. Mala disposición del balastro

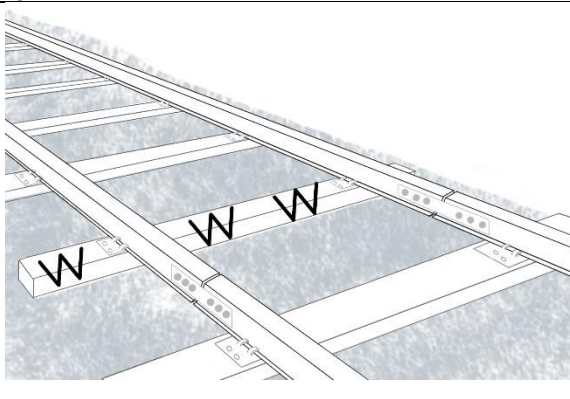
	
Estado: D	Balastro
Patología: El material pétreo sobrepasa a la traviesa	PK 225+035, Corredor Bogotá-Belencito
Causa: Mal mantenimiento	Paipa, Boyacá

Fuente: Autores 2020.

6.2.2 Traviesa o Durmiente

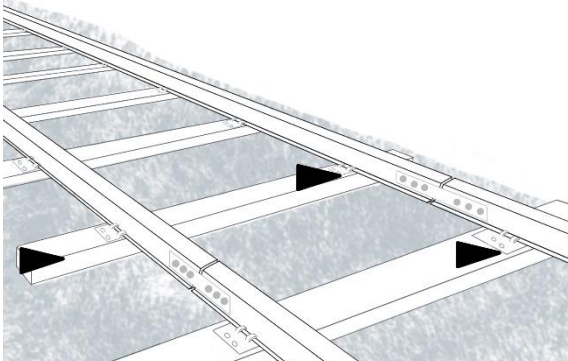
Traviesa en madera

Figura 10. Pudrición de la traviesa en madera

	
Estado: D	Traviesa y riel
Patología: Pudrición de la madera	PK 225+020, Corredor Bogotá-Belencito
Causa: Humedad	Paipa, Boyacá

Fuente: Autores 2020.

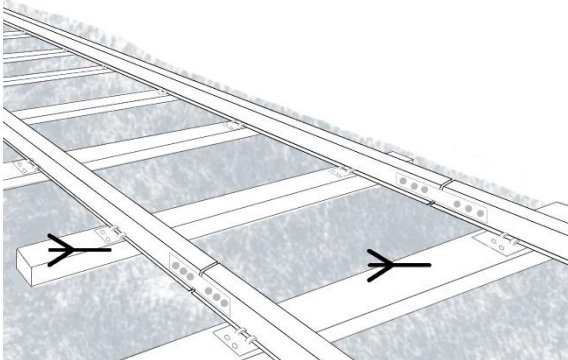
Figura 11. Astillamiento de la traviesa en madera

	
Estado: D	Traviesa
Patología: Astillamiento	PK 225+045, Corredor Bogotá-Belencito
Causa: Humedad y falta de mantenimiento	Paipa, Boyacá

Fuente: Autores 2020.

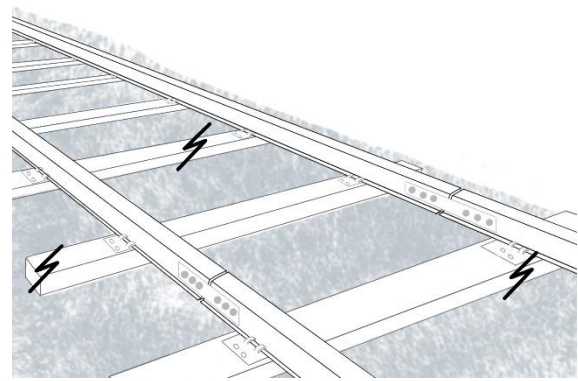
Traviesa en concreto

Figura 12. Agrietamiento y rompimiento de la traviesa en concreto

	
Estado: D	Traviesa en concreto
Patología: Agrietamiento y Rompimiento	PK 225+050, Corredor Bogotá-Belencito
Causa: Humedad y peso de carga	Paipa, Boyacá

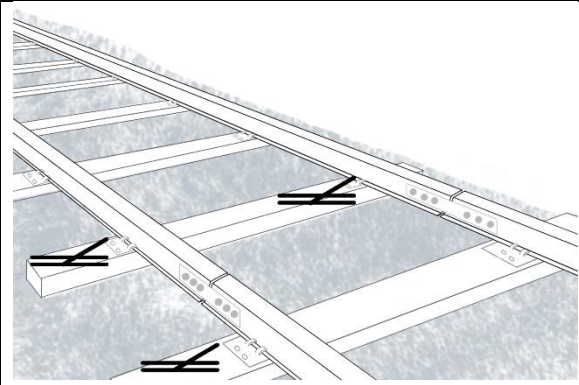
Fuente: Autores 2020.

Figura 13. Fracturación de la traviesa de concreto

	
Estado: D	Traviesa en concreto
Patología: Fracturación	PK 225+100, Corredor Bogotá-Belencito
Causa: Humedad y peso de carga	Paipa, Boyacá

Fuente: Autores 2020.

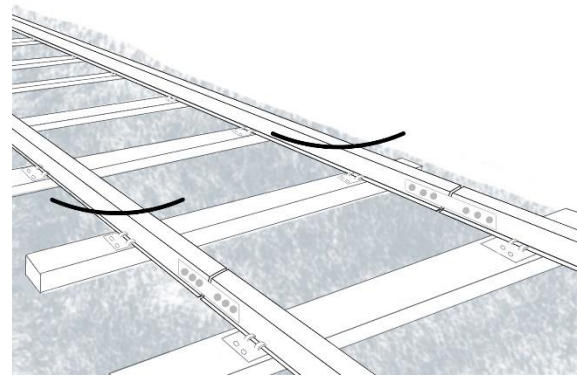
Figura 14. Desgaste y rompimiento de traviesa en concreto

	
Estado: D	Traviesa en concreto
Patología: Desgaste y Rompimiento	PK 225+105, vía férrea
Causa: Humedad y contacto inadecuado	Paipa, Boyacá

Fuente: Autores, 2020.

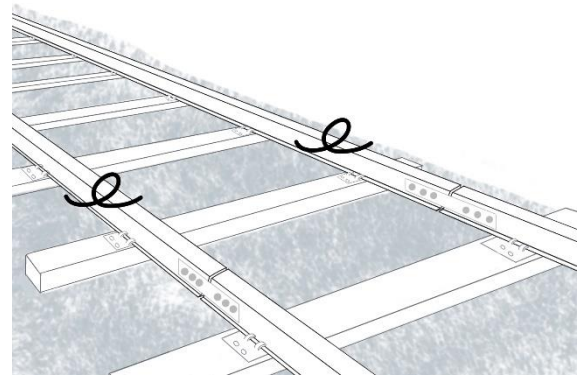
6.2.3 Riel

Figura 15. Hundimiento local de superficie de rodamiento y desgaste en riel (caso 1)

	
Estado: B	Riel
Patología: Hundimiento local de superficie de rodamiento y desgaste	PK 225+050, Corredor Bogotá-Belencito
Causa: Peso de carga y frenado	Paipa, Boyacá

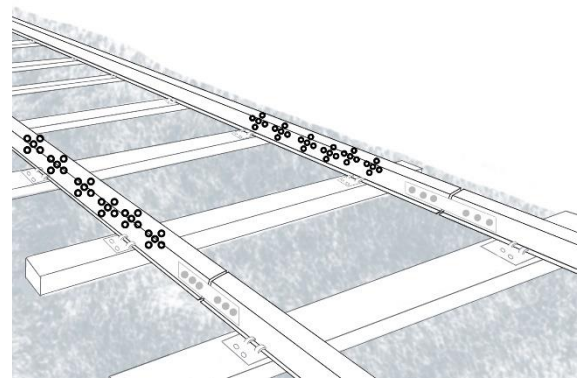
Fuente: Autores 2020.

Figura 16. Hundimiento local de superficie de rodamiento o y desgaste en riel (caso 2)

	
Estado: B	Riel
Patología: Hundimiento local de superficie de rodamiento o y desgaste	PK 225+055, Corredor Bogotá-Belencito
Causa: Peso de carga y uso	Paipa, Boyacá

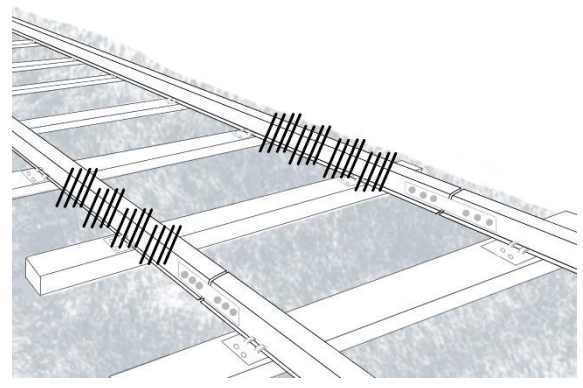
Fuente: Autores 2020.

Figura 17. Picadura o escamado de riel

	
Estado: D	Riel
Patología: Picadura o escamado	PK 225+020, Corredor Bogotá-Belencito
Causa: Uso y mala calidad del acero	Paipa, Boyacá

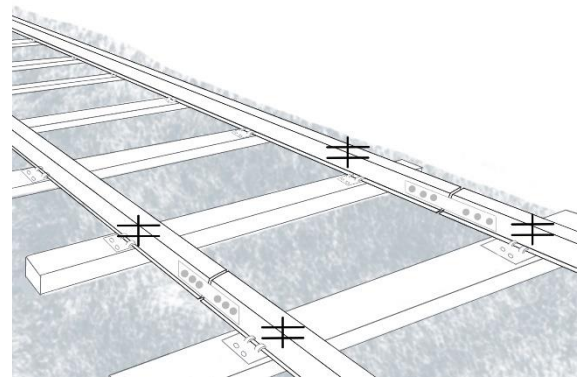
Fuente: Autores 2020.

Figura 18. Desgaste lineal del riel

	
Estado: B	Riel
Patología: Desgaste lineal	PK 225+060, Corredor Bogotá-Belencito
Causa: Uso y peso de carga	Paipa, Boyacá

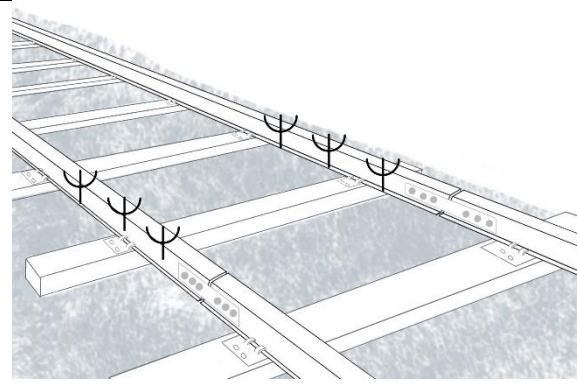
Fuente: Autores 2020.

Figura 19. Corrosión horizontal del riel

	
Estado: D	Riel
Patología: Corrosión	PK 225+045, Corredor Bogotá-Belencito
Causa: Humedad, uso y falta de mantenimiento	Paipa, Boyacá

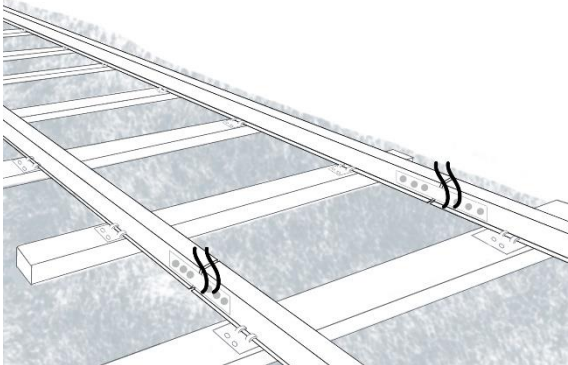
Fuente: Autores 2020.

Figura 20. Corrosión y aplastamiento de riel

	
Estado: D	Riel
Patología: Corrosión y aplastamiento simple.	PK 225+040, Corredor Bogotá-Belencito
Causa: Humedad, uso y falta de mantenimiento	Paipa, Boyacá

Fuente: Autores 2020.

Figura 21. Expansión térmica del riel

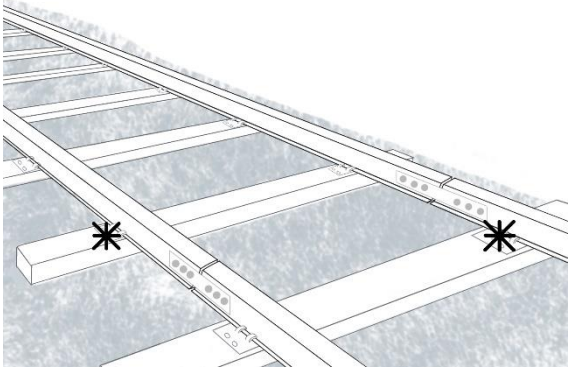
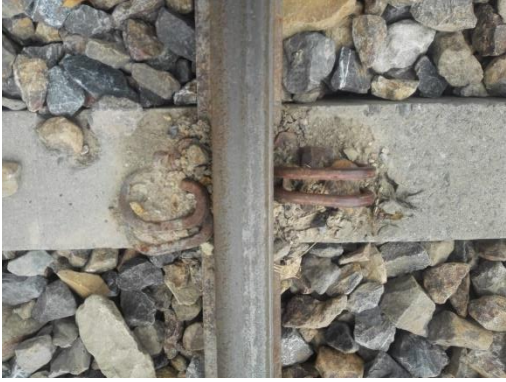
	
Estado: D	Riel
Patología: Expansión térmica	PK 225+060, Corredor Bogotá-Belencito
Causa: Exposición térmica del material (sol)	Paipa, Boyacá

Fuente: Autores 2020.

6.2.4 Fijaciones

Fijación elástica

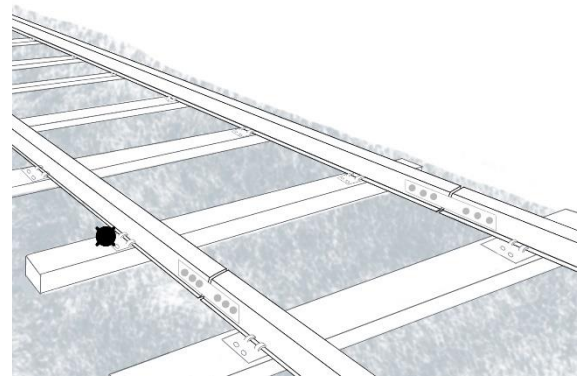
Figura 22. Corrosión del clip Deenik

	
Estado: D	Clip Deenik
Patología: Corrosión	PK 225+000, Corredor Bogotá-Belencito
Causas: Humedad	Paipa, Boyacá

Fuente: Autores 2020.

Fijación rígida

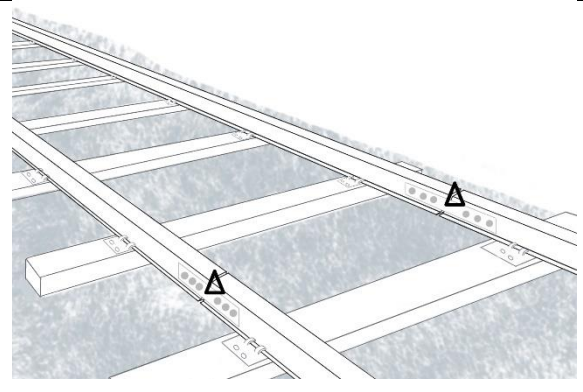
Figura 23. Clavo gancho suelto y corroído

	
Estado: D	Clavo gancho
Patología: Suelto y Corrosión	PK 225+070, Corredor Bogotá-Belencito
Causas: Humedad, vibración y uso	Paipa, Boyacá

Fuente: Autores 2020.

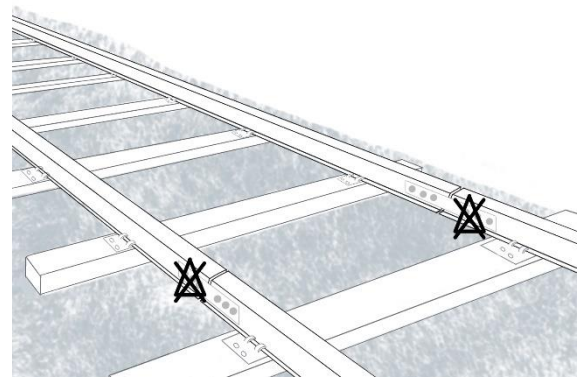
6.2.5 Juntas

Figura 24. Corrosión y desgaste de la eclisa

	
Estado: D	Eclisa tipo barra
Patología: Corrosión y Desgaste	PK 225+015, Corredor Bogotá-Belencito
Causas: Humedad y uso	Paipa, Boyacá

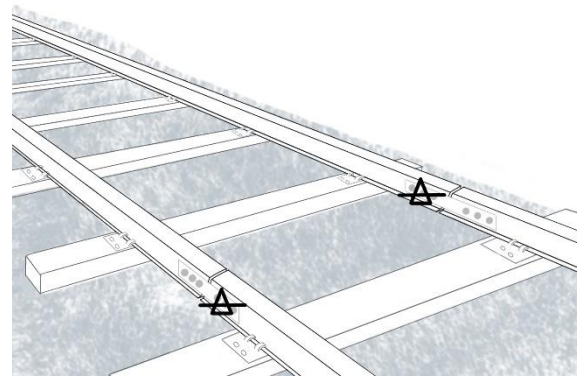
Fuente: Autores 2020.

Figura 25. Corrosión, desgaste y pérdida de arandelas y bulones (caso 1)

	
Estado: B	Eclisa tipo barra
Patología: Corrosión, Desgaste y Pérdida de piezas (Arandelas y Bulones)	PK 225+015, Corredor Bogotá-Belencito
Causas: Humedad, uso y vibración	Paipa, Boyacá

Fuente: Autores 2020.

Figura 26. Corrosión, desgaste y pérdida de arandelas y bulones (caso 2)

	
Estado: D	Junta
Patología: Corrosión, Desgaste y Pérdida de piezas (Arandelas y Bulones)	PK 225+020, Corredor Bogotá-Belencito
Causas: Humedad, uso y vibración	Paipa, Boyacá

Fuente: Autores 2020.

6.2.6 Otros hallazgos de Relevancia

Se incluye una breve recopilación fotográfica de otros hallazgos realizados en obra, esto con el fin de evidenciar el estado de abandono en el que se encuentra actualmente la obra.

Figura 27. Escombros de traviesas abandonadas en vía

	
Traviesa fracturada y abandonada	Escombros sobre plataforma del tren
PK 225+100, Corredor Bogotá-Belencito	PK 225+100, Corredor Bogotá-Belencito

Fuente: Autores 2020.

Figura 28. Señalización y pasos en la vía

	
Señalización del punto kilométrico (PK)	Paso ilegal, Calle 21
PK225+000	PK 225+120, Corredor Bogotá-Belencito
Mal estado y descuido	Paipa, Boyacá

Fuente: Autores 2020.

Figura 29. Estado de los puentes en la vía

	
Puente sin señalización	Puente en estado precario de mantenimiento
PK 225+070, Corredor Bogotá-Belencito	PK225+160, Corredor Bogotá-Belencito
Paipa, Boyacá	Paipa, Boyacá

Fuente: Autores 2020.

7. CONCLUSIONES

El resultado de la inspección fue contundente, los elementos que componen la vía férrea se observan altamente perjudicados por el descuido. Cada uno se detecta afectado por algún tipo de patología, lo que a su vez compromete la seguridad de toda la estructura.

Los elementos con mayor afectación en su apariencia exterior son: el riel que cuenta con siete (7) diferentes patologías documentadas en este estudio, la traviesa con cinco (5) (dos en madera y tres en concreto); el balastro tuvo cuatro (4), seguido por las juntas con tres (3), finalizando con dos (2) en las fijaciones (uno en elásticas y otro en rígidas).

El aspecto general que presenta la obra férrea nos permite inferir la necesidad de un mantenimiento correctivo para mejorar el funcionamiento del tramo analizado y por superposición, el eje ferroviario del municipio de Paipa. Esto requiere además de voluntad política y de la iniciativa de profesionales en ingeniería que generen nuevos conceptos de movilidad mediante la recuperación de la infraestructura existente.

28 figuras componen la “Guía visual para la identificación de patologías”, 3 son explicativas y 25 corresponden a los hallazgos reportados en el informe de inspección. Se determinaron un total de 21 patologías en los 6 componentes analizados, entre ellos se encontró con mayor prevalencia la corrosión presente en la mayoría de los elementos metálicos de la estructura. Del mismo modo, se identificaron afectaciones como la contaminación, hundimiento, ausencia de material (balastro y clavos), desgaste, astillamiento (en el caso de partes de madera), fracturación y picaduras.

La valoración del estado en que se encuentran los componentes fue deficiente, todos presentan algún tipo de patología y es fundamental concluir que el funcionamiento de esta vía es de por sí, un peligro para los trabajadores y sociedad asociada. Solo en algunos casos puntuales como del balastro y riel se valoró B (bueno) en comparación al resto de la estructura.

Aunque las causas no son uno de los objetivos de este estudio, se circunscriben en la guía como un componente percibido a partir de las observaciones realizadas en campo. En los resultados se incluyen fotografías producto de la inspección que demuestran objetivamente el descuido en el que se encuentra la obra en general.

Otro componente que no fue evaluado, pero que llamo la atención fue el estado de la señalización vial y peatonal dentro del tramo de estudio. Además, de ser deficiente se encontró irrespetando las normas establecidas para su operación.

La ejecución de inspección no solo es necesaria en la construcción de infraestructura, es totalmente indispensable en la operación y funcionamiento de un ferrocarril. Por tal motivo, un aporte como esta guía es un adelanto sencillo pero significativo en la recuperación del patrimonio ferroviario de los boyacenses y de la nación en general. Además, es un objetivo de los autores brindar visibilidad al tema del transporte multimodal y responsable con el medio ambiente. Se considera necesario innovar la manera en que se transportan los bienes y servicios ya que las condiciones actuales en las que se encuentra sumergida la sociedad a nivel mundial así lo exigen.

8. RECOMENDACIONES

Es necesario ampliar la distancia del tramo y las estructuras evaluadas para continuar la consolidación de un manual general de inspección visual, esto requiere apoyo de la sociedad e instituciones tanto del sector público como del privado.

Las nuevas tecnologías permiten una optimización de los procesos de inspección, por lo que se recomienda tener esto en cuenta al momento de proponer técnicas de evaluación visual.

BIBLIOGRAFIA

ALDANA VANEGAS, Carlos Fernando. Diagnóstico del sistema férreo presente en la ciudad Bogotá como una alternativa en el mejoramiento de la movilidad. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Tecnología. Monografía. Bogotá, 2018. Pág. 6- 39.

BORJA S, Manuel. Metodología de la investigación científica para ingenieros. Chiclayo, 2018. Pág. 8-38.

CÁRDENAS, Mauricio; GAVIRIA, Alejandro y MELÉNDEZ, Marcela. Rehabilitación de la red férrea nacional, en: La infraestructura de transporte en Colombia. 2005.

CHAVIANO MACHADO, Eriel. Experiencias en la implantación de un manual de inspección de puentes ferroviarios en Cuba. ¿Vamos en la dirección correcta? La Habana, 2019. Pág.

Colombia, Ministerio de transporte, viceministro de infraestructura. Manual de normativa férrea, vol. 2. 2013, pág. 8-200.

Colombia, Ministerio de transporte, viceministro de infraestructura. Manual de normativa férrea, vol. 1. 2013, pág. 8-78.

CONTRERAS MARTÍNEZ, Francisco José. El transporte ferroviario como elemento básico de la política de transportes y sus efectos sobre la cohesión y la política regional de la Unión Europea Departamento de Análisis Económico. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Uned. Tesis doctoral. Madrid, 2017. Pág. 52-160.

EMPRESA DE LOS FERROCARILES DEL ESTADO. Reglamento de vías férreas ferrocarril de Arica a La Paz. Santiago de Chile. 2009. Pág. 26-51.

EPYPSA-ARDANUY, Consorcio. Estudio para la elaboración del marco normativo férreo colombiano enfocado en factores técnicos de diseño, construcción, mantenimiento, operación, control y aspectos de seguridad. Bogotá: Ministerio de Transporte, 2012.

GARZÓN URIBE, Yuddy Carolina, BENAVIDES QUINTERO, Holman David. Diagnóstico del estado actual de la vía férrea y estaciones en el tramo de Espinal a Ibagué, para rehabilitación y posible operación de trenes de carga y pasajeros Trabajo de grado Ingeniero Civil. Bogotá, Universidad Santo Tomás, Facultad De Ingeniería Civil, 2019. Pág. 27- 78.

MARINO, Francescomaria, DISCANTE, Arcangelo. Mazzeo, L. M. y Stella, Ettore. A real-time visual inspection system for railway maintenance: automatic hexagonal-headed bolts detection. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), 2007, vol. 37, no 3. Pág. 418-428.

MÁRQUEZ DÍAZ, Luis Gabriel; VEGA BÁEZ, Luis Alfredo y POVEDA D 'OTERO. Evaluación de la capacidad ferroviaria del corredor Bogotá – Belencito. Revista de Ingeniería. Universidad de los Andes. Bogotá D.C., Bogotá, 2011. Pág. 12-19.

MÁRQUEZ, L. G. Modelo de Oferta de Transporte para Colombia, Selección de Información. Tunja: Unión Temporal Modelación del Transporte, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2008.

MINISTERIO DE TRANSPORTE. Diagnóstico del Transporte 2008. Grupo de Planificación Sectorial, Oficina Asesoría de Planeación. Diciembre de 2008.

MORÁN JUSDADO, Pablo. Estudio dinámico del contacto rueda-carril en la circulación ferroviaria y análisis de defectos del carril. Trabajo de grado Ingeniero Industrial. Universidad Politécnica de Madrid, escuela técnica superior de ingenieros industriales. Madrid, 2017. Pág. 111-139.

MUÑOZ PRIETO, Wilman. Concesiones viales en Colombia, historia y desarrollo. Bogotá, 2002. Pág. 18–26.

NIETO, Carlos Eduardo. El ferrocarril en Colombia y la búsqueda de un país. Bogotá, 2011. APUNTES • vol. 24, núm. 1. Pág. 62-75

Nuevo Central Argentino S.A. Manual integral de Vías. 2014. Pág. 30–112.

RESENDIZ, Esther; HART, John M.; AHUJA, Narendra. Automated visual inspection of railroad tracks. IEEE transactions on intelligent transportation systems, 2013, vol. 14, no 2. Pág. 751-760.

REVIE; R Winston y UHLIG, Herbert, H. Corrosion and corrosion control an introduction to corrosion science and engineering, Hoboken New Jersey. John Wiley & Sons, Inc. 2008. Pág. 1-7.

REVISTA SEMANA. Ferrocarriles, ¿al borde de la muerte? Bogotá, 2018. Edición on line. Consultado el 15 de febrero de 2020, disponible en: <https://www.semana.com/contenidos-editoriales/infraestructura-la-transformacion-de-un-pais/articulo/el-estado-de-los-ferrocarriles-de-colombia/563110>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, MINISTERIO DE TRASNPORTE. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras vol. 1. Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. Bogotá, 2006. Pág. 31-43.

VALENCIA GIRALDO, Asdrúbal y RENDÓN MARTÍNEZ, José Luis. El problema del desgaste ondulatorio en las vías férreas: la metalurgia de un caso real. Universidad Nacional de Colombia, 2004. Dyna, vol. 71, núm. 144, pág. 29-38.