



Análisis conceptual de una conexión férrea en la Sabana Norte de Bogotá que comunique a La Calera y Sopó con el tren de La Sabana en Zipaquirá como alternativa a la movilidad del sector.

Presentado por:
Paola Andrea Fuentes Mora
Valentina Pulecio Barragán

Trabajo para optar al título de:
Ingeniero Civil

Director:
Ingeniero Fernando Rey Valderrama.

Co-director:
Sergio Miguel González

Universidad Santo Tomás
División de Ingenierías
Facultad De Ingeniería Civil
Bogotá Colombia
2023

Dedicatoria

*A mis padres, Martha, Benedicto y William
Por su amor incondicional, sacrificio y constante apoyo a lo largo de mi vida y especialmente durante esta etapa académica. Sin su aliento y guía, esto no habría sido posible. Este logro es tanto suyo como mío, gracias por ser mi mayor inspiración. ¡Mami te amo!*

*A mis hermanos, Fernando y Camilo:
Por ser mi fuente constante de alegría, inspiración y compañía. Su apoyo inquebrantable ha sido un faro en mi viaje.*

*A mi amado, Camilo:
Por ser mi compañero de vida, fuente de fuerza, y por brindarme amor, paciencia y aliento en cada paso de este camino. Tu apoyo ha sido mi fortaleza, y este logro es nuestro. Por muchos más...*

*A mis perros, Jacobo, Arya, Kira y Lupe:
Por su lealtad incondicional y la alegría que han traído a mi vida. Aunque no comprendan completamente este logro, su compañía ha sido invaluable.*

*A mis amigos y colegas:
Por estar siempre presentes, por compartir risas y lágrimas, y por comprender las ausencias durante las largas noches de estudio. Su amistad es un tesoro invaluable.
Por compartir desafíos, éxitos y aprendizajes. Juntos hemos superado obstáculos y celebrado logros, formando parte de un viaje que recordaré siempre.*

*A mi abuelo, Alonso:
Que aunque ya no está físicamente presente, su legado de sabiduría y amor sigue guiándome. Este logro está dedicado a su memoria y a la inspiración que me brindó. ¡Lo logramos abuelito!*

A mis demás familiares, que creyeron en mí y me apoyaron, gracias por tanto.

Este trabajo de grado es el resultado de la contribución de cada uno de ustedes. Gracias por formar parte de mi historia y por hacer que este viaje sea significativo.

*Con amor y gratitud,
Paola Fuentes*

Dedicatoria

A mis padres, Yenli y Ángel, cuyo amor incondicional ha sido mi roca sólida y faro luminoso a lo largo de esta travesía académica. Gracias por los sacrificios silenciosos, las palabras alentadoras y las lecciones de vida que han enriquecido cada paso que he dado. A ustedes, les debo mi determinación y mi perseverancia, y este logro es, en gran medida, un testimonio de la base sólida que han construido en mí.

A mi hermano, Juan Esteban, quien ha sido mi compañero en batallas emocionales y de risas, siempre sus palabras de aliento y bromas fueron necesarias para tejer la red de apoyo fundamental y la motivación para culminar esta etapa de mi vida.

A mi querida familia, cuyas risas, abrazos y constantes muestras de apoyo han sido mi red de seguridad emocional. A mis tíos, primos y demás seres queridos, agradezco las interminables horas de conversación que aligeraron las cargas académicas y las celebraciones que hicieron más dulces los logros. Este viaje no solo es mío, sino también de ustedes, que compartieron cada altibajo conmigo.

A mis amigos, compañeros de estudios y colegas, quienes compartieron risas, desafíos y momentos inolvidables durante esta travesía académica. A través de este trabajo, celebró también nuestras amistades, que son tesoros que atesoro profundamente.

A todos aquellos cuyas enseñanzas, consejos y contribuciones han dejado una marca indeleble en este trabajo. Este logro no hubiera sido posible sin su valiosa contribución.

Por último, dedico esta tesis a mi Tito, aunque ya no esté físicamente entre nosotros, sigue viviendo en nuestros corazones. Su influencia y legado continúan guiándonos, y este trabajo lleva consigo el eco de su sabiduría y amor eterno. En su memoria, avanzamos con gratitud y determinación hacia nuevos horizontes de descubrimiento y aprendizaje.

*Con amor y gratitud,
Valentina Pulecio*

Agradecimientos

A nuestras familias, por su apoyo incondicional a lo largo de este viaje académico. Su amor; paciencia y aliento han sido fuente constante de motivación.

A nuestro director de tesis, Fernando Rey, por su orientación experta, dedicación y valiosas sugerencias que han enriquecido enormemente este trabajo. Su mentoría ha sido fundamental para nuestro crecimiento académico y profesional.

A nuestro co-director, Sergio González, por su orientación, su paciencia y su confianza. Su guía ha sido invaluable para el desarrollo de este trabajo..

A la Universidad Santo Tomás, por brindarnos la oportunidad de estudiar y crecer como profesionales íntegros. A los docentes de la carrera, por su dedicación, su vocación y su compromiso con la enseñanza. Su labor ha sido fundamental para nuestra formación.

Resumen

El presente trabajo de grado se enfoca en el análisis exhaustivo y la mejora de la eficiencia operativa en el sistema ferroviario contemporáneo aplicado en un tramo en específico. Los ferrocarriles, a pesar de ser una columna vertebral histórica del transporte, enfrentan desafíos continuos en un entorno dinámico. Este estudio aborda cuestiones clave, como la optimización de la gestión de la red ferroviaria, la implementación de tecnologías emergentes, y la evaluación de prácticas sostenibles.

La investigación se centra en la propuesta de un diseño de un modelo predictivo para la planificación y programación de la red ferroviaria, utilizando técnicas de estudio de datos recolectados donde se examina el beneficio de una nueva propuesta de transporte en esta zona. El objetivo de reactivar el funcionamiento del tren de carga y tren de pasajeros en Colombia, liderado por las Asociaciones Público-Privadas (APP), destaca la importancia de integrar el sistema ferroviario al transporte público del país. Esta iniciativa busca no solo mejorar la eficiencia logística sino también impulsar el desarrollo económico y turístico. Los factores de viabilidad, como la seguridad, capacidad de carga, menor impacto ambiental y costos operativos, respaldan la necesidad de esta integración, especialmente al compararla con modalidades de transporte menos sostenibles, como el transporte con combustibles fósiles.

La referencia a sistemas ferroviarios bien estructurados en países europeos motiva la reconstrucción del sistema ferroviario colombiano bajo estándares internacionales. Se destaca la mejora significativa en la movilidad entre La Calera, Sopó, la Sabana Norte y Bogotá gracias a nuevas vías y opciones de transporte público y privado. A pesar de estos avances, persisten

desafíos como la congestión del tráfico, el estado de la malla vía actual y la seguridad vial, lo que resalta la necesidad de soluciones más eficientes.

El proyecto resalta la falta de un medio de transporte que garantice la conexión adecuada entre La Calera, Sopó, la Sabana Norte y Bogotá, un corredor vial con un alto tráfico. Las deficiencias actuales generan tiempos de desplazamiento prolongados y malestar entre los usuarios y residentes. La propuesta de introducir un medio de transporte masivo busca abordar estos problemas y mejorar la movilidad, ofreciendo una alternativa más fluida, económica y rápida para los usuarios de esta ruta.

Palabras claves: Eficiencia operativa, Sistema ferroviario, Modelo predictivo, Planificación ferroviaria, Desarrollo económico, Turismo, Seguridad ferroviaria, Capacidad de carga, Impacto ambiental, Movilidad, Desarrollo de vías, Congestión del tráfico, Seguridad vial, Transporte masivo, Soluciones eficientes.

Abstract

The present thesis focuses on the comprehensive analysis and improvement of operational efficiency in the contemporary railway system applied to a specific stretch. Railways, despite being a historical backbone of transportation, face continuous challenges in a dynamic environment. This study addresses key issues such as optimizing railway network management, implementing emerging technologies, and evaluating sustainable practices.

The research centers on proposing a design for a predictive model for the planning and scheduling of the railway network, using techniques for studying collected data to examine the benefits of a new transportation proposal in this area.

The goal of reactivating the operation of freight and passenger trains in Colombia, led by Public-Private Partnerships (PPPs), emphasizes the importance of integrating the railway system into the country's public transportation. This initiative aims not only to improve logistical efficiency but also to promote economic and tourist development. Viability factors, such as safety, load capacity, reduced environmental impact, and operational costs, support the need for this integration, especially when compared to less sustainable transportation modes, such as fossil fuel transport.

The reference to well-structured railway systems in European countries motivates the reconstruction of the Colombian railway system under international standards. Significant improvements in mobility between La Calera, Sopó, Sabana Norte, and Bogotá are highlighted

due to new roads and public/private transportation options. Despite these advances, challenges such as traffic congestion, the current state of the rail network, and road safety persist, emphasizing the need for more efficient solutions.

The project underscores the lack of a transportation mode ensuring proper connectivity between La Calera, Sopó, Sabana Norte, and Bogotá, a high-traffic corridor. Current deficiencies result in prolonged travel times and dissatisfaction among users and residents. The proposal to introduce a mass transportation mode aims to address these issues and enhance mobility, offering a more fluid, economical, and rapid alternative for users on this route.

Keywords: Operational efficiency, Railway system, Predictive model, Railway planning, Economic development, Tourism, Railway safety, Load capacity, Environmental impact, Mobility, Road development, Traffic congestion, Road safety, Mass transportation, Efficient solutions.

Tabla de contenido

Resumen	5
Abstract	7
Lista de figuras	12
Lista de ecuaciones	13
Términos claves	14
Introducción	17
Justificación	19
Objetivos	22
Objetivo General	22
Objetivos específicos	22
Generalidades	23
Línea de investigación	26
Planteamiento del problema	26
Pregunta problema	28
Formulación del problema	28
Antecedentes del problema	29
Variables del problema	30
Marco de referencia	32
Marco científico	34
Marco teórico	44
Marco conceptual	49
Marco geográfico	53
Marco demográfico	58
Estado del arte	59
Metodología	62
Información de vías en ferrocarriles	72
Geometría de una vía/red ferroviaria Nacional	76
Elementos de una curva	79
Tipos de curva	86
Alineación en alzado	89
Alineación recta	89
Alineación en alzado	90
Alineación en planta	90
Peralte	91

Fuerza centrífuga	92
Velocidad máxima admisible en función del peralte y radio	95
Curva de transición	96
Longitud de la curva de transición	97
Alineación en alzado	99
Curvas de acuerdo	100
Entrevías	101
Vía Recta	101
Vía en curva	101
Efecto debido al peralte	102
Sobreancho de la vía en curva	103
Radios mínimos	104
Categorización de la vía	105
Nivelación longitudinal	106
Nivelación transversal	106
Ancho de vía	108
Alineación	109
Parámetros geométricos de una vía férrea	109
Nivelación longitudinal	111
Nivelación transversal o peralte	111
Ancho de vía	112
Alabeo	113
Parámetros y defectos en componentes de vía	114
Desgaste del Riel:	114
Deformación del Riel:	114
Separación de Carriles:	114
Fisuras y Grietas:	115
Aflojamiento de Fijaciones:	115
Problemas en las Uniones de Rieles:	115
Problemas en la Subestructura:	115
Obstrucciones en la Vía:	116
Defecto del carril	116
Defectos de durmiente	117
Defectos de fijación	118
Categoría de los defectos y modo de actuación	119
Parámetros para tener en cuenta en un trazado preliminar al diseño geométrico	121

Consideraciones ambientales dentro de las vías férreas	123
Propuesta	126
Representación el trazado del esquema de propuesta del corredor	134
Perfil obtenido	137
Aspectos claves en la viabilidad del trazado propuesto	139
Conclusiones	143
Recomendaciones	145
References	147
Anexos	150

Lista de figuras

Figura 1. Perfil de un riel de ferrocarril con sus partes	50
Figura 2. Traviesas de los rieles	51
Figura 3. Traviesa de un riel desde el costado.	52
Figura 4. Juntas de dilatación.	53
Figura 5. Mapa del municipio de la Calera.	54
Figura 6. Ubicacion de Sopo.	56
Figura 7. Vías férreas actuales.	61
Figura 8. Estaciones en la propuesta del trazado.	63
Figura 9. Relieve de la zona donde se haría el trazado.	64
Figura 10. Impactos ambientales.	68
Figura 11. Anchos de vía.	73
Figura 12. Sección transversal de la vía férrea.	74
Figura 13. Tipos de curvas.	88
Figura 14. Fórmula de fuerza centrífuga.	93
Figura 15. Fórmula del peralte teórico.	94
Figura 16. Fórmula de velocidad máxima.	95
Figura 17. Sobreancho de una vía.	103
Figura 18. Fórmula de radios mínimos.	104
Figura 19. Puntos principales de un arco de circunferencia.	105
Figura 20. Trazado propuesto frente a los ferrocarriles existentes.	108
Figura 21. Tolerancias previstas para cada una de las operaciones de primera nivelación	111
Figura 22. Propuesta del trazado	126
Figura 23. Parada 1.	127
Figura 24. Parada 2	128
Figura 25. Parada 3	129
Figura 26. Parada 4	130
Figura 27. Parada 5.	131
Figura 28. Locomotora	132
Figura 30. Curvas de nivel desde ArcMap.	134
Figura 31. Curvas de nivel junto con trazado propuesto.	135
Figura 33. Perfil del trazado tomado de Autodesk Civil 3D.	137
Figura 34. Perfil obtenido por el trazado.	137

Lista de ecuaciones

Ecuación 1. Cálculo del radio de curva.	79
Ecuación 2. Ecuación radio de curva.	80
Ecuación 3. Ecuación de cálculo del ángulo central.	80
Ecuación 4. Ecuación de fuerza centrífuga.	93
Ecuación 5. Ecuación del peralte teórico.	94
Ecuación 6. Ecuación de la velocidad máxima.	95
Ecuación 7. Ecuación de la longitud de desarrollo.	99
Ecuación 8. Ecuación del radio de curvatura.	100
Ecuación 9. Ecuación de sobreancho.	102
Ecuación 10. Ecuación de inclinación en la longitud del tren.	102
Ecuación 11. Ecuación de radios mínimos.	104
Ecuación 12. Ecuación del índice de calidad	110
Ecuación 13. Ecuación del Parámetro Pi.	110

Términos claves

- Vía férrea: es el camino por el que circulan los trenes, compuesto por un conjunto de rieles y balasto, que permite soportar el peso del tren y distribuirlo en la superficie.
- Tren: conjunto de vehículos ferroviarios, que pueden ser locomotoras, vagones, coches de pasajeros, entre otros, que se unen entre sí para formar una unidad que se desplaza sobre la vía.
- Locomotora: vehículo que se encarga de arrastrar el tren, que está dotado de un motor y sistemas de tracción que le permiten moverse sobre la vía.
- Vagón: es un vehículo ferroviario que se utiliza para transportar carga, ya sea de tipo general, como mercancías, materiales, productos, entre otros.
- Coche de pasajeros: vehículo que se utiliza para transportar pasajeros, equipado con asientos, espacio para equipaje y otros servicios.
- Estación: lugar donde se realizan las operaciones de embarque y desembarque de pasajeros y carga, así como las operaciones de mantenimiento y reparación de los trenes.
- Señalización ferroviaria: conjunto de dispositivos que se utilizan para controlar la circulación de los trenes, como las señales de luz, las señales sonoras, las balizas, entre otros.
- Tren de alta velocidad: tipo de tren que se caracteriza por su alta velocidad de desplazamiento, que puede alcanzar los 300 km/h o más, y que requiere de infraestructuras especiales para su operación.
- Ferrocarril de carga: tipo de ferrocarril que se dedica al transporte de mercancías y materiales.

- Ferrocarril de pasajeros: tipo de ferrocarril que se dedica al transporte de personas, y que puede tener diferentes niveles de servicio, como los trenes regionales, los trenes de cercanías, los trenes de largo recorrido, entre otros.
- Balasto: agregado pétreo que se ubica bajo los rieles. Ayuda a dar peralte. Es grava o piedra triturada formando una capa sobre la explanación de la vía férrea para sujetar las traviesas que soportan rieles y carriles se requieren roca resistentes al desgaste sus objetivos son los siguientes:
 - Amortiguar las acciones que ejercen los vehículos sobre la vía
 - Repartir uniformemente las acciones sobre la plataforma
 - Evitar el desplazamiento de la vía limitando movimientos en dirección x, y o z.
 - Evacuación de aguas lluvias
 - Proteger los suelos contra heladas
 - Recuperación de la geometría de la vía mediante operaciones de alineación y nivelación

La calidad del balasto se mide mediante la siguiente ecuación:

$Q = 400/U$, donde Q es el coeficiente de calidad del balasto y U es el peso de detritus, este coeficiente de calidad debe ser 14 para duros y 12 para calcáreas.

- Sub balasto: Capa granular compactada, con alta capacidad portante de impermeabilidad, usado como soporte de la vía férrea. Gravas arenosas bien graduadas.
- Riel: vigas de acero o hierro fundido que forman la base de la vía férrea. Soportan el peso de los trenes y proporcionan una superficie lisa para que rueden las ruedas del tren.

- Traviesas: son los elementos transversales al eje de la vía que sirven para mantener unidos y a la vez a una distancia fija (ancho de vía o trocha) los dos carriles (rieles) que conforman la vía.
- Peralte: inclinación transversal de la vía en las curvas. Se utiliza para compensar la fuerza centrífuga y centrípeta que actúa sobre el tren al tomar una curva.
- Ancho de vía: también conocido como trocha o galga, es la distancia entre las caras internas de los dos rieles que conforman la vía férrea. Se mide en milímetros o pulgadas.

Introducción

Los ferrocarriles en Colombia se remontan al siglo XIX, cuando el país buscaba nuevas formas de transporte para impulsar su economía. El primer tramo de ferrocarril se construyó en 1850 entre las ciudades de Bogotá y Facatativá, y en las décadas siguientes se fueron desarrollando diferentes líneas ferroviarias a lo largo del territorio nacional.

El ferrocarril tuvo un gran impacto en la economía y en la vida social de Colombia, permitiendo el transporte de mercancías y pasajeros de manera más rápida y eficiente. Sin embargo, con el paso del tiempo, el ferrocarril fue perdiendo importancia frente a otros medios de transporte, y muchas líneas ferroviarias fueron abandonadas o desmanteladas.

En la actualidad, los ferrocarriles en Colombia tienen una presencia limitada en comparación con otros medios de transporte, como la carretera o el transporte aéreo. La red ferroviaria del país se ha ido reduciendo con el tiempo, debido a la falta de inversión y mantenimiento, lo que ha llevado al abandono de algunas líneas y a la pérdida de competitividad frente a otros medios de transporte.

No obstante, en los últimos años se han venido realizando esfuerzos para modernizar y revitalizar la red ferroviaria de Colombia, con el objetivo de mejorar la conectividad y la movilidad en el país. Se han puesto en marcha proyectos como el Ferrocarril Central del Norte, que busca mejorar la conexión ferroviaria entre Bogotá y la Costa Atlántica, y el Ferrocarril del

Pacífico, que busca mejorar la conexión entre los puertos del Pacífico y las zonas productivas del interior del país.

Además, se han realizado inversiones en la mejora de la infraestructura ferroviaria existente, como la modernización de los trenes y la renovación de las vías férreas. También se han establecido alianzas con empresas privadas para el desarrollo de proyectos ferroviarios, lo que ha permitido la introducción de nuevas tecnologías y el fortalecimiento de la industria ferroviaria en el país.

Para resumir lo anterior, se dice que aunque los ferrocarriles en Colombia enfrentan desafíos importantes, se están llevando a cabo esfuerzos para modernizar y expandir la red ferroviaria, lo que puede contribuir a mejorar la movilidad y la competitividad del país.

Justificación

Colombia tiene un objetivo claro en reactivar el funcionamiento del tren de carga y tren de pasajeros a lo largo del territorio nacional. Esta iniciativa está a cargo de las APP (Asociaciones Público-Privadas), las cuales actualmente se encuentran desarrollando la interventoría para la reparación o reactivación de dichas vías férreas.

El gran impulso reciente de integrar el sistema férreo al sistema de transporte del país es primordial para un óptimo desarrollo económico y turístico del país, gracias a que estos corredores generan una excelente conexión de centros estratégicos tanto de producción como exportación e importación.

Se pueden resaltar múltiples factores de viabilidad, como la seguridad, la alta capacidad de carga y de pasajeros, mayor seguridad, menores emisiones lo que se traduce en menor impacto ambiental, un costo operativo inferior en comparación y un perfecto control logístico. Si se hace una comparación al transporte que se mueve mediante carbón, el cual produce daños en el medio ambiente, las vías y así mismo genera volúmenes altos de tráfico.

Hoy por hoy se ven sistemas bien estructurados en países Europeos lo que ha generado una motivación en la reconstrucción del sistema ferroviario, teniendo en cuenta que se hará bajo los lineamientos de dichos países.

La movilidad entre La Calera y Bogotá ha mejorado significativamente en los últimos años gracias a la construcción de nuevas vías y la mejora de las existentes. Actualmente, hay varias opciones de transporte disponibles para desplazarse entre La Calera y Bogotá, como el transporte público, los servicios de taxis y los servicios de transporte privado. Una de las principales opciones de transporte público es el Sistema Integrado de Transporte Público (SITP),

que cuenta con varias rutas que conectan La Calera con diferentes puntos de la ciudad de Bogotá. Además, también hay varias empresas de buses intermunicipales que ofrecen servicios de transporte entre La Calera y Bogotá. En cuanto al transporte privado, los servicios de taxi son una opción popular para desplazarse entre La Calera y Bogotá. Además, también hay servicios de transporte privado como Uber y Cabify que operan en la zona.

Cabe destacar que aunque la movilidad entre La Calera y Bogotá ha mejorado significativamente en los últimos años, aún existen desafíos en términos de congestión del tráfico y seguridad vial en algunas vías. Por lo tanto, es importante tomar las precauciones necesarias al utilizar cualquier medio de transporte y seguir las normas de tránsito para garantizar un desplazamiento seguro y sin contratiempos.

Actualmente se puede observar que no hay un medio de transporte que garantice la correcta conexión y desplazamiento entre Bogotá y el municipio de La Calera, “Este es un corredor de alto tráfico, no solo por los turistas, cuya presencia se intensifica el fin de semana, sino por las personas que viven en ese municipio y trabajan en Bogotá o viceversa. Y también por quienes visitan la zona de restaurantes en la vía. Alrededor de 3.000 vehículos circulan por este corredor vial de lunes a viernes. Mientras que el fin de semana, sábado y domingo, la cifra puede llegar a 9.000, según cifras de la Secretaría de Movilidad” así evidencia el problema en la vía, el periodico el Tiempo (TIEMPO, 2016). En el presente contemplamos deficiencias en la movilidad lo cual provoca grandes tiempos de desplazamiento y una incomodidad en los usuarios de este trayecto y los pobladores de este municipio, ya que las peticiones actuales frente

a las 3 entradas al municipio se están acumulando sin generar una solución estable y clara desde los gobiernos involucrados. No se ha podido garantizar una movilidad fluida y confortable en este espacio vial. “Es un verdadero dolor de cabeza se ha convertido el paso por la vía que de Bogotá conduce a La Calera debido a la gran cantidad de accidentes y al bloqueo que se presenta por el pesado tráfico vehicular, lo que hace imposible la movilidad” expresa la alcaldesa del Municipio de La Calera, Ana Lucia Escobar (RCN, 2018). Por esto se pretende mejorar el tránsito de la zona con el medio de transporte masivo que no existe allí en el momento. Por estas razones se desea presentar una solución a la movilidad del sector ofreciendo un servicio que mejore el tránsito de las personas brindando fluidez, economía y tiempos más cortos en el trayecto.

Objetivos

Objetivo General

Estudiar la viabilidad de la integración de La Calera a la Sabana Norte de Bogotá y Bogotá por medio de una vía férrea que mejore las condiciones de movilidad del sector.

Objetivos específicos

- Realizar la recolección de información primaria a través de diferentes bases de datos que permitan el prediseño de la línea férrea.
- Definir un posible trazado y una posible ubicación de estaciones de la ruta propuesta, teniendo en cuenta los estudios preliminares del Regiotram del Norte para que exista conectividad.
- Evaluar y argumentar bajo los estudios realizados si la solución planteada al problema inicial es viable o no.

Generalidades

Los ferrocarriles se consideran uno de los medios de transporte más antiguos y eficientes, ya que permiten mover grandes volúmenes de carga a largas distancias de manera rápida y segura. Además, los ferrocarriles tienen una menor huella de carbono y son más amigables con el medio ambiente en comparación con otros medios de transporte como los aviones o los automóviles.

Entre las características más destacadas de los ferrocarriles se encuentran su capacidad para operar en todo tipo de terrenos, su alta capacidad de carga, su velocidad y su eficiencia energética. Los ferrocarriles también tienen una gran importancia en la integración y desarrollo económico de los territorios por los que circulan, ya que permiten la conexión de distintas regiones y la facilitación del comercio y los intercambios.

En la actualidad, los ferrocarriles continúan siendo un medio de transporte vital en muchos países del mundo, aunque su importancia y uso varía de acuerdo a las necesidades y las condiciones de cada región o país.

El "Tren de la Sabana" en Bogotá, también conocido como el "Tren Turístico de la Sabana" o el "Tren de la Cultura," es un servicio de tren que opera en la región de la Sabana de Bogotá, en Colombia. Aunque no es un sistema de transporte público masivo, ha tenido un papel importante en la promoción turística y cultural de la zona. Aquí se presenta una breve historia enfocada en la operación de trenes:

Orígenes:

El servicio del Tren de la Sabana tiene sus raíces en el pasado ferroviario de Colombia. A finales del siglo XIX y principios del XX, el ferrocarril desempeñó un papel crucial en el transporte de mercancías y pasajeros en el país. En 1889, se inauguró la primera línea de ferrocarril en Colombia, que conectaba a Bogotá con Facatativá, una ciudad en la Sabana de Bogotá. A medida que las carreteras y el transporte automotor se desarrollaron, el ferrocarril perdió relevancia como principal medio de transporte.

Renacimiento como Tren Turístico:

En la década de 1990, se planteó la idea de revitalizar el antiguo ferrocarril de la Sabana para atraer el turismo y preservar el patrimonio cultural. En 1992, se inició el proyecto para la rehabilitación de la línea férrea y la restauración de vagones y locomotoras. Finalmente, en 1995, se inauguró el servicio del Tren de la Sabana como una opción turística que permitía a los visitantes recorrer la región de la Sabana de Bogotá de manera cómoda y panorámica.

Operación del Tren:

El Tren de la Sabana ofrece recorridos turísticos en vagones restaurados que combinan comodidad y estilo clásico. Los trenes recorren un trayecto desde la estación de tren de La Sabana en Bogotá hasta la estación de Zipaquirá, con paradas en puntos de interés a lo largo del camino. Uno de los destinos más populares es la Catedral de Sal en Zipaquirá, una famosa iglesia subterránea construida en una antigua mina de sal.

El Tren de la Sabana es conocido por brindar una experiencia pintoresca y cultural a los visitantes. Durante el viaje, se pueden disfrutar de vistas panorámicas de la región, escuchar música típica, conocer la historia de la zona a través de narraciones y apreciar la belleza de los paisajes. Además, el tren a menudo ofrece actividades temáticas y eventos especiales para celebrar festividades o destacar aspectos culturales relevantes.

Impacto y Desafíos:

El Tren de la Sabana ha sido un esfuerzo exitoso para combinar el turismo con la preservación de la herencia ferroviaria y cultural de la región. Ha contribuido a la economía local y ha atraído a turistas interesados en explorar la historia y la belleza natural de la Sabana de Bogotá.

Sin embargo, como en muchos proyectos turísticos y de infraestructura, el Tren de la Sabana también ha enfrentado desafíos. Mantener la operación de los trenes, la infraestructura y la seguridad requiere inversiones continuas. Además, los cambios en las preferencias de viaje y el aumento de la movilidad han planteado preguntas sobre la sostenibilidad a largo plazo de este tipo de servicios turísticos.

El Tren de la Sabana en Bogotá es un ejemplo de cómo el patrimonio ferroviario puede ser revitalizado para fines turísticos y culturales, permitiendo a los visitantes disfrutar de la historia y la belleza de la región de la Sabana de Bogotá de una manera única y memorable.

Línea de investigación

Transporte, tránsito y movilidad:

La línea de investigación enfocada en la planificación y diseño de Infraestructura Ferroviaria investiga los métodos y consideraciones involucrados en la planificación, diseño y construcción de vías férreas. Puedes abordar aspectos como la optimización de rutas, la adaptación de la infraestructura para el transporte de carga y pasajeros, y la incorporación de infraestructuras verdes.

Planteamiento del problema

La industria ferroviaria desempeña un papel crucial en el transporte de pasajeros y mercancías a nivel mundial. Sin embargo, en un contexto de preocupación creciente por el cambio climático y la sostenibilidad, es esencial abordar los desafíos asociados con la eficiencia energética y la reducción de emisiones en los sistemas ferroviarios.

A pesar de los avances en tecnología y diseño, los sistemas ferroviarios todavía enfrentan dificultades para optimizar su eficiencia energética y minimizar su impacto ambiental. Las locomotoras y trenes utilizados en las operaciones a menudo dependen de combustibles fósiles y presentan ineficiencias en la conversión de energía, lo que resulta en emisiones significativas de gases de efecto invernadero y un consumo de combustible más alto de lo deseable.

La necesidad de reducir las emisiones y el consumo de combustible en el transporte ferroviario es urgente para cumplir con los objetivos de mitigación del cambio climático y promover un desarrollo sostenible. La investigación en este campo no solo contribuirá al avance tecnológico y la optimización de operaciones ferroviarias, sino que también tendrá un impacto positivo en la calidad del aire, la salud pública y la conservación de recursos naturales.

A pesar de los esfuerzos anteriores para mejorar la eficiencia energética en sistemas ferroviarios, existen lagunas en el conocimiento sobre enfoques innovadores y soluciones tecnológicas efectivas que puedan ser aplicadas a nivel práctico. Además, es necesario comprender mejor cómo las diferentes variables, como la velocidad, la carga y el diseño de la infraestructura, afectan la eficiencia energética en diversas condiciones operativas.

Las preguntas centrales de esta investigación son:

- ¿Cómo mejoramos el transporte intermunicipal entre la Calera y Bogotá mediante una propuesta de un trazado de vía ferroviaria?
- ¿Cuál será la propuesta correcta para hacer la mejora en el transporte?
- ¿Qué propuesta de trazado sería la más óptima para poder cumplir con los objetivos de este proyecto?

Se espera que esta investigación contribuya al desarrollo de soluciones prácticas y tecnológicas para mejorar la eficiencia energética en sistemas ferroviarios. Los resultados

podrían ser utilizados por las compañías ferroviarias, los diseñadores de infraestructura y los responsables de políticas para tomar decisiones informadas que reduzcan las emisiones y fomenten la sostenibilidad en el sector del transporte ferroviario.

Pregunta problema

¿Es viable realizar una conexión férrea entre La Calera y el tren de La Sabana que mejore la movilidad y la comunicación entre La Calera, Sopó y Bogotá?

Formulación del problema

Evaluar la viabilidad de una posible conexión ferroviaria entre el municipio de La Calera y el tren de La Sabana en inmediaciones de la estación de Zipaquirá, como una solución a la movilidad de la Sabana Nororiental de Bogotá, mejorando costos y tiempos en el trayecto. Se espera que de ser posible, esta vía sea una alternativa crucial para que el tránsito en el sector sea más fluido, con mayor velocidad y, en la medida de lo posible, más económico dinamizando así las microeconomías de las regiones y brindando una mejor calidad de vida a los usuarios y pobladores.

Antecedentes del problema

Los antecedentes de los ferrocarriles en Colombia se remontan al siglo XIX, cuando el país comenzó a desarrollar su infraestructura de transporte para impulsar su economía y facilitar la movilidad de personas y mercancías.

El primer ferrocarril en Colombia fue construido en 1851, en la ciudad de Popayán, para transportar carga desde los Andes hasta el puerto de Buenaventura en la costa del Pacífico. Posteriormente, se construyó un ferrocarril en la costa Caribe, entre Puerto Colombia y Sabanilla, para el transporte de carbón.

En 1869, se inauguró el primer ferrocarril de pasajeros en Colombia, entre Bogotá y Facatativá, con el objetivo de mejorar la conexión entre la capital y las regiones circundantes. A partir de entonces, se construyeron diversas líneas ferroviarias en todo el país, con el objetivo de impulsar el comercio y la industria.

Durante la primera mitad del siglo XX, el ferrocarril fue uno de los principales medios de transporte en Colombia, y se construyeron líneas ferroviarias en las regiones andina, Caribe y Pacífico. En la década de 1950, sin embargo, el país comenzó a invertir en infraestructura vial, lo que llevó a una disminución del uso del ferrocarril y al abandono de algunas líneas.

En la década de 1990, se intentó revitalizar la red ferroviaria, pero los esfuerzos no fueron suficientes para competir con el transporte por carretera, y muchas líneas ferroviarias

quedaron en desuso. En la actualidad, el ferrocarril sigue siendo un medio de transporte importante en algunas zonas del país, pero se encuentra en un proceso de modernización y reactivación para mejorar su competitividad frente a otros medios de transporte.

Variables del problema

Ubicación y Ruta: Seleccionar la ubicación y ruta óptimas para la nueva línea, teniendo en cuenta factores geográficos, topográficos, geológicos y ambientales.

Analizar las implicaciones de la ruta en términos de accesibilidad, conectividad y potencial impacto en las comunidades locales.

Diseño de Infraestructura: Definir los parámetros de diseño, como el ancho de vía, la pendiente de las vías, el radio de las curvas y la altura de los puentes.

Evaluar cómo el diseño de la infraestructura puede afectar la velocidad operativa, la capacidad y la seguridad de la línea.

Estimación de Costos: Calcular los costos estimados de construcción de la nueva línea, considerando la inversión en vías, estaciones, sistemas de señalización, electrificación, entre otros.

Analizar los costos operativos y de mantenimiento a lo largo del ciclo de vida de la línea.

Demanda de Pasajeros y Carga: Estimar la demanda esperada de pasajeros y carga en la nueva línea, considerando las tendencias de movilidad y las necesidades comerciales.

Evaluar cómo esta demanda influirá en la frecuencia de los servicios y en la capacidad requerida.

Tecnología y Material Rodante: Seleccionar el tipo de trenes y material rodante más adecuado para la línea, considerando factores como la velocidad, la capacidad, la comodidad y la eficiencia energética.

Evaluar las tecnologías disponibles para mejorar la seguridad y la experiencia del usuario en los trenes.

Impacto Ambiental y Social: Evaluar el impacto ambiental de la nueva línea en términos de emisiones, consumo de energía y cambios en el uso del suelo.

Analizar cómo la línea puede afectar a las comunidades locales, incluidos los aspectos de accesibilidad y el desarrollo económico.

Operaciones y Horarios: Diseñar el plan operativo y los horarios de los servicios de tren, considerando las necesidades de los pasajeros y la eficiencia en el uso de la infraestructura. Evaluar cómo los horarios pueden influir en la afluencia de pasajeros y en la rentabilidad de la línea.

Regulaciones y Normativas: Investigar y entender las regulaciones y normativas gubernamentales relacionadas con la construcción y operación de ferrocarriles en la región.

Viabilidad Financiera: Evaluar la viabilidad financiera de la nueva línea, considerando los costos de inversión y operación, así como los posibles ingresos por tarifas y otros ingresos. La viabilidad financiera debe concluir en que la relación COSTO/BENEFICIO sea mayor que 1, lo cual indica que el proyecto es viable.

Tendencias Futuras: Anticipar las tendencias futuras en la industria ferroviaria y cómo podrían afectar la viabilidad y el éxito de la nueva línea.

Marco de referencia

El marco de referencia de los ferrocarriles incluye aspectos históricos, técnicos, económicos y sociales, que influyen en su desarrollo y uso en distintos contextos.

En cuanto al aspecto histórico, los ferrocarriles han sido un medio de transporte clave en el desarrollo económico y social de muchos países en todo el mundo. En Colombia, los ferrocarriles tuvieron un papel importante en la expansión del comercio y la industria durante los siglos XIX y XX, y aunque su uso ha disminuido en las últimas décadas, se han venido realizando esfuerzos para modernizar y expandir la red ferroviaria del país.

Desde el punto de vista técnico, los ferrocarriles son un medio de transporte que utiliza locomotoras y vagones para transportar pasajeros y mercancías a través de vías férreas. La tecnología ferroviaria ha evolucionado a lo largo del tiempo, desde los primeros ferrocarriles de vapor hasta los modernos trenes de alta velocidad y los sistemas de transporte intermodal.

En cuanto al aspecto económico, los ferrocarriles pueden tener un impacto importante en el comercio y la industria, ya que permiten el transporte eficiente de grandes cantidades de mercancías a larga distancia. Además, los ferrocarriles pueden ser más económicos que otros medios de transporte en algunos casos, especialmente para el transporte de carga.

Por último, desde el punto de vista social, los ferrocarriles pueden tener un impacto en la movilidad y la accesibilidad de las personas, especialmente en zonas rurales o remotas que no cuentan con otros medios de transporte eficientes. Además, los ferrocarriles pueden ser un medio de transporte más sostenible que otros, ya que pueden ser alimentados con energía eléctrica y emitir menos gases de efecto invernadero que los vehículos de combustión interna.

En resumen, el marco de referencia de los ferrocarriles incluye aspectos históricos, técnicos, económicos y sociales que influyen en su desarrollo y uso en distintos contextos, y que son importantes para comprender su relevancia en el transporte y la economía de los países.

Marco científico

El marco científico de los ferrocarriles en Colombia incluye diversos estudios e investigaciones que se han realizado para analizar su impacto en distintas áreas, como la economía, el medio ambiente, la ingeniería y la tecnología.

En el ámbito económico, se han realizado estudios sobre el impacto del ferrocarril en el comercio y la industria de Colombia, así como su potencial para reducir costos de transporte y mejorar la competitividad del país. Por ejemplo, un estudio realizado por la Cámara de Comercio de Bogotá encontró que la inversión en infraestructura ferroviaria podría tener un impacto significativo en el crecimiento económico y la creación de empleo en el país.

En el ámbito ambiental, se han analizado los efectos de los ferrocarriles en la calidad del aire y las emisiones de gases de efecto invernadero. Un estudio realizado por la Universidad Nacional de Colombia encontró que el uso del ferrocarril para el transporte de carga podría reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con el transporte por carretera.

En el ámbito de la ingeniería y la tecnología, se han realizado investigaciones sobre la mejora de la eficiencia y la seguridad del transporte ferroviario en Colombia, así como la implementación de componentes técnicos más avanzados, como sistemas de señalización y control de trenes. También se han desarrollado proyectos de investigación para la mejora de la infraestructura ferroviaria y la implementación de nuevos sistemas de transporte intermodal.

En definitiva, el marco científico de los ferrocarriles en Colombia incluye diversos estudios e investigaciones que se han realizado para analizar su impacto en distintas áreas, y que son importantes para entender las posibilidades y limitaciones de este medio de transporte en el país.

1. Estudios del trazado proyectado

Tenemos estudios que se deben ejecutar para el trazado propuesto

2. Operaciones para un estudio

- Antecedentes e información y reconocimiento de la zona.
- Agrupar información y planos cartográficos, informes estadísticos, planos topográficos de la zona, uniendo la geología, la población, las actividades, entre otras.

3. Perfil transversal

Se puede entender como la representación gráfica de una sección transversal del terreno a lo largo de la línea férrea. Este perfil muestra la elevación del terreno en relación a la vía férrea, es decir, suele mostrar la forma del terreno, las curvas, las pendientes, los cortes, los terraplenes etc. Esta información nos permite determinar las pendientes máximas y mínimas permitidas, la cantidad de excavaciones o rellenos necesarios, el manejo de aguas.

4. Perfil longitudinal

Es una representación gráfica que muestra la elevación y las variaciones de altura a lo largo de una sección de la vía férrea en un plano vertical. Este perfil es esencial para el diseño, construcción, mantenimiento y operación de las vías ferroviarias, ya que proporciona información detallada sobre cómo cambia la altitud a lo largo del recorrido de la vía. Las principales características de un perfil longitudinal en un ferrocarril incluyen:

Raíles y traviesas: El perfil muestra la posición relativa de los raíles y las traviesas en relación con el terreno. Esto es importante para asegurar que los raíles están colocados de manera uniforme y que las traviesas estén niveladas correctamente.

Pendientes: Indica las pendientes o inclinaciones de la vía en diferentes secciones. Las pendientes se expresan generalmente en porcentaje, lo que significa la variación de la elevación en un tramo específico en relación con la distancia horizontal.

Curvas: Muestra la curvatura de la vía, lo que es vital para garantizar la seguridad y la comodidad de los pasajeros y la carga transportada. Esto incluye el radio de las curvas y la transición entre tramos rectos y curvos.

Cambios en la elevación: Muestra cualquier cambio significativo en la elevación, como crestas, valles, puentes o túneles. Estos cambios deben ser tenidos en cuenta para garantizar la estabilidad de la vía y la seguridad del ferrocarril.

Puntos de referencia: A menudo, se marcan puntos de referencia importantes en el perfil longitudinal para ayudar en la inspección y el mantenimiento de la vía.

Nivelación: La nivelación adecuada de la vía es fundamental para garantizar una conducción suave y segura. El perfil longitudinal ayuda a los ingenieros ferroviarios a identificar áreas que requieren ajustes en la elevación.

5. Capacidad portante de la vía

La capacidad portante de un suelo es una característica importante a considerar al diseñar y construir una vía férrea. Se refiere a la capacidad del suelo o terreno subyacente para soportar las cargas impuestas por las vías, los trenes y otras estructuras asociadas al ferrocarril, como puentes y estaciones. Esta capacidad portante se expresa generalmente en términos de presión admisible o carga admisible que el suelo puede soportar sin sufrir deformaciones excesivas o fallas. La determinación de la capacidad portante del suelo es esencial para garantizar la seguridad y la estabilidad de la vía férrea. Si el suelo no puede soportar adecuadamente las cargas, pueden ocurrir problemas como hundimientos, asentamientos, deslizamientos de tierra o incluso el colapso de la infraestructura ferroviaria. Para evaluar la capacidad portante de un suelo para la construcción de una vía férrea, se realizan pruebas geotécnicas y estudios de ingeniería del suelo. Estos estudios pueden incluir:

Pruebas de penetración estándar (SPT): Estas pruebas implican la inserción de una barra de perforación en el suelo y la medición de la resistencia que ofrece el suelo a medida que se penetra. Los resultados se utilizan para calcular la capacidad portante del suelo.

Ensayos de carga: Se aplican cargas conocidas al suelo y se mide la deformación resultante para determinar la capacidad portante del suelo en condiciones reales.

Análisis de muestras de suelo: Se toman muestras del suelo en diferentes profundidades y se analizan en laboratorio para determinar sus propiedades físicas y mecánicas, como la cohesión y la fricción interna.

Estudios geológicos y topográficos: Se realizan estudios geológicos y topográficos para comprender la composición del suelo y su distribución en la zona de construcción del ferrocarril.

Una vez que se ha evaluado la capacidad portante del suelo, los ingenieros ferroviarios pueden diseñar adecuadamente la cimentación de las vías, los puentes y otras estructuras para asegurarse de que el suelo pueda soportar las cargas previstas de manera segura y sin deformaciones excesivas. También se pueden tomar medidas como la mejora del suelo mediante técnicas de estabilización si se determina que la capacidad portante es insuficiente en ciertas áreas. Esto es esencial para la seguridad y la eficiencia de la operación ferroviaria a lo largo del tiempo.

6. Parámetros para proponer un trazado

- Clasificación de trazados según los gradientes
- Curvas horizontales

- Peralte: Cuando se habla del peralte se refiere principalmente a los tipos de fuerzas que pueden soportar los vehículos al circular en las vías, que son dos:
 1. La fuerza vertical resultante de su propio peso al transitar por la vía.
 2. Una fuerza centrífuga, la cual debe ser perpendicular al eje de la vía, la cual es proporcional al cuadrado de la velocidad “V” y a la curvatura de la vía, que a su vez es inversa del radio “R”

Entonces así las resultantes de estas dos fuerzas, en caso de que no sean perpendiculares al plano de una vía, tiene en dicho plano la componente transversal. Aquí se puede definir esta inclinación por la diferencia de nivel entre la fila exterior de los rieles, también llamado radio mayor, con la fila interior llamada radio menor. Para poder conseguir la diferencia de cotas entre carriles se debe hacer una elevación gradual del carril externo sobre el interno.

- Velocidad

En el contexto de ferrocarriles se habla de velocidad máxima en curva o velocidad máxima admisible en función del peralte o del radio. Entonces en el momento en que un vehículo está circulando por un tramo curvo de la vía, se ejerce la aceleración centrífuga sobre la propia vía y sobre los objetos o personas que estén situadas en el interior del vehículo.

7. Resistencia a la tracción

Se refiere a la capacidad de los materiales utilizados en la construcción de las vías férreas para soportar la tensión generada por la tracción de los trenes. La tracción es la fuerza que se aplica a los vagones o locomotoras para mover el tren a lo largo de la vía.

La resistencia a la tracción es una propiedad importante de los materiales utilizados en la construcción de las vías férreas, como los rieles, los durmientes y los elementos de fijación, ya que estos materiales deben ser capaces de soportar las cargas dinámicas generadas por el movimiento del tren sin deformarse o romperse.

Los rieles son uno de los componentes más importantes de la vía férrea y deben ser capaces de soportar las cargas generadas por el paso de los trenes sin deformarse o agrietarse. Por lo tanto, los rieles deben tener una alta resistencia a la tracción para soportar la tracción de las locomotoras y el peso de los vagones.

Además, los durmientes y los elementos de fijación también deben tener una alta resistencia a la tracción para asegurar que los rieles estén fijos en su lugar y no se muevan o se deformen debido a la tracción de los trenes.

- Resistencia local
- Resistencia de Inercia

8. Resistencia al avance

Se refiere a la fuerza que se opone al movimiento del tren sobre la vía férrea. Esta resistencia se produce debido a una serie de factores, como la fricción entre las ruedas del

tren y los rieles de la vía, la resistencia del aire, la pendiente de la vía y la curvatura de las vías.

La fricción entre las ruedas del tren y los rieles de la vía es la principal causa de resistencia al avance en ferrocarriles. Esta fricción puede ser reducida mediante el uso de lubricantes y materiales de menor resistencia, así como el mantenimiento adecuado de las ruedas y los rieles. Además, la resistencia del aire puede ser reducida mediante la aerodinámica del diseño del tren y la velocidad de operación.

La pendiente de la vía también puede contribuir a la resistencia al avance, especialmente en terrenos montañosos. En este caso, se pueden utilizar locomotoras más potentes y/o dividir los trenes en secciones más pequeñas para mejorar la eficiencia del transporte.

La curvatura de las vías también puede generar resistencia al avance, ya que los trenes tienen que desplazarse en una trayectoria curva en lugar de seguir una línea recta. Para reducir esta resistencia, las curvas de las vías se diseñan con un radio adecuado y se utilizan sistemas de suspensión que permiten que las ruedas del tren se ajusten a la curvatura de las vías.

- Fricción entre rueda y riel
- En recta y en curva

9. Curvas de transición

Son secciones de la vía férrea que se utilizan para facilitar la transición de una sección recta a una sección curva. Estas curvas se diseñan con un radio variable que cambia gradualmente, lo que permite que los trenes realicen la transición de manera suave y sin problemas, reduciendo la posibilidad de descarrilamiento.

La necesidad de curvas de transición se debe a que los trenes no pueden realizar una curva brusca sin causar tensiones excesivas en la estructura del tren y la vía férrea. Si se conectara directamente una sección recta de vía a una sección curva, se produciría una transición abrupta que podría causar tensiones excesivas en la estructura del tren y la vía férrea, lo que podría provocar descarrilamientos o daños a la vía.

Las curvas de transición se diseñan con un radio variable que cambia gradualmente, lo que permite que los trenes realicen la transición de manera suave y sin problemas. El radio de curvatura se aumenta gradualmente desde el radio de la curva que sigue la sección recta de la vía hasta el radio de la curva de la sección curva de la vía.

Existen diferentes tipos de curvas de transición, como la curva de Clothoide o la curva de Euler, que se utilizan según las necesidades y las condiciones de la vía férrea.

10. Sobreancho

El sobreancho en las curvas, el tren empuja el carril interior aumentando el ancho de la vía. Para evitar este efecto se da un sobreancho a la vía. Se da sobreancho en las curvas de radio menor a 300m (5 mm de sobreancho), que será mayor (20mm) para las de radio menor a 150 m.

Marco teórico

1. Estado actual del sistema férreo en Colombia

Se puede identificar actualmente una red férrea que cuenta con 3.463 km, de los cuales podemos distinguir 150 km de vía privada que le pertenecen al Cerrejón, y otros 1.322 km que no están en uso actual, de los 3.463 km mencionados anteriormente, 1.991 km correspondían a tramos férreos que fueron destinados a empresas privadas mediante modelos de contratos de concesión entre los años 1998 y 1999, donde 1.672 km están bajo administración de la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), y 319 km del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) hoy.

A Continuación se presentan las cuatro líneas férreas activas, las cuales dependiendo de su funcionamiento, servicio y mantenimiento están destinadas por diferentes concesiones;

- Concesión férrea del Atlántico
- Sistema ferroviario central
- Concesión red férrea del pacifico
- Tren del Carare

2. Criterio de viabilidad económica en el sistema férreo

Podemos resaltar unos criterios que dependen del sistema gubernamental para el sistema férreo, mediante inversiones en rehabilitación y mantenimiento en la infraestructura vial

ferroviaria, así generando eficiencia con el fin de garantizar que dicha inversión produzca rentabilidad, dichos criterios son:

- Altos volúmenes de carga los cuales puedan garantizar una rentabilidad en el sistema.
- Un plan riguroso de rehabilitación donde cada año se pueda evaluar ejecuciones de los tramos faltantes respetando la viabilidad financiera.
- Mediante la inversión gubernamental se hacen construcciones de nuevos tramos o rehabilitaciones de los ya existentes sin dejar a un lado la rentabilidad.
- Encaminar

Podemos identificar diferentes parámetros para la correcta operación de un tren, tales como:

- Ancho de vía
- Tangente del ángulo del cruce
- Lago y tipos de agujas
- Tipo de riel o carril
- Radio mínimo de curva del riel de enlace
- Largo de ocupación
- Tipo de cruzamiento

Hay cuatro piezas que tienen importancia en el cambiavías, las exteriores llamadas contraagujas, las cuales son fijas y las interiores que mediante los tirantes se mueven las agujas.

Transporte de carga por carretera

El transporte de carga es el trasiego de mercancías de un lugar a otro. Esta actividad ha sido parte fundamental de la sociedad humana desde su existencia. En la antigüedad, el transporte de carga se realizaba a pie, a caballo o en vehículos de tracción animal.

Conforme avanzó el desarrollo de la humanidad, se crearon nuevos métodos de transporte de carga, como el ferrocarril, el barco y el camión. Estos medios de transporte hicieron posible el transporte de mercancías a largas distancias de manera más eficiente y económica.

Historia del transporte de carga en el mundo

Desde tiempos antiguos, el transporte de carga ha sido esencial para el comercio y la expansión y desarrollo de las civilizaciones. Se usaron animales de carga, como camellos y caballos y también embarcaciones para transportar mercancías a largas distancias con mayor peso y volumen.

Las antiguas rutas comerciales, como la Ruta de la Seda que conectaba a Asia, Europa y África, facilitando el intercambio de bienes y culturas usaban como medio de transporte intercontinental los barcos, además de los animales (caballos, camellos, etc.) que llevaban la mercancía a los diferentes puertos.

Para la época moderna y con la Revolución Industrial, en los siglos XVIII y XIX, se produjo un cambio significativo en los medios de transporte de carga. Es así como surge el desarrollo de ferrocarriles y barcos a vapor permitió el movimiento más rápido y eficiente de mercancías. De esta manera el siglo XX vio el auge del transporte por carretera con la propagación de camiones y la construcción de grandes redes de carreteras. El transporte aéreo luego de la guerra se volvió crucial en la logística de las personas y las mercancías, especialmente productos perecederos y de alto valor. (*Sistemas Para Aumentar La Velocidad De Los Trenes En Una Curva ¿Basculación O Pendulación?*, n.d.)

Más adelante se da la introducción generalizada de contenedores en la década de 1950 y esto revolucionó el transporte de carga. Los contenedores facilitaron el movimiento eficiente entre barcos, trenes y camiones, dando lugar al transporte intermodal y así siendo pilar fundamental de lo que es el transporte de carga en la actualidad. (Bustos, 2014)

Historia del transporte de carga en Colombia.

Antes de la llegada de los europeos, en la época precolombina los indígenas de lo que hoy es Colombia utilizaban métodos de transporte rudimentarios, como caminos y canoas, para el intercambio o trueque de bienes.

Con la colonización, se establecieron rutas comerciales terrestres y fluviales donde los nativos y los esclavos africanos fueron utilizados como mano de obra en el transporte y carga de mercancías. Entonces durante el siglo XIX finalmente se construyeron las primeras líneas de ferrocarril en Colombia, facilitando el transporte de mercancías entre las regiones. Aunque

también se mejoraron las vías fluviales y se utilizaron animales de carga para el transporte terrestre. A mediados del siglo XX, el transporte por carretera se volvió más prominente, especialmente con la construcción de redes viales como carreteras y vías férreas. El transporte hídrico también continuó siendo importante, especialmente en regiones con puertos fluviales y marítimos.

En la actualidad, Colombia cuenta con una infraestructura para el tránsito y transporte que incluye carreteras, ferrocarriles, puertos marítimos y transporte aéreo. La modernización de los medios de transporte ha mejorado la logística de carga en todo el país. (Wichmann, 2021)

Marco conceptual

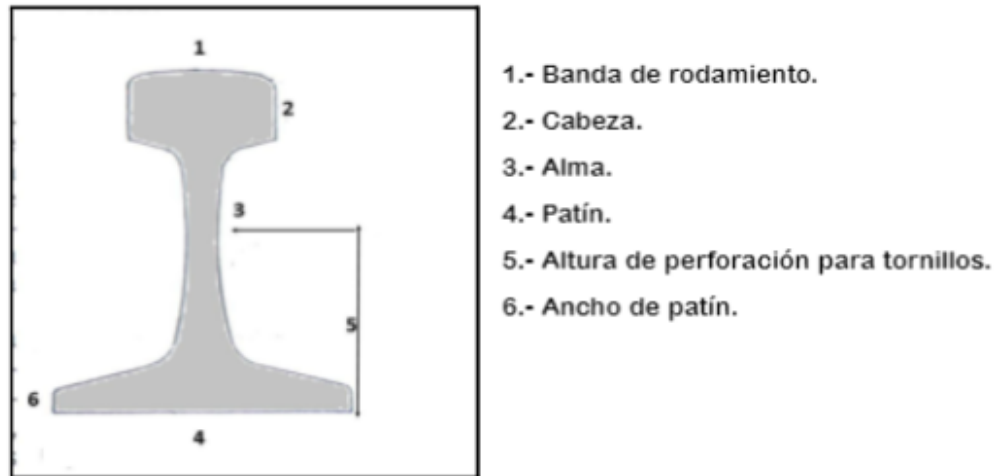
Para poder colaborar con el entendimiento de los conceptos manejados se hará una explicación y contextualización de los términos pertinentes, apoyado en la información de Ferropedia.

La vía férrea tiene diferentes funciones, tales como administrar y admitir las cargas del transporte propio del tren, las cuales esperan ser repartidas uniformemente. Por otro lado también debe manejar en un sentido, generando mayor control justo con la programación de los vehículos por desplazamiento, debido a la facilidad geométrica de diseño y así controlar la perfecta programación del sistema. Y no menos importante, un adherencia, que es generada por el desplazamiento de la relación rueda-eje, con el fin de evitar el consumo excesivo de energía debido a la fricción.

También cabe resaltar la composición de la vía férrea:

- ➔ Dos rieles que conforman el carril y que deben estar separadas por una distancia conocida como “ancho de trocha”, la cual define la medida de ancho de separación y dependiendo de su medida se puede clasificar, en este caso siendo de 914 milímetros se denomina ancho de trocha angosta, siendo la más usada en Colombia en sus vías férreas. Dichos rieles están asegurados con traviesas o durmientes que se encargan de dispersar carga, y su función principal es generar estabilidad a la geometría del riel. Las “hombreras de vía” son medidas del borde de la traviesa al extremo de la vía, las cuales protegen la vía de contaminación de material rodante tal como el balasto.

Figura 1. Perfil de un riel de ferrocarril con sus partes



Nota. la imagen representa el perfil de un riel junto con sus partes para poder identificarlas. Tomado de:

<https://mundoferroviario.lat/2022/02/24/hablemos-de-trenes-elementos-de-la-via%EF%BF%BC/>

→ También encontramos las durmientes, o también conocidas como traviesas, las cuales son los elementos encargados de fijar los rieles a la vía, es decir asegurar y fijar ganchos del carril. Su función es proporcionar a los rieles de la vía un soporte adecuado en medio para que los rieles se conserven con seguridad a la distancia correcta del patrón, y repartir las tensiones ejercidas por los vehículos que transitan por la vía. Estas son instaladas de forma transversal sobre el balasto y así generar buen soporte. Las traviesas deben colocarse cada 60 cm. La mayoría de las traviesas usadas son de material madera, aunque también se están implementando de hormigón pretensado o materiales plásticos, donde se

deben soldar a grandes longitudes los rieles, junto con esto las juntas de dilatación estarán más separadas.

Traviesas de concreto (Duración más de 30 años, comodidad para el usuario porque hace poco ruido)

Traviesas de plástico (es amigable con el medio ambiente, vida útil de más de 50 años)

Traviesas de madera (económica, duradera, útil y resistente)

Figura 2. Traviesas de los rieles



La figura 2 muestra las traviesas en los rieles de un ferrocarril. Tomado de:

<https://mundoferroviario.lat/2022/02/24/hablemos-de-trenes-elementos-de-la-via%EF%BF%BC/>

Figura 3. Traviesa de un riel desde el costado.



Se observa la traviesa de un riel de un ferrocarril. Tomado de:

<https://mundoferroviario.lat/2022/02/24/hablemos-de-trenes-elementos-de-la-via%EF%BF%BC/>

- Las juntas de dilatación se usan con el fin de proteger el tendido ferroviario previniendo las deformaciones en la estructura debido a la dilatación o contracción por factores térmicos en la vía. Funcionan mediante la absorción de las variaciones de longitudes y protegen de las torsiones. Se crean de diferentes materiales, tales como madera, hormigón o combinados.

Figura 4. Juntas de dilatación.



En la figura 4 podemos ver las juntas de dilatacion ubicadas a lo largo de los rieles.

Tomado de: <https://www.trenvista.net/a-fondo/el-traqueteo-de-los-trenes/>

Marco geográfico

El municipio de La Calera se encuentra ubicado en el departamento de Cundinamarca, en la Cordillera Oriental de los Andes colombianos. Se sitúa al este de la ciudad de Bogotá, a una distancia aproximada de 20 kilómetros.

Figura 5. Mapa del municipio de la Calera.



En la figura 5 se observa la ubicación geográfica de la Calera respecto a Cundinamarca y respecto a Colombia. Tomado de:

<https://www.lacalera-cundinamarca.gov.co/Dependencias/Paginas/Secretaria-de-Gobierno.aspx>

La Calera tiene una altitud promedio de 2.700 metros sobre el nivel del mar y se caracteriza por tener un clima frío de montaña, con una temperatura promedio anual de alrededor de 12 grados Celsius.

En cuanto a la topografía, La Calera cuenta con terrenos montañosos y accidentados, con una importante presencia de cerros y quebradas. Además, se encuentra en una zona con alta biodiversidad y una gran variedad de ecosistemas, como bosques, páramos y humedales.

Por su parte, Bogotá se encuentra ubicada en la sabana de Bogotá, en la región central del país. También está situada en la Cordillera Oriental de los Andes, aunque a una altitud menor que La Calera, alrededor de los 2.640 metros sobre el nivel del mar.

En términos generales, la zona entre La Calera y Bogotá se caracteriza por tener un relieve montañoso y accidentado, así como por tener un clima frío de montaña y una importante biodiversidad.

Sopó es un municipio colombiano ubicado en el departamento de Cundinamarca, en la región central de Colombia. Sopó se encuentra en la cordillera oriental de los Andes colombianos, a una altitud promedio de aproximadamente 2,650 metros sobre el nivel del mar. Sus coordenadas geográficas son: Latitud: 4° 54' 00" N, Longitud: 73° 57' 00" O

Figura 6. Ubicacion de Sopo.



Ubicacion de Sopo dentro del departamento de Cundinamarca y la ubicación dentro de Colombia. Tomado de:

<https://www.lacalera-cundinamarca.gov.co/Dependencias/Paginas/Secretaria-de-Gobierno.aspx>

Sopó limita al norte con los municipios de Tocancipá y Gachancipá. Al sur, limita con el municipio de Guasca. Al este, limita con el municipio de Guatavita. Al oeste, limita con el municipio de Briceño.

El territorio de Sopó es montañoso y se encuentra rodeado de hermosos paisajes naturales. La región es conocida por su belleza escénica y por ser un destino turístico popular en la región.

Sopó tiene un clima templado de montaña debido a su altitud. Las temperaturas son frescas durante la mayor parte del año, con promedios que oscilan entre los 12°C y los 18°C. La región experimenta dos estaciones principales: una temporada de lluvias y una temporada seca.

La zona cuenta con una variedad de recursos naturales, incluyendo tierras fértiles para la agricultura, bosques y cuerpos de agua, como ríos y lagunas.

La economía de Sopó se basa en actividades agrícolas, ganaderas y turísticas. La producción agrícola incluye cultivos como la papa, las fresas y las hortalizas. Además, el turismo es importante debido a la belleza de la región y la cercanía a Bogotá, la capital de Colombia.

Marco demográfico

La Calera es un municipio ubicado en el departamento de Cundinamarca, al este de la ciudad de Bogotá, capital de Colombia. Según el último censo realizado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) en 2018, La Calera tiene una población de aproximadamente 28.501 habitantes.

Por otro lado, la ciudad de Bogotá es la capital del país y una de las ciudades más grandes de América Latina, con una población de aproximadamente 7,4 millones de habitantes según el mismo censo del DANE en 2018.

Entre La Calera y Bogotá hay una distancia de aproximadamente 20 kilómetros, como ya se mencionó anteriormente, lo que convierte a La Calera en una zona de influencia importante para la capital colombiana. De hecho, muchas personas que viven en La Calera trabajan o estudian en Bogotá y se desplazan diariamente entre ambas ciudades.

En resumen, la población de La Calera es significativamente menor en comparación con la de Bogotá, pero su ubicación estratégica cerca de la capital la convierte en una zona de influencia importante para la ciudad.

Estado del arte

La locomotora a vapor. la cual generó una forma nueva de transporte tanto de pasajeros como de carga pesada, abrió paso a la gran revolución industrial ocurrida en el siglo XIX, así en el año 1829 cuando se construyó la primera locomotora, también conocida como rocket o cohete, la cual fue diseñada por el inglés George Stephenson, hizo que el concepto de transporte cambiará basado en las diferencias del tiempo y su relación a la distancia y su capacidad de carga. (Wichmann, 2021)

Con la creación del ferrocarril se genera un enorme progreso en muchas naciones, ya que reconocieron en la locomotora un icono de progreso, avance y tecnología debido a su gran capacidad de conexión de territorios. En toda América tuvo un desarrollo muy veloz. y debe resaltarse la Gran Colombia entre los países de Suramérica como la mayor fuente de prosperidad de este medio de transporte.

En la Gran Colombia se construyó el primer ferrocarril y empezó su construcción en Panamá en 1850 y su puesta en operación ocurrió 5 años después exactamente en 1855, siendo el primer ferrocarril que atravesaba el océano el cual comunicaba el océano pacífico con el océano Atlántico, el cual transportaba personas y carga a lo largo de tómbolo con un recorrido en vías de 77 km. (V, 2023)

Para 1855, la gran Colombia contaba con el primer ferrocarril que conectaba los océanos, un tiempo después Don Ramón Santo Domingo Villa y Raul Jimeno confirieron la construcción del ferrocarril de Sabanilla a Barranquilla, y así poder comunicar los territorios de mayor

producción con el mar Caribe, de esa misma forma se generaron las líneas férreas en el resto del territorio, tales como de Buenaventura hasta llegar a Bogotá y así mismo de Bogotá comunicando con Santander y a su vez con el río Magdalena.

De las obras más emblemáticas podemos resaltar el tramo de Ibagué, con el paso de la cordillera central por medio de un túnel llamado “la lora”, el cual genera paso a la troncal de Buenaventura.

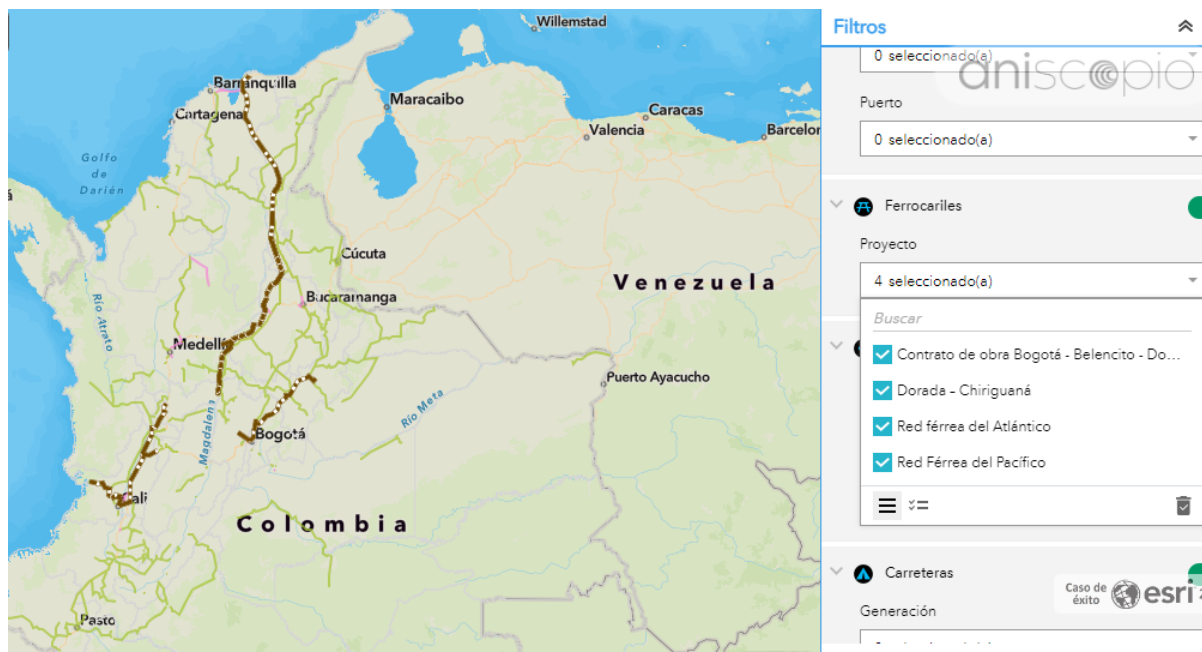
Las locomotoras de doce ruedas eran las tipo estándar para Colombia, las cuales fueron adoptadas por el ingeniero diseñador Dewhurst, las cuales facilitaban la operación de dichas locomotoras debido a sus fines como el transporte de carga pesada. (*Características De Las Líneas De Alta Velocidad*, 2015)

Los contratos para la construcción de ferrocarril otorgados al departamento de Cundinamarca y la ciudad de Bogotá se dieron en 1913. Dicho contrato fue recibido por la compañía constructora Bélgica, llamada “Chemins de fer en Colombie”

Simultáneamente se estaba construyendo en el departamento del Tolima el ferrocarril que estaba a cargo de Justino Moncó, entonces en 1919 se reanudó la construcción del ferrocarril del Tolima, y en 1917 la construcción entre Ambalema hasta Ibagué, con la magnífica conexión lograda entre Ibagué Dorada y Bogotá, también de Bogotá a Santander, y conectando al fin el llegar a Timbá, Valle del Cauca, uniendo el ferrocarril del pacífico con el resto del territorio nacional.

En 1919, se construyó la vía espinal a Neiva, bajo el contrato de Pedro A. Lopez y en 1923 se crea la dirección nacional de ferrocarriles, donde Dewhurst estaba a cargo de la oficina técnica la cual fue encomendada por Jorge Alvarez Lleras. (Carbajal, 2022)

Figura 7. Vías férreas actuales.



Vías férreas actuales activas en Colombia. Tomado de: <https://sig.ani.gov.co/mapas/>

Metodología

El método que se adopta en este proyecto se desarrollará en diferentes pasos, primero siguiendo una investigación netamente teórica del estado actual de la zona de estudio, así mismo de las variables que afectan el funcionamiento de la movilidad en la zona:

1. Definición del alcance y objetivos: En esta etapa se establecen los objetivos del estudio y se define el alcance del proyecto, incluyendo la identificación de la ruta del ferrocarril, el análisis de la demanda y el estudio de alternativas.

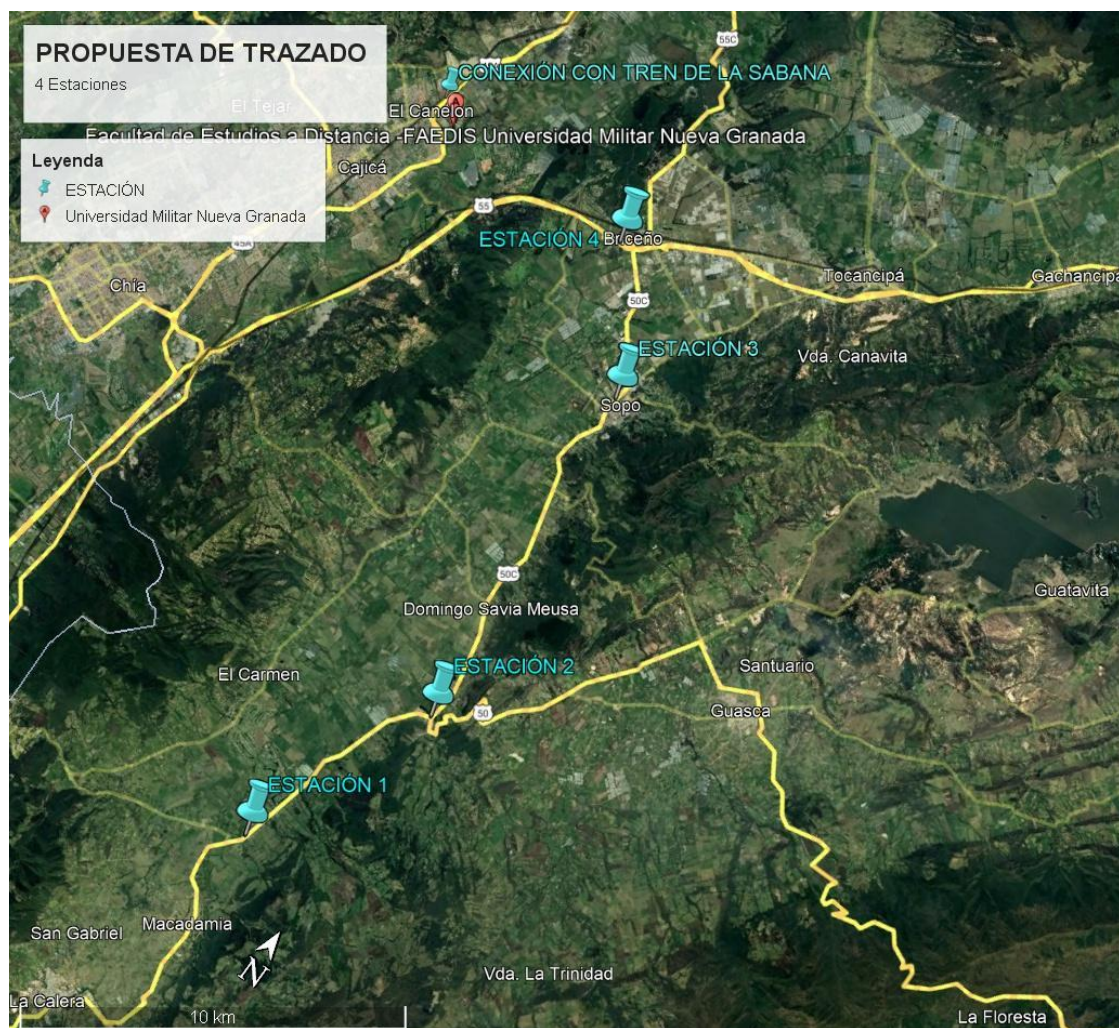
Se pretende conectar el municipio de La Calera con la Sabana norte de Bogotá. Teniendo en cuenta el volumen de pasajeros diario y las complicaciones de la vía que conecta el municipio con la ciudad a través de la calle 84, se ha determinado que la movilidad de los usuarios se encuentra afectada por varios aspectos como el estado de la misma, el ancho y los constantes derrumbes e inundaciones.

La Calera cuenta con una población aproximada de 35.301 personas para el 2022 según las proyecciones a nivel municipal realizadas por el DANE y se estima que alrededor del 10% de la población debe dirigirse a diario a la ciudad. Adicionalmente el corredor vial también es usado por los municipios vecinos como Sopó y Guasca, entre otros.

Como alternativa se ofrece una conexión férrea desde La Calera en la vereda San Cayetano a la altura del CCO de La Perimetral Oriental de Bogotá como primera estación

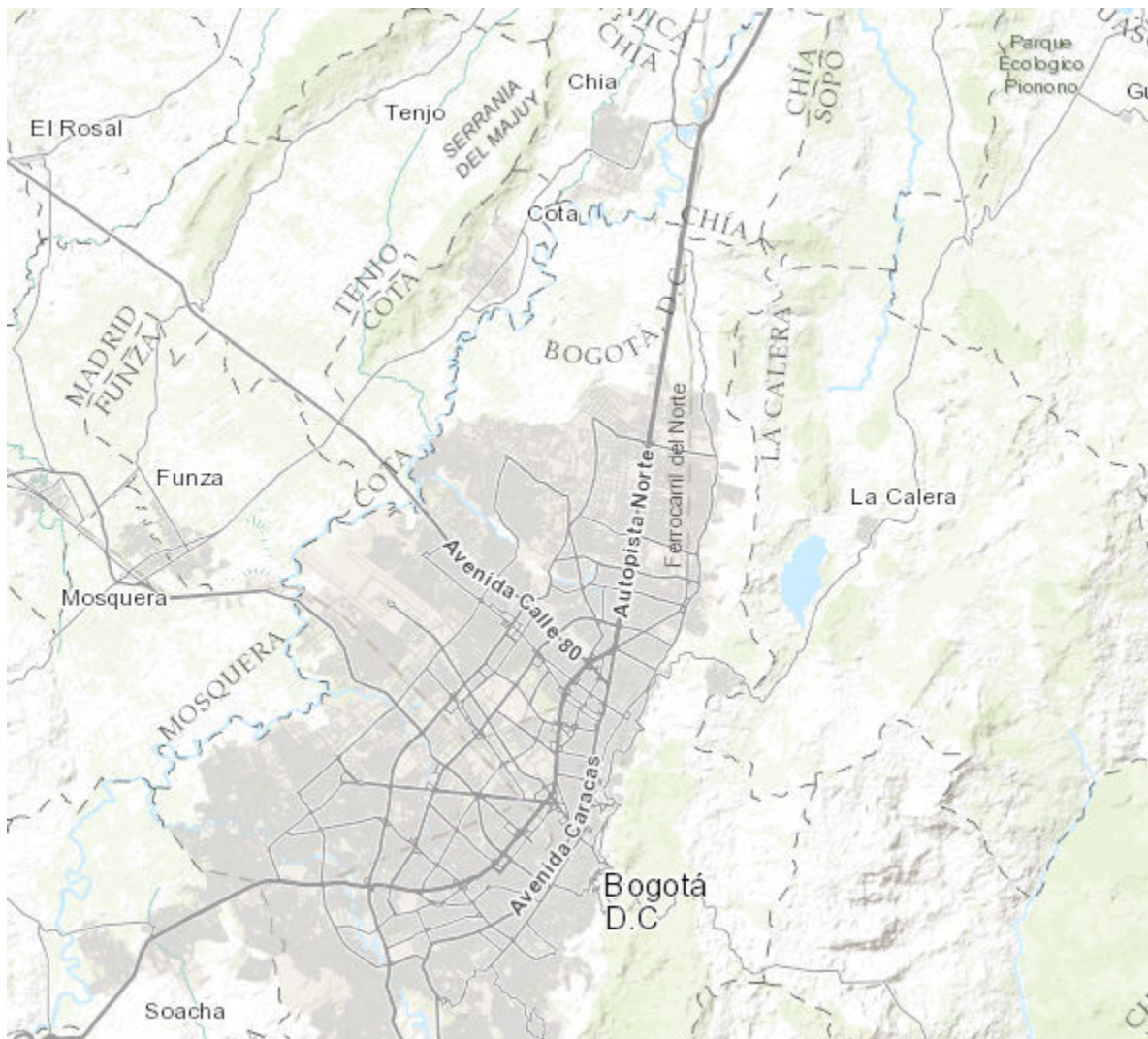
y punto de partida y El Salitre de Guasca, el casco urbano de Sopó y Briceño - Sopó como las demás estaciones antes del punto de conexión con el Tren de la Sabana en la estación de la Universidad Nueva Granada en Cajicá.

Figura 8. Estaciones en la propuesta del trazado.



Propuesta de trazado identificación las estaciones. Fuente propia adaptada mediante Google Earth.

Figura 9. Relieve de la zona donde se haría el trazado.



Relieve de la zona entre la Calera, Sopo, y la via Cajica - Zipaquira. Fuente propia
adaptado mediante Arcgis: <https://usantoto.maps.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html>

2. Estudio de la demanda: Se realiza una evaluación de la demanda potencial del ferrocarril, considerando factores como la población, el tráfico de pasajeros y de carga, las proyecciones de crecimiento económico y las tendencias de movilidad.

Uno de los sectores más concurridos en el trazado planteado es la vereda de Meusa - Sopó sobre la vía Nacional, según POB (Perimetral Oriental de Bogotá) concesionaria de la vía, dentro del Estudio De Seguridad Vial Circuito Peatonal De Meusa - Sopó dentro del Corredor Perimetral De Cundinamarca en el año 2021, en dicha zona se mueven diariamente un promedio de 200 peatones, esto claramente sin contar con los diferentes medios de transporte que fluyen en la vía como el transporte público, vehículos particulares, motos y bicicletas.

Se espera que el ferrocarril pueda movilizar a las personas del municipio de La Calera, Guasca y Sopó principalmente, según el Censo Nacional de Población y Vivienda de 2018 realizado por el Dane estos 3 municipios tienen una población total de 68.331 habitantes efectivamente censados.

En Bogotá y su área de influencia, en un día hábil se realizan aproximadamente, 883.291 viajes, este número no incluye los viajes que se hacen al interior de los municipios. Del total de viajes, 135.873 se hacen en Transporte Privado mientras que 485.903 en Transporte Público, los restantes viajes se efectúan en un modo no motorizado (hicieron a pie, en bicicleta y en otros no identificados).

Al evaluar los pares Origen Destino que conforman los patrones de movilidad de esta región se encuentra que la mayor parte de los viajes se explican por las relaciones de ocho municipios con Bogotá. Estos son:

- Soacha – Bogotá: Explica el 43% de los viajes diarios interurbanos que se dan en el subsistema. Confirma la calificación de mayor satélite de Bogotá. Esto corresponde a cerca de 270,000 viajes al día.
- Chía – Bogotá: Explica el 8% de los viajes diarios interurbanos del subsistema.
- Cota – Bogotá: Explica el 6% de los viajes diarios interurbanos del subsistema.
- Zipaquirá – Bogotá: Explica el 6% de los viajes diarios interurbanos del subsistema.
- Funza – Bogotá: Explica el 5% de los viajes diarios interurbanos del subsistema.
- Mosquera – Bogotá: Explica el 4% de los viajes diarios interurbanos del subsistema.
- Madrid – Bogotá: Explica el 3% de los viajes diarios interurbanos del subsistema.
- La Calera – Bogotá: Explica el 2% de los viajes diarios interurbanos del subsistema.
- Otros pares explican el 20% de los viajes diarios interurbanos. El primer par que no incluye a Bogotá como un par es el que se da entre Funza y Mosquera, estos dos municipios se encuentran al occidente de Bogotá y ya forman una conurbación; explica el 2% de los viajes diarios en el subsistema.

3. Análisis de alternativas: Se evalúan diferentes alternativas de diseño y trazado del ferrocarril, considerando aspectos técnicos, económicos y ambientales, para seleccionar la opción más viable y adecuada.

El trazado planteado inicialmente va en paralelo a la Ruta Nacional 50 en el tramo que comprende desde las oficinas de la POB (4.780088, -73.953204) hasta Briceño (4.938239, -73.958665), finalizando en la estación del Tren de La Sabana ubicada frente a la Universidad Militar Nueva Granada en Cajicá (4.942660, -74.016202).

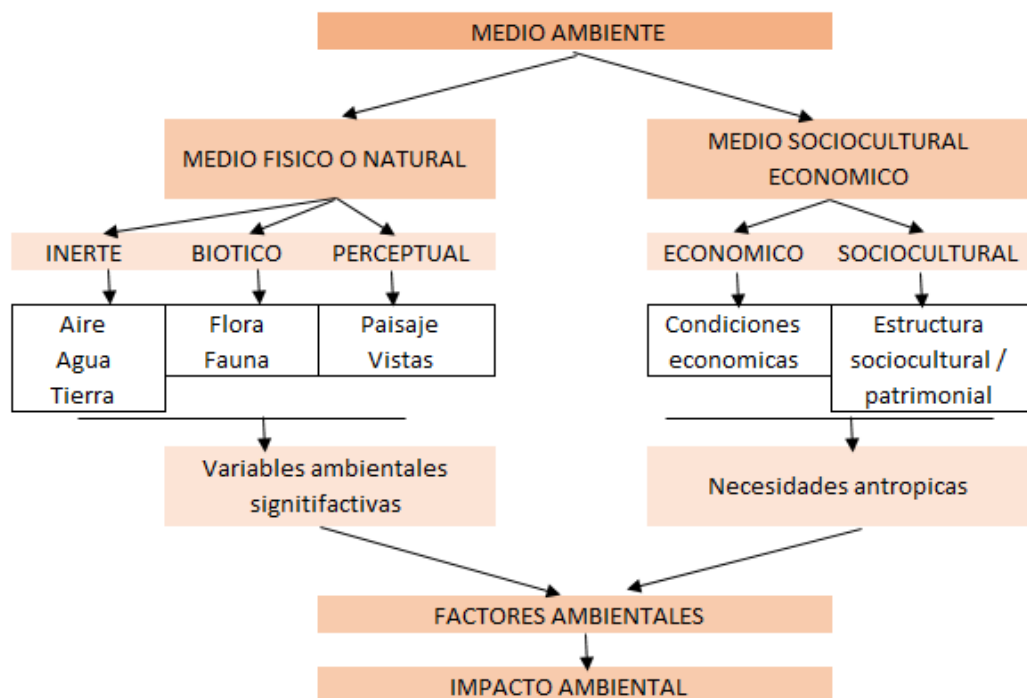
Se estimaron las curvas de nivel a una distancia máxima de 500m a cada lado de la vía Nacional, teniendo en cuenta que la pendiente arrojada por el perfil no debe ser mayor al 4%. Se pretende usar un ancho de trocha estándar (1435mm) por los siguientes motivos:

1. Este ancho se ha adaptado alrededor del mundo. Esto significa que los trenes y vagones diseñados para esta trocha pueden operar en una amplia variedad de redes ferroviarias sin necesidad de modificaciones significativas.
2. Facilita la disponibilidad de repuestos y la estandarización de componentes, lo que reduce los costos operativos.
3. Pueden soportar trenes más grandes y pesados, esto permite una mayor capacidad de carga y así mismo la posibilidad de transportar de manera más eficiente. Además, las vías más anchas permiten velocidades más altas en comparación con las trochas más estrechas.
4. Las vías de trocha estándar pueden experimentar menos desgaste y requieren menos mantenimiento que las trochas más estrechas, esto debido a que distribuyen mejor las cargas. Esto reduce los costos de mantenimiento y el tiempo de inactividad de la vía.
5. Mantiene la estabilidad de los trenes debido a su ancho, esto contribuye a una operación ferroviaria más segura.

En la actualidad las pocas ferrovías que funcionan en Colombia cuentan con locomotoras diesel, se espera que en un futuro próximo se pueda revitalizar y expandir la red de ferrocarriles del país para que sea más eficiente, sostenible y moderna.

4. Evaluación de impacto ambiental: Se realiza un estudio del impacto ambiental del proyecto, incluyendo la identificación y evaluación de los posibles impactos ambientales y las medidas de mitigación necesarias.

Figura 10. Impactos ambientales.



Estudio de impacto ambiental / Diagrama de flujo para el desarrollo de programas de acciones., fuente propia

En el diagrama de flujo para el desarrollo de programas de acciones se estudiaron 2 familias de características o condiciones del medio susceptibles de alterarse de los cuales se desprenden 9 ítems a los que se les estudió las acciones propuestas a cada una. Por

último, se realizó una valoración de cada acción propuesta para identificar si se ocasiona un impacto de gran escala o con repercusiones recuperables a corto o largo plazo.

Conclusión de la matriz del impacto ambiental:

Las conclusiones de la matriz se dividieron por el medio de transmisión o comunicación a los cuales se pueda llegar a afectar, como se muestra a continuación:

- Suelo: En cuanto al suelo, se evidencia que se encontraran varios impactos generados por las distintas actividades que genera la construcción del proyecto.
- Calidad de agua: Se puede llegar a un impacto y magnitud considerable dadas las condiciones, los lugares y las acciones antropológicas de la zona por sus diferentes actividades.
- La erosión: La degradación de suelo por erosión se refiere a “la pérdida de la capa superficial de la corteza terrestre por acción del agua y/o del viento, que es mediada por el ser humano, y trae consecuencias ambientales, sociales, económicas y culturales” (IDEAM- 2015).
- La fauna y flora: Los árboles son los directamente afectados debido a un cambio de la morfología del lugar para realizar un cambio o una actividad, esto se genera debido a la ampliación, modificación, alteración y/o necesidad que requiere el desarrollo y la industria en la actualidad. En cuanto a la pérdida de árboles se pierde la flora más abundante de la tierra como lo son árboles nativos endémicos del lugar; se sugiere una compensación de siembra masiva de árboles, aunque se sabe que esto tardará bastante tiempo en cumplir las funciones que deben cumplir los talados por el ser humano. En condiciones biológicas, la fauna afectada por todo

esto, son los pájaros y/o aves del sector, estos se encuentran en bastante riesgo y afectación por las acciones y/o hábitat modificados y alterados.

- Zonas húmedas y verdes: En cuanto al uso del territorio las zonas húmedas, y los pastizales, incluida la agricultura se encuentra de una u otra forma afectando la economía y el uso del POT de la región que en un principio no consideraba una modificación tan drástica como la es una vía férrea.
- Lugares u objetos históricos o arqueológicos: Se lograrán verse afectadas por cada una de las actividades que se generan a tal punto de evidenciar un deterioro progresivo de los objetivos y demás sitios de origen cultural, ancestral y tradicional.
- El empleo: Este hace parte importante de las modificaciones ya que al momento del proceso y durante su ejecución y seguimiento del proyecto, se generarán bastantes empleos que no se consideraban en la región.

El plan de manejo ambiental se enfoca principalmente en el control, planificación, revisión y mitigación de los aspectos del proyecto propuesto que puedan llegar a ocasionar daños o percances en la zona en la cual se va a trabajar diariamente, no solo en la parte constructiva sino también en la parte funcional y en el transporte responsable de personas. Se hace claridad de que la gestión y control del plan de manejo ambiental en conjunto con el programa de seguimiento como una guía se realiza a manera de sugerencia para el ministerio de ambiente, ente competente para la labor. Por otro lado, la ejecución de la mano de obra es propia de los destinados sobre el proyecto de la mano de las alcaldías municipales. A continuación, se presenta la estructuración del plan de

manejo ambiental con sus diversos programas los cuales estarán relacionados

directamente con las etapas del proyecto:

- Prevención de impactos ambientales
- Relaciones con las comunidades intermunicipales
- Capacitación poblacional
- Manejo y desalojo de desechos sólidos
- Rehabilitación de áreas afectadas
- Abandono y entrega del área
- Monitoreo y seguimiento ambiental

5. Elaboración del informe final: Se elabora un informe final que resume los resultados del estudio de viabilidad y que incluye recomendaciones sobre la viabilidad del proyecto, las alternativas de diseño y las medidas de mitigación necesarias.

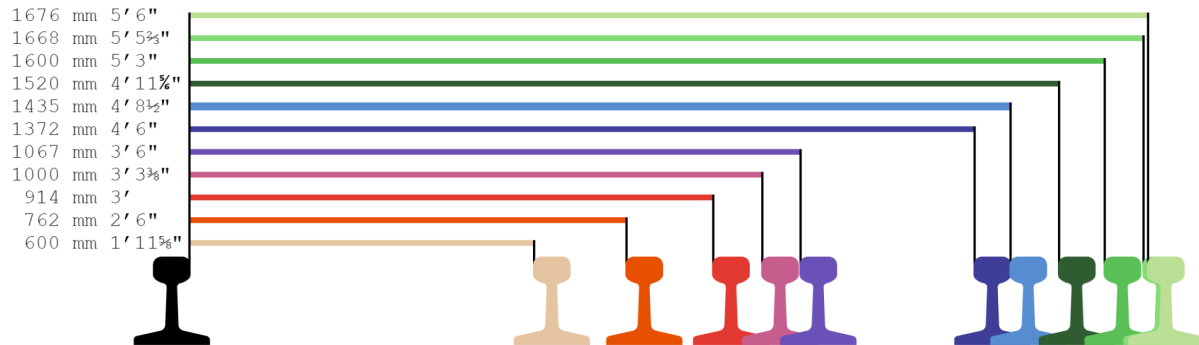
Información de vías en ferrocarriles

Ancho de vía: se refiere a la distancia entre las dos ruedas de un vagón o locomotora que se desplazan sobre los carriles. En otras palabras, es la medida de la separación entre los dos rieles que forman la vía.

El ancho de vía puede variar según el país, la región o el tipo de ferrocarril. Por ejemplo, en Europa y la mayor parte de América Latina, el ancho de vía más común es de 1.435 mm (ancho estándar o internacional). En cambio, en algunos países de la antigua Unión Soviética y en la India, se utiliza un ancho de vía de 1.520 mm (ancho ruso), mientras que en España y Portugal se utiliza un ancho de vía de 1.668 mm (ancho ibérico).

El ancho de vía es importante porque influye en la velocidad, la capacidad y la seguridad de los ferrocarriles. Un ancho de vía más ancho puede permitir que los trenes circulen a mayores velocidades, pero también puede limitar la capacidad de carga y aumentar los costos de construcción y mantenimiento. Por otro lado, un ancho de vía más estrecho puede reducir los costos y aumentar la capacidad de carga, pero limita la velocidad y la interoperabilidad con otros sistemas ferroviarios. Por tanto, la elección del ancho de vía depende de una serie de factores, como la geografía, la demanda y la integración con otros sistemas de transporte.

Figura 11. Anchos de vía.



Anchos de vía y sus respectivas medidas. Tomado de:

<https://ferrocarrilescolombianos.blogspot.com/2014/04/trocha-ancho-de-via.html>

Sección transversal: Es la forma y dimensiones de la vía férrea en un corte transversal perpendicular al eje longitudinal de la vía. La sección transversal típicamente incluye elementos como los carriles, las traviesas, la capa de balasto y la subrasante.

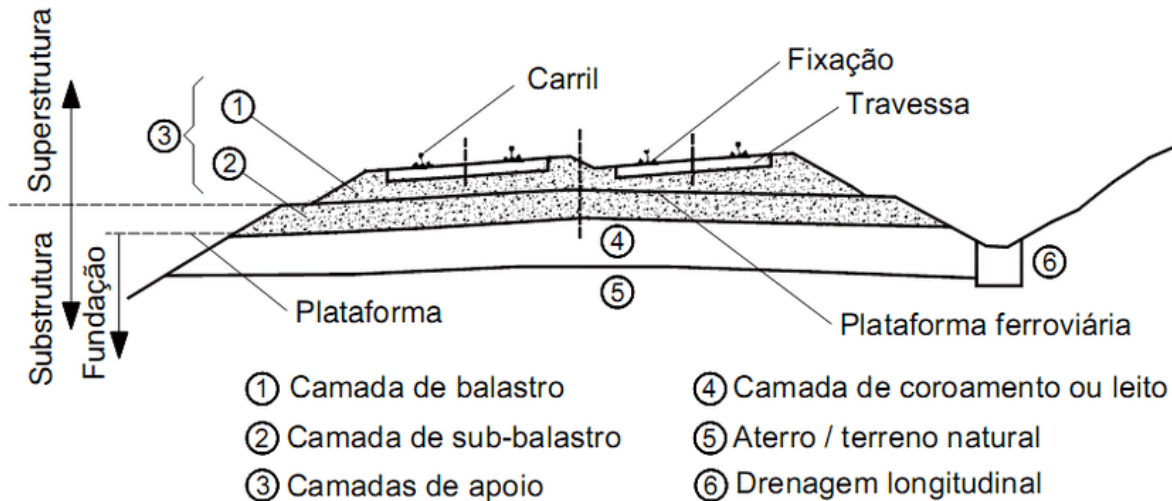
Los carriles son las barras de acero que conforman la vía y sobre las cuales se desplazan los trenes. Las traviesas son los elementos que sostienen los carriles y distribuyen el peso del tren sobre el balasto. El balasto es una capa de material granular, como piedras o gravilla, que se coloca debajo de las traviesas para mejorar la estabilidad de la vía y amortiguar las vibraciones y el ruido. La subrasante es la capa de suelo o roca sobre la que se construye la vía férrea.

La sección transversal puede variar según el tipo de ferrocarril, la velocidad y la carga de los trenes, la geografía y otros factores. Por ejemplo, las líneas de alta velocidad pueden requerir una sección transversal más ancha y estable para soportar velocidades más altas y reducir la

resistencia al aire. Por otro lado, las líneas de carga pueden requerir una sección transversal más resistente para soportar cargas pesadas y evitar la deformación del terreno.

La sección transversal también puede ser importante en términos de mantenimiento y seguridad. Una sección transversal bien diseñada y construida puede reducir los costos de mantenimiento y aumentar la seguridad de los trenes al minimizar los descarrilamientos y otros problemas en la vía férrea.

Figura 12. Sección transversal de la vía férrea.



Sección transversal de la vía y sus partes. Tomado de:

https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Esquema-via-ferrea-UIC-2008-adaptado_fig1_270822818

Diseño geométrico: se refiere a la planificación y diseño de la vía férrea, teniendo en cuenta factores como la geometría de la ruta, la velocidad de los trenes, la capacidad de carga y la seguridad.

El diseño geométrico incluye elementos como la ubicación de las curvas, la pendiente de la vía, la altura de los carriles y la separación de los mismos. Estos elementos deben ser diseñados cuidadosamente para garantizar que los trenes puedan viajar de manera segura y eficiente, a la vez que se minimiza la resistencia al avance y se reduce el desgaste de la vía férrea.

La ubicación de las curvas es un elemento clave en el diseño geométrico. Las curvas deben ser diseñadas para permitir que los trenes puedan tomarlas sin descarrilarse, y al mismo tiempo permitir que los trenes puedan mantener altas velocidades en las secciones rectas. La pendiente de la vía también es importante, ya que puede afectar la velocidad de los trenes y la capacidad de carga.

La altura de los carriles y su separación también son elementos críticos en el diseño geométrico. Los carriles deben ser diseñados para soportar cargas pesadas, a la vez que se minimiza la deformación de la vía y se reduce el desgaste de los carriles. La separación entre los carriles también es importante para garantizar que los trenes puedan circular de manera segura y evitar el descarrilamiento.

Geometría de una vía/red ferroviaria Nacional

- Alineación en planta: se refiere a la ubicación y disposición de la vía férrea en un plano horizontal. En otras palabras, se trata de cómo se traza la línea recta de la vía férrea en el terreno para conectar dos puntos. (*TEMA 4. GEOMETRÍA DE LA VÍA*, n.d.)

La alineación en planta es un aspecto importante del diseño geométrico de ferrocarriles, ya que influye en la velocidad de los trenes, la capacidad de carga y la seguridad de la vía. La alineación en planta se diseña con el objetivo de minimizar la distancia y el tiempo de viaje entre dos puntos, al mismo tiempo que se garantiza la seguridad de los trenes y se minimiza la resistencia al avance.

Para lograr una alineación en planta adecuada, se tienen en cuenta factores como la topografía del terreno, la ubicación de las estaciones y los desvíos, y la presencia de obstáculos como ríos, montañas o carreteras. La curvatura de la vía también es un factor importante en la alineación en planta, ya que las curvas pronunciadas pueden reducir la velocidad de los trenes y aumentar el desgaste de la vía.

- Alineación de rectas: se refiere a una sección de la vía férrea que está diseñada para ser lo más recta posible, sin curvas pronunciadas o cambios bruscos en la dirección. Esta sección de la vía se utiliza para permitir que los trenes alcancen altas velocidades y reducir los tiempos de viaje.

En la alineación de rectas, la vía férrea se extiende en línea recta a través del terreno, lo que permite que los trenes alcancen velocidades más altas y reduzcan el tiempo de viaje

entre dos puntos. Esta sección de la vía también puede incluir tramos de pendiente constante para garantizar una velocidad constante y minimizar el consumo de energía.

La alineación de rectas es un componente clave del diseño geométrico de ferrocarriles, y se utiliza en combinación con secciones curvas de la vía para crear una alineación en planta equilibrada. La alineación de rectas también es importante para la seguridad de los trenes, ya que reduce la posibilidad de descarrilamientos y colisiones en curvas pronunciadas.

En resumen, la alineación de rectas en ferrocarriles se refiere a una sección de la vía férrea que está diseñada para ser lo más recta posible, lo que permite que los trenes alcancen altas velocidades y reduzcan los tiempos de viaje. Esta sección de la vía también es importante para la seguridad de los trenes, ya que reduce la posibilidad de descarrilamientos y colisiones en curvas pronunciadas.

- Alineación de curvas: Es el diseño de la vía férrea que tiene una curva determinada en su trazado. Esta curva permite que la vía férrea se adapte al terreno y evite obstáculos naturales o artificiales en la ruta del ferrocarril.

La alineación de curvas es un componente clave del diseño geométrico de ferrocarriles, y se utiliza en combinación con secciones rectas de la vía para crear una alineación en planta equilibrada. El radio de la curva se define como la distancia entre el centro de la curva y la vía férrea, y es una medida crítica en el diseño de la alineación de curvas. El radio mínimo de la curva está determinado por la velocidad máxima del tren y la

capacidad de su sistema de suspensión. (*PERALTE, ALABEO Y ESTABILIDAD DE TRAVIESAS*, n.d.)

La alineación de curvas también es importante para la seguridad de los trenes, ya que una curva demasiado pronunciada puede aumentar el riesgo de descarrilamientos y accidentes. Por lo tanto, los diseñadores de ferrocarriles deben considerar cuidadosamente la geometría de la curva y tomar medidas de mitigación para garantizar la seguridad de los trenes.

- Caracterización de curvas: Las curvas se deben caracterizar mediante varios parámetros con el fin de determinar su geometría y comportamiento, como lo son los elementos de la curva, explicados más adelante. (Paixão, n.d.)
- Nivelación Longitudinal: Es un parámetro geométrico el cual define una cota de la superficie de rodadura a un hilo de la vía, está referida a un plano de comparación. (Paixão, n.d.)
- Nivelación transversal: o también conocido como peralte está definido como la diferencia de la cota existente entre las superficies de rodadura de dos carriles de una vía en una sección normal, también llamada perpendicular, al eje de ésta.
- Alabeo: curva que toma una pieza u objeto (*PERALTE, ALABEO Y ESTABILIDAD DE TRAVIESAS*, n.d.)

Elementos de una curva

- Radio de la curva: El radio de la curva es la medida del arco de un círculo que mejor se ajusta a la curva de la vía férrea en un punto específico. Se expresa en metros y es una medida fundamental para determinar la geometría de la curva. Un radio de curva más pequeño indica una curva más pronunciada, mientras que un radio más grande indica una curva más suave.

El radio de curva se calcula utilizando la longitud del arco de la curva y el ángulo central formado en el centro del círculo que mejor se ajusta a la curva. La fórmula para calcular el radio de curva es la siguiente:

Ecuación 1. Cálculo del radio de curva.

$$R = L / \theta$$

Donde:

- R es el radio de curva en metros.
- L es la longitud del arco de la curva en metros.
- θ es el ángulo central en radianes.

Es importante tener en cuenta que el radio de curva puede variar a lo largo de una curva en particular. En algunas situaciones, especialmente en líneas ferroviarias de alta

velocidad, se pueden utilizar radios de curva más grandes para permitir una mayor estabilidad y comodidad en el tránsito de los trenes.

El radio de curva es un factor crítico en el diseño y la operación de las vías férreas, ya que afecta la capacidad de los trenes para tomar la curva de manera segura y eficiente. Se utiliza para determinar el peralte, la velocidad de diseño y otros parámetros necesarios para garantizar la seguridad y la estabilidad del sistema ferroviario.

- **Ángulo central (θ):** El ángulo central es el ángulo formado en el centro del círculo que mejor se ajusta a la curva. Está relacionado con el radio de la curva mediante la fórmula:

Ecuación 2. Ecuación radio de curva.

$$\theta = \frac{180^\circ \times L}{\pi \times R}$$

donde L es la longitud del arco de la curva.

El ángulo central se calcula utilizando la longitud de arco de la curva y el radio de curva correspondiente. La fórmula para calcular el ángulo central es la siguiente:

Ecuación 3. Ecuación de cálculo del ángulo central.

$$\theta = (L / R)$$

Donde:

θ es el ángulo central en radianes.

L es la longitud del arco de la curva en metros.

R es el radio de curva en metros.

El ángulo central se expresa en radianes y es proporcional a la longitud de arco de la curva y al inverso del radio de curva. Cuanto mayor sea la longitud de arco o menor sea el radio de curva, mayor será el ángulo central.

El ángulo central es un parámetro importante para determinar la curvatura y la configuración de una curva en las vías férreas. Junto con el radio de curva, se utiliza para diseñar y operar de manera segura las curvas, establecer límites de velocidad y determinar el peralte adecuado.

Es importante destacar que, en algunas ocasiones, el ángulo central se puede expresar en grados en lugar de radianes. Para convertir de radianes a grados, se puede utilizar la fórmula: $\text{ángulo en grados} = (\text{ángulo en radianes} \times 180^\circ) / \pi$.

- Longitud de transición: La longitud de transición se refiere a la longitud de la vía férrea en la cual la curvatura de la vía cambia gradualmente desde una línea recta a la curva completa. Esta transición suave permite que los trenes se adapten gradualmente a la curva sin forzar los rieles y los vagones. La longitud de transición es necesaria para minimizar las fuerzas laterales y los efectos de aceleración y desaceleración bruscos al ingresar y

salir de la curva. Durante la transición, la curvatura se va incrementando progresivamente hasta alcanzar el radio de curva deseado.

- La longitud de transición se determina considerando varios factores, como la velocidad de diseño, el radio de la curva y la aceleración lateral admisible. Se utiliza para diseñar la geometría de la vía y garantizar un cambio suave y gradual de la trayectoria del tren en la curva.
- El cálculo exacto de la longitud de transición puede variar según las normas y estándares específicos de cada red ferroviaria. Se pueden emplear diferentes métodos y fórmulas, teniendo en cuenta los parámetros geométricos y dinámicos involucrados.
- Ángulo de desvío: El ángulo de desvío es el ángulo formado por las líneas tangentes a la curva en los extremos de la misma. Este ángulo determina la cantidad de giro que experimenta un tren al pasar por la curva. El ángulo de desvío está directamente relacionado con la geometría de la curva y se utiliza para caracterizar la cantidad de giro que un tren debe realizar al seguir la trayectoria de la curva. Cuanto mayor sea el ángulo de desvío, mayor será el cambio de dirección que el tren experimentará al pasar por la curva.

El ángulo de desvío se calcula midiendo el ángulo entre las líneas tangentes a la curva en los puntos de entrada y salida de la misma. La medición generalmente se realiza en

grados y puede ser determinada a partir de los radios de curva y la distancia entre los puntos de entrada y salida de la curva.

Es importante tener en cuenta que el ángulo de desvío no debe confundirse con el ángulo central de la curva. El ángulo central se refiere al ángulo formado en el centro del círculo que mejor se ajusta a la curva, mientras que el ángulo de desvío se mide en los extremos de la curva.

El ángulo de desvío es un factor crítico en el diseño y la operación de las vías férreas, ya que afecta la capacidad de los trenes para seguir las curvas de manera segura y eficiente. Se utiliza en la planificación de la vía, la señalización y el control del tráfico ferroviario para garantizar que los trenes puedan realizar los giros de manera adecuada y segura.

- **Superelevación o peralte:** La superelevación, también conocida como peralte, es el inclinado de los rieles en una curva para contrarrestar la fuerza centrífuga y permitir que los trenes circulen de manera más segura y cómoda. Los rieles en una curva están ligeramente inclinados hacia el centro de la curva para compensar la fuerza centrífuga y mantener el equilibrio del tren. La superelevación se expresa en forma de una pendiente, por ejemplo, como una proporción de 1 en n ($1:n$), donde n es el número de unidades de longitud horizontal para elevar la vía en una unidad de longitud vertical. El valor de la superelevación se expresa generalmente como una relación entre la altura de la elevación de los rieles y la distancia horizontal. Por ejemplo, una superelevación de 1 en 20 ($1:20$)

significa que la vía se inclina 1 unidad vertical por cada 20 unidades horizontales. El valor exacto de la superelevación depende de varios factores, como la velocidad de diseño, el radio de la curva y el tipo de trenes que circularán por la vía.

Es importante destacar que la superelevación debe ser aplicada de manera gradual, comenzando antes de la entrada de la curva y terminando después de la salida de la misma. Esto se logra mediante una transición suave en la elevación de los rieles, conocida como la transición de peralte.

La superelevación de las curvas en los ferrocarriles es crucial para garantizar la seguridad y la comodidad del viaje. Permite que los trenes tomen las curvas de manera más suave, reduciendo la posibilidad de descarrilamientos y minimizando las fuerzas laterales que actúan sobre los vagones y los pasajeros.

El diseño y la implementación de la superelevación se basan en normas y estándares específicos de cada red ferroviaria, teniendo en cuenta factores como la velocidad de los trenes, el tipo de material rodante y las características de la vía.

- **Velocidad de diseño:** La velocidad de diseño es la velocidad máxima recomendada para los trenes al pasar por una curva determinada. Se establece teniendo en cuenta el radio de la curva, el peralte y otros factores para garantizar la seguridad y la estabilidad de los trenes. La velocidad de diseño se determina considerando varios factores, como el radio

de la curva, la superelevación, la longitud de transición, las características del material rodante y otros elementos de la vía. El objetivo principal es establecer una velocidad segura que permita a los trenes mantener la estabilidad y el control adecuados al pasar por la curva sin riesgo de descarrilamientos o situaciones peligrosas.

El cálculo de la velocidad de diseño involucra análisis y consideraciones técnicas para determinar los límites seguros de velocidad. Se tienen en cuenta factores como la fuerza centrífuga, la capacidad de tracción de los trenes, las fuerzas laterales en los rieles, la respuesta dinámica del material rodante y la seguridad del sistema en general.

La velocidad de diseño puede variar según la infraestructura ferroviaria y las normas específicas de cada red ferroviaria. Las curvas con un radio más pequeño o una superelevación menor generalmente tienen una velocidad de diseño más baja, mientras que las curvas más suaves o con mejores características geométricas pueden permitir velocidades de diseño más altas.

Es importante tener en cuenta que la velocidad de diseño es una recomendación y los operadores de los trenes deben cumplir con los límites establecidos para garantizar la seguridad. Los sistemas de señalización y control del tráfico ferroviario también juegan un papel fundamental en garantizar que los trenes circulen a velocidades seguras en las curvas y en toda la red ferroviaria.

- **Desgaste y fatiga:** Las curvas en los ferrocarriles están sujetas a un desgaste y fatiga más pronunciados en comparación con las secciones rectas. La caracterización del desgaste y la fatiga en las curvas es importante para realizar inspecciones y mantenimiento adecuados.

Tipos de curva

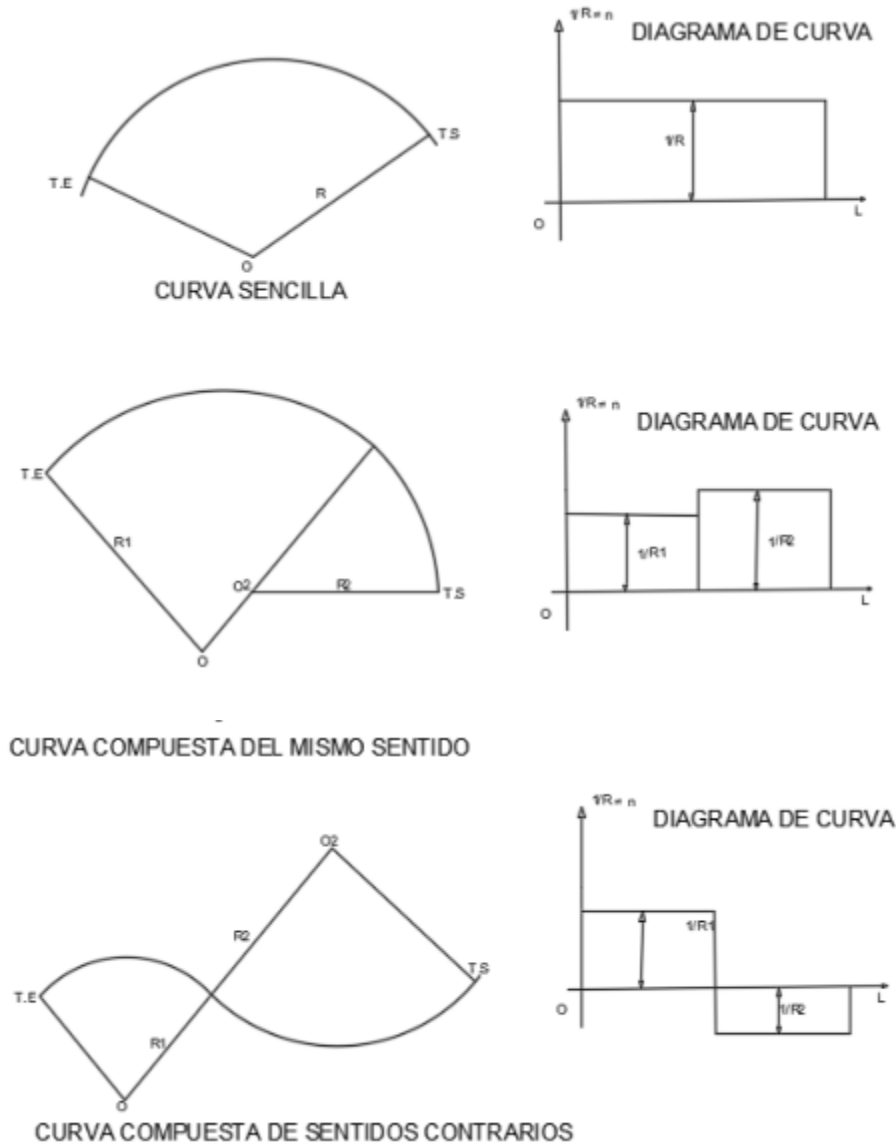
La curva circular en un ferrocarril se refiere a una sección de la vía férrea que sigue una trayectoria curva en lugar de ser recta. La curva es necesaria para permitir que los trenes sigan una ruta determinada y para adaptarse a las condiciones topográficas del terreno. Al diseñar curvas en ferrocarriles, se deben tener en cuenta varios factores para garantizar la seguridad y eficiencia del sistema ferroviario. Aquí hay algunos elementos clave:

- **Radio de Curvatura:** El radio de curvatura es la medida del giro de la curva. Se expresa en metros o pies y representa la distancia desde el punto central de la curva hasta la vía. Un radio de curvatura más grande permite curvas más suaves y es crucial para garantizar una operación segura y cómoda.
- **Super elevación o Inclinación:** En las curvas ferroviarias, se utiliza la super elevación para contrarrestar la fuerza centrífuga que empuja el tren hacia fuera de la curva. La vía se inclina hacia el lado de la curva para compensar esta fuerza y mantener el equilibrio del tren.

- **Velocidad de Diseño:** La velocidad permitida en una curva está relacionada con el radio de curvatura, la super elevación y otros factores de diseño. Se deben establecer límites de velocidad para garantizar la seguridad operativa y la comodidad de los pasajeros.
- **Transición de Curva:** Para evitar cambios bruscos en la dirección del tren, se utilizan transiciones de curva, que son secciones de vía en las que se realiza gradualmente el cambio de dirección.
- **Perfil del Terreno:** El diseño de la curva también debe tener en cuenta el perfil del terreno para minimizar la necesidad de pendientes pronunciadas o cambios bruscos en la elevación.
- **Seguridad y Normativas:** Las normativas ferroviarias y de seguridad establecen estándares para el diseño de curvas, incluyendo requisitos mínimos de radio de curvatura y velocidades máximas permitidas.

La planificación cuidadosa y el diseño adecuado de las curvas son esenciales para garantizar la seguridad, eficiencia y comodidad en las operaciones ferroviarias.

Figura 13. Tipos de curvas.



Tipos de curvas junto con sus diagramas. Tomado de:

[http://descargas.adif.es/ade/u18/GCN/NormativaTecnica.nsf/v0/CAE9FD2EDF85220AC12573AA003E5F07/\\$FILE/NAV%200221.pdf?OpenElement#:~:text=A%20este%20respecto%20se%20definen,de%20diferente%20sentido%20de%20curvatura.](http://descargas.adif.es/ade/u18/GCN/NormativaTecnica.nsf/v0/CAE9FD2EDF85220AC12573AA003E5F07/$FILE/NAV%200221.pdf?OpenElement#:~:text=A%20este%20respecto%20se%20definen,de%20diferente%20sentido%20de%20curvatura.)

Alineación en alzado

Se refiere a la disposición vertical de la vía férrea en relación con la superficie del terreno. Es un aspecto clave del diseño ferroviario que se ocupa de la elevación y pendientes de la vía a lo largo de su longitud. El objetivo principal de la alineación en alzado es garantizar una operación segura y eficiente de los trenes, minimizando pendientes excesivas y asegurando transiciones suaves entre diferentes niveles de la vía.

La alineación en alzado es esencial para garantizar la seguridad y eficiencia del sistema ferroviario. Un diseño cuidadoso tiene en cuenta la topografía del terreno, minimiza las pendientes pronunciadas y asegura que los cambios en la elevación sean graduales y manejables para los trenes. Esto contribuye a una operación ferroviaria más suave y segura. (Carbajal, 2022)

Alineación recta

Se refiere a la disposición horizontal de la vía férrea, donde la vía sigue una trayectoria recta sin curvas. Esta es una sección de la vía que no tiene cambios en la dirección horizontal, lo que facilita la operación de los trenes y permite velocidades más altas y eficientes.

Aunque las secciones rectas son beneficiosas para la eficiencia y velocidad de los trenes, en la práctica, las vías férreas a menudo incluyen curvas para adaptarse al terreno y a otros factores geográficos. El diseño óptimo busca equilibrar la necesidad de tramos rectos con la necesidad de curvas para adaptarse al entorno y garantizar la seguridad y la eficiencia operativa.

Alineación en alzado

La alineación en alzado en ferrocarriles se refiere a la disposición vertical de la vía férrea en relación con la superficie del terreno. Es un aspecto fundamental del diseño ferroviario que se ocupa de la elevación y las pendientes de la vía a lo largo de su longitud. El objetivo principal es garantizar una operación segura y eficiente de los trenes, minimizando las pendientes excesivas y asegurando transiciones suaves entre diferentes niveles de la vía.

Es esencial para garantizar la seguridad y eficiencia del sistema ferroviario. Un diseño cuidadoso tiene en cuenta la topografía del terreno, minimiza las pendientes pronunciadas y asegura que los cambios en la elevación sean graduales y manejables para los trenes. Esto contribuye a una operación ferroviaria más suave y segura.

Alineación en planta

Se refiere a la disposición horizontal de las vías del ferrocarril en relación con la superficie de la tierra. Este aspecto del diseño ferroviario tiene un impacto significativo en la seguridad, la eficiencia operativa y la comodidad de los viajeros. El diseño cuidadoso de la alineación en planta es esencial para garantizar un sistema ferroviario seguro y eficiente. Se busca un equilibrio entre la adaptación a la topografía y la provisión de rutas que permitan operaciones ferroviarias efectivas.

Peralte

El peralta o nivelación longitudinal de una vía es conocida como la inclinación lateral de las vías en una curva. Cuando un tren se desplaza por una curva, experimenta una fuerza centrífuga que tiende a empujarlo hacia afuera de la curva. Para contrarrestar esta fuerza y mantener la estabilidad del tren, las vías están inclinadas hacia el interior de la curva, creando una especie de "bancada" en la vía.

El peralte se expresa comúnmente como un porcentaje y representa la diferencia de altura entre el lado exterior e interior de la curva. Por ejemplo, un peralte del 6% indica que el lado interior de la curva está elevado respecto al lado exterior.

El objetivo principal del peralte es reducir la tendencia del tren a descarrilarse en las curvas, proporcionando una fuerza lateral que contrarreste la fuerza centrífuga. Este diseño contribuye a una operación más segura y cómoda de los trenes al permitir que estos mantengan velocidades más altas en las curvas sin comprometer la estabilidad.

Es importante destacar que el peralte no siempre es uniforme a lo largo de toda la curva. Por lo general, hay una transición gradual en la inclinación que comienza antes de la curva real y continúa después de salir de ella. Esto se hace para proporcionar una transición suave y evitar cambios bruscos en la inclinación que podrían afectar la estabilidad del tren.

Fuerza centrífuga

La fuerza centrífuga en ferrocarriles se refiere a la fuerza ficticia o aparente que actúa sobre un objeto en movimiento en una trayectoria curva. En el contexto ferroviario, esta fuerza es particularmente relevante cuando un tren se desplaza alrededor de una curva en la vía.

Cuando un tren entra en una curva, experimenta una fuerza centrífuga dirigida hacia afuera de la curva. Esta fuerza es el resultado de la inercia del tren que tiende a mantener su movimiento rectilíneo y se manifiesta cuando el tren sigue una trayectoria curva. La magnitud de la fuerza centrífuga depende de la velocidad del tren y del radio de la curva; a mayor velocidad o radio de curvatura más pequeño, mayor será la fuerza centrífuga.

La fuerza centrífuga puede representarse mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 4. Ecuación de fuerza centrífuga.

Figura 14. Fórmula de fuerza centrífuga.

$$F_c = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

Donde:

- F_c es la fuerza centrífuga.
- m es la masa del tren.
- v es la velocidad del tren.
- r es el radio de la curva.

Esta fuerza centrífuga tiene importantes implicaciones para el diseño y la operación de las vías ferroviarias. Para contrarrestar la fuerza centrífuga y evitar que el tren se descarrile, se utiliza el peralte de las vías, que es la inclinación lateral de las vías en las curvas. El peralte compensa la fuerza centrífuga al inclinar las vías hacia el interior de la curva, proporcionando una fuerza lateral que ayuda a mantener el equilibrio y la estabilidad del tren.

Peralte teórico

El peralte teórico en ferrocarriles se refiere a la inclinación lateral planificada y calculada de las vías en una curva para contrarrestar la fuerza centrífuga y mantener la estabilidad del tren.

Es la inclinación que se proporciona idealmente en condiciones ideales para una velocidad y radio de curva específicos.

El peralte teórico se determina teniendo en cuenta la velocidad del tren, el radio de la curva y otros factores relacionados con la geometría de las vías. La fórmula básica para el peralte teórico se deriva de la ecuación de la fuerza centrífuga y tiene la forma:

Ecuación 5. Ecuación del peralte teórico.

Figura 15. Fórmula del peralte teórico.

$$P_t = \frac{v^2}{g \cdot r}$$

Donde:

- P_t es el peralte teórico.
- v es la velocidad del tren.
- g es la aceleración debido a la gravedad.
- r es el radio de la curva.

Esta fórmula muestra que el peralte teórico es proporcional al cuadrado de la velocidad del tren e inversamente proporcional al radio de la curva. A medida que la velocidad aumenta o el radio de la curva disminuye, se necesita un mayor peralte teórico para contrarrestar la fuerza centrífuga.

Es importante tener en cuenta que el peralte teórico es un valor calculado y puede diferir de las condiciones prácticas en el terreno debido a diversas limitaciones como la topografía del terreno, restricciones de ingeniería, y otros factores que pueden afectar la implementación exacta del peralte en la vía. Sin embargo, el peralte teórico sirve como punto de partida para el diseño de las curvas y la determinación de las inclinaciones laterales necesarias para mantener la seguridad y la estabilidad del tren.

Velocidad máxima admisible en función del peralte y radio

La velocidad máxima admisible en una curva de ferrocarril está influenciada por varios factores, incluyendo el peralte y el radio de la curva. La relación entre estos factores y la velocidad máxima se rige por principios de seguridad y estabilidad. La fórmula básica que se utiliza para calcular la velocidad máxima admisible ($V_{\max}$) en una curva es la siguiente:

Ecuación 6. Ecuación de la velocidad máxima.

Figura 16. Fórmula de velocidad máxima.

$$V_{\max} = \sqrt{g \cdot r \cdot P}$$

Donde:

- g es la aceleración debido a la gravedad.
- r es el radio de la curva.
- P es el peralte efectivo de la curva.

Esta fórmula muestra que la velocidad máxima admisible es proporcional a la raíz cuadrada del producto de la aceleración gravitacional, el radio de la curva y el peralte efectivo.

En términos prácticos, para garantizar la seguridad y la estabilidad del tren, se establecen límites de velocidad máxima en función de la geometría de la vía. Los estándares ferroviarios y normativas establecen estos límites teniendo en cuenta factores como el peralte, el radio de la curva, la resistencia de los materiales y otros aspectos relacionados con la operación ferroviaria.

Es importante destacar que estos límites pueden variar según las condiciones específicas de la vía y el tipo de tren. Además, la velocidad máxima admisible puede ajustarse mediante la implementación de sistemas de control de velocidad, monitoreo continuo y otros mecanismos de seguridad para garantizar el cumplimiento de las normativas y la seguridad operativa.

Curva de transición

Se refiere a una sección especial de la vía que se utiliza para suavizar la transición entre una recta y una curva, ya sea en la alineación horizontal (en planta) o en la alineación vertical (en alzado). El propósito principal de la curva de transición es permitir que el tren haga el cambio de dirección de manera gradual y suave, evitando cambios abruptos que puedan causar incomodidad para los pasajeros y tensiones innecesarias en los componentes del tren y de la vía.

La curva de transición en planta se utiliza para suavizar la transición entre una sección recta y una curva horizontal. En esta transición, la curva de transición introduce gradualmente el radio de la curva, permitiendo que la vía haga la transición de manera más suave y cómoda para los pasajeros.

En la alineación vertical, la curva de transición se utiliza para suavizar la transición entre una pendiente y una sección horizontal de vía o entre dos pendientes con inclinaciones diferentes. Esto ayuda a evitar cambios abruptos en la elevación de la vía.

La longitud de la curva de transición y la forma específica que adopta dependen de diversos factores, como la velocidad máxima permitida en la vía, el tipo de trenes que operan en ella y las normativas ferroviarias específicas del país. Los ingenieros de ferrocarriles utilizan fórmulas y principios de diseño para determinar la longitud y características óptimas de la curva de transición en función de estos factores.

Longitud de la curva de transición

La longitud de la curva de transición en ferrocarriles, también conocida como longitud de transición o longitud de cambio, es una medida crítica en el diseño ferroviario. La curva de transición es una sección de vía que suaviza la transición entre una sección recta y una curva, ya sea en la alineación horizontal (en planta) o en la alineación vertical (en alzado). La longitud de la curva de transición es esencial para garantizar una transición suave y segura para los trenes.

La longitud de la curva de transición en planta (para la alineación horizontal) está influenciada por factores como la velocidad del tren y el cambio de radio de la curva. Cuanto mayor sea la velocidad y mayor sea el cambio en el radio de la curva, se requerirá una longitud de transición más larga. La longitud de la transición se calcula utilizando fórmulas específicas basadas en estos factores.

En la alineación vertical (en alzado), la longitud de la curva de transición se refiere a la distancia a lo largo de la cual se realiza el cambio gradual de la pendiente. Al igual que en la alineación horizontal, la longitud de la transición en alzado está influenciada por factores como la velocidad del tren y el cambio en la pendiente.

La longitud de la curva de transición no tiene un valor estándar fijo y puede variar según las normativas ferroviarias específicas de cada país o región. Los ingenieros de ferrocarriles utilizan fórmulas y criterios de diseño específicos para calcular la longitud adecuada en función de los parámetros de diseño y las condiciones operativas. La meta es asegurar que los cambios de dirección o pendiente se realicen de manera gradual para minimizar las fuerzas laterales o verticales sobre los trenes y mejorar la seguridad y comodidad de la operación ferroviaria. Cuando el vagón va circulando desde la curva circular a la recta este alabeo da lugar a una descarga de su rueda exterior delantera que puede producir un descarrilamiento. Para mantener las descargas en valores tolerables.

La “SNFCF” en sus siglas en francés Société Nationale Des Chemins De Fer Francais, limita el valor de la rampa de peralte en 1,5 mm/m en líneas principales.

Valor máximo de velocidad de elevación de la rueda exterior, al entrar el ferro motor en la curva de transición, el movimiento producido por la pendiente de elevación en el carril exterior causa un descenso de la velocidad y el confort, haciendo necesario calcular la reducción y la longitud del tramo” Oliveros (1980)

Ecuación 7. Ecuación de la longitud de desarrollo.

$$L = 10 * V * h$$

Donde:

L: es la longitud de desarrollo

V: velocidad de vehiculo

H: es el peralte de la curva circular

Alineación en alzado

Se refiere a la disposición vertical de las vías férreas en relación con la superficie del terreno. Es un componente crucial del diseño ferroviario y tiene un impacto significativo en la seguridad, la eficiencia operativa y la comodidad de los viajeros. La alineación en alzado aborda la elevación y las pendientes de la vía a lo largo de su longitud. Se planifica cuidadosamente para proporcionar una operación segura y eficiente. Los ingenieros ferroviarios consideran la topografía del terreno, la velocidad de operación, las cargas de los trenes y otros factores para

determinar la elevación y las pendientes óptimas en cada tramo de la vía. Un diseño adecuado contribuye a la seguridad y comodidad del servicio ferroviario.

Curvas de acuerdo

Estas curvas con las generadas por una unión entre dos rasantes de diferente nivel, se refieren a la geometría de las vías férreas que están diseñadas para permitir que los trenes se desplacen de manera segura y eficiente a lo largo de curvas. Estas curvas deben cumplir con ciertos estándares y criterios para garantizar la seguridad y la comodidad de la operación ferroviaria. Esta unión es favorable de acuerdo con el tipo de acuerdo que se tenga según sea la necesidad del tramo: acuerdo convexo: que inicia con una rampa y aborda la parábola y baja por la pendiente, siendo esta la más incómoda para el confort. La segunda la curva de acuerdo cóncavo: que inicia con una pendiente en la que aumenta la aceleración del vehículo y sube por la rampa hasta llegar al nivel de rasante continuo. A Continuación se presenta la fórmula mediante la cual se puede encontrar el valor adecuado para estos acuerdos:

Ecuación 8. Ecuación del radio de curvatura.

$$Rv = \frac{V^2}{4},$$

Donde:

R: Es el radio de curvatura en la curva vertical

V: es la velocidad expresada en km/h

Entrevías

Es una distancia indispensable para garantizar la operación correcta en los trenes, debido a que esta distancia asegura la seguridad en el desplazamiento de cada vagón, evitando así que ocurra un choque al encontrarse en dos trenes en el mismo kilómetro en diferentes sentidos de la misma vía.

Vía Recta

La vía recta habla del trazado más cómodo para un diseño, apreciado desde la perspectiva de planta. Este tipo de trazado recto es acorde a los tramos de gran longitud y menos requerimiento de servicios, mientras que entre mayor demanda se obtenga este ancho aumenta según el tipo de necesidad, ya sea hablando de estaciones, fábricas, o espacios protegidos.

En una alineación recta, la entrevía mínima adoptada por RENFE es de 3800 mm, hablando de un carril de 45 kg/m y de 3808 mm con carril de 54 kg/m. Por otro lado vemos los ferrocarriles británicos es de 3404 mm.

Vía en curva

Es una sección de la vía férrea que tiene una curvatura, es decir, la vía no sigue una línea recta sino que se tuerce o curva en una dirección específica. Las curvas en las vías férreas son comunes y se utilizan para adaptarse a la topografía del terreno, evitar obstáculos, o simplemente para cambiar la dirección de la vía de manera gradual. En la curva se debe hacer una disminución de entrevía efectiva.

La longitud de separación entre los trenes se obtiene mediante la ecuación de sobreancho desde el centro del vehículo de la siguiente manera:

Ecuación 9. Ecuación de sobreancho.

$$AP = BQ = \frac{L^2 - C^2}{8 \cdot R},$$

Donde:

L: Es la longitud del tren en su totalidad

C: La distancia entre pivotes, centros de giro entre ejes

R: Radio de curva

Efecto debido al peralte

El efecto que produce el prelate es la inclinación lograda en la longitud del tren al entrar en curva y al inicio del peralte, dicha inclinación es la interior de la curva, para esto debemos considerar un sobre ancho el cual su valor se puede encontrar por medio de la ecuación a continuación:

Ecuación 10. Ecuación de inclinación en la longitud del tren.

$$i = \frac{H \cdot h}{S}$$

Ecuación de inclinación en la longitud del tren

Donde

H: es la altura del vagón (desde el riel hasta su punto más alto)

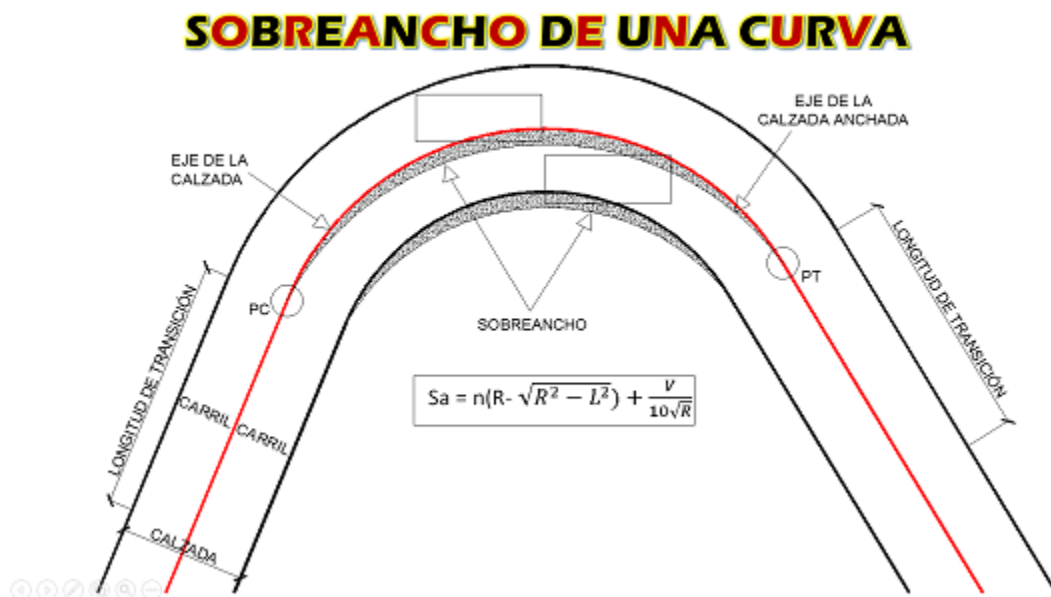
h: peralte obtenido en la curva

S: es el ancho de la vía

Aquí también hay un efecto de elasticidad transversal en los vagones una vez el tren entra a curva el perfecto apreciable en la sección transversal hace considerar una cuantificación por efectos de trenes basculantes y pendulares. Según Fernando Oliveros, nos dice que el valor correspondiente al aumento de entrevía se puede tomar como el 25% del obtenido por causa del peralte.

Sobreancho de la vía en curva

Figura 17. Sobreancho de una vía.



Sobreancho de la curva en una vía. Tomado de:

<https://nilangelica.blogspot.com/2019/10/semana-4.html>

Radio mínimos

Los radio mínimos de curvatura horizontal son los menores radio que pueden recorrer con la velocidad de diseño y la tasa máxima de peralte, en condiciones aceptables de seguridad y comodidad, para cuyo cálculo puede utilizarse la siguiente fórmula:

Ecuación 11. Ecuación de radio mínimos.

Figura 18. Fórmula de radio mínimos.

$$R_{mín} = V^2 / 127(P_{máx} + f_{máx}.)$$

Dónde:

$R_{mín}$: Radio Mínimo

V : Velocidad de diseño

$P_{máx}$: Peralte máximo asociado a V (en tanto por uno).

$f_{máx}$: Coeficiente de fricción transversal máximo asociado a V . **Ecuación 11**

Fórmula para obtener los radio mínimos. Tomado de:

<https://www.trenvista.net/a-fondo/caracteristicas-de-una-lineas-de-alta-velocidad/#:~:text=En%20una%20l%C3%ADnea%20convencional%2C%20el,que%20sea%20de%2061.250%20m.>

Figura 19. Puntos principales de un arco de circunferencia.

PAÍS	Grandes líneas	Radio Mínimo
Ferrocarriles Federales Austriacos (OBB)	270 m	100 m
Sociedad Nacional de los Ferrocarriles Belgas (SNCB)	1000 m	340 m
Ferrocarriles Estatales Finlandeses (VR)	200 m	200 m
Ferrocarriles Federales Alemanes (DB)	180 m	100 m
Red Nacional de Ferrocarriles Españoles (RENFE)	300 m	100 m
Empresa Estatal de Transporte Ferroviario de Rusia (RDZ)	650 m	350 m
Ferrocarriles Nacionales Japoneses	775 m	300 m

Puntos principales de un arco de circunferencia.

Categorización de la vía

La categorización de la vía férrea es un proceso que se utiliza para clasificar las vías férreas según su importancia y funcionalidad. En Colombia, este proceso está regulado por el Ministerio de Transporte. (Wichmann, 2021)

La categorización de la vía férrea se basa en los siguientes factores:

- Tráfico: El tráfico es el número de trenes que utilizan una vía en un período de tiempo determinado.
- Longitud: La longitud es la distancia entre los extremos de una vía.

- Carga: La carga es el peso máximo que puede soportar una vía.
- Velocidad: La velocidad es la velocidad máxima a la que pueden circular los trenes por una vía.

Nivelación longitudinal

Es un perfil vertical, obtenido después de una medición y un levantamiento de elevaciones por medio de media aritmética, a lo largo de la abscisa de la vía.

Nivelación transversal

Hace referencia a la pendiente lateral de la vía férrea, es decir, la inclinación de la vía hacia un lado u otro. Esta inclinación se establece para facilitar el drenaje del agua de lluvia y prevenir la acumulación de agua en la vía.

Radio de la Vía (o Curvatura):

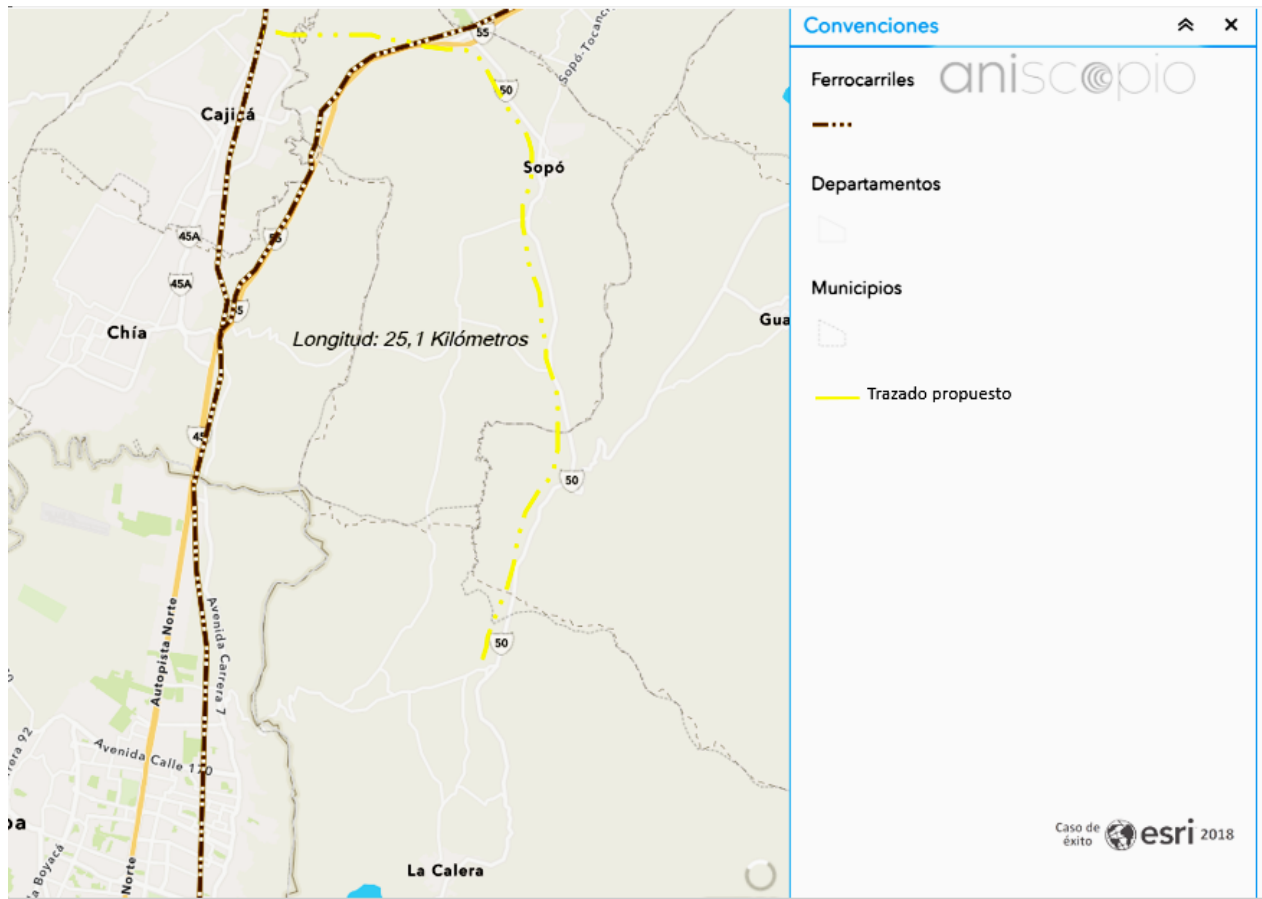
- El radio de la vía se refiere al radio de la curva ferroviaria. Es la distancia desde el punto central de la curva hasta el eje de la vía. En otras palabras, es la medida del arco de la curva ferroviaria. El radio de la vía se expresa comúnmente en metros o pies, dependiendo del sistema de unidades utilizado.
- Un radio más pequeño indica una curva más cerrada, lo que significa que los trenes que circulan por esa vía necesitan maniobrar con mayor agilidad. Por otro

lado, un radio más grande corresponde a una curva más suave, lo que facilita el movimiento de los trenes.

Flecha de la Vía:

- La flecha de la vía es la distancia vertical entre la altura de la vía en el centro de la curva y la altura de la vía en el borde exterior de la curva. En otras palabras, es la altura máxima del riel en el centro de la curva con respecto al riel exterior. También se puede expresar como la mitad de la diferencia de alturas entre el riel exterior y el riel interior de la curva.
- La flecha es crítica para garantizar que los trenes puedan atravesar las curvas sin problemas. Demasiada flecha puede resultar en fuerzas laterales excesivas en los vehículos, mientras que muy poca puede afectar la estabilidad del tren.

Figura 20. Trazado propuesto frente a los ferrocarriles existentes.



Trazado propuesto Fuente propia

Ancho de vía

El ancho de vía se determina en función de una serie de factores, incluyendo:

- El tipo de tren que se espera que circule por la vía.
- La velocidad a la que se espera que circulen los trenes.
- La capacidad de carga de la vía.

- Las condiciones climáticas locales.
- El ancho de vía es un aspecto importante de la seguridad ferroviaria. Un ancho de vía inadecuado puede provocar descarrilamientos.

Alineación

Se refiere a la disposición recta y continua de las vías a lo largo de una sección de la infraestructura ferroviaria. En otras palabras, se trata de la orientación lineal y la dirección de las vías ferroviarias. Una buena alineación es esencial para garantizar la seguridad, eficiencia y comodidad en la operación de trenes. La alineación teórica de la vía viene determinada por la proyección horizontal del hilo conductor definido por el proyecto o por el replanteo. Llevando una trocha a un lado de dicha proyección se obtiene la alineación teórica del otro hilo.

Parámetros geométricos de una vía férrea

Para ser utilizada una vía férrea como camino de rodadura del material rodante ferroviario se debe expresar mediante el índice “Q”, dicho índice es calculado según los defectos ya existentes en los diferentes parámetros que nos ayudan a determinar las características de la vía férrea.

El índice de calidad en función de parámetros de la vía férrea se define por la siguiente ecuación:

Ecuación 12. Ecuación del índice de calidad

$$Q = K * \Sigma(K_i * S_i)$$

Donde:

K: coeficiente general por carga

Ki: Valor del peso otorgado a cada parámetro Pi para la obtención del índice de calidad Q

Si: Calificación del parámetro Pi, el cual a su vez tiene como expresión general:

Ecuación 13. Ecuación del Parámetro Pi.

$$P_i = (e \Sigma a_{ij}) / L$$

Donde:

Pi: es el parámetro geométrico de la vía, “i” se considera como un subíndice fijo y “j” es un subíndice variable, dentro del tramo considerado.

Aij: son las amplitudes, en octavos de milímetro, de los defectos del parámetro Pi, en el tramo considerado

e: es el coeficiente unitario, el cual por lo general se toma en 10, y se denomina también como longitud unitaria

L: es la longitud del tramo considerado siempre expresada en metros

Nivelación longitudinal

Parámetro que define la cota de la superficie de rodadura de un hilo de la vía, referida a un plano de comparación.

Nivelación transversal o peralte

Es la diferencia de cota existente entre las superficies de rodadura de los dos rieles de una vía en una sección normal al eje de ésta.

Figura 21. Tolerancias previstas para cada una de las operaciones de primera nivelación

TRABAJO	PARÁMETRO	TOLERANCIAS	
		DIFERENCIAS (mm)	VARIACIONES CADA 5 m (mm)
Primer levante de las nivelaciones previas	Alineación (ubicación respecto a proyecto)	±30 mm	10
	Nivelación longitudinal Cota teórica	+ 20 -30	10
	Peralte provisional	±10	6
	Trocha de vía cada 5 durmientes (tener en cuenta sobreancho en curvas)	-3 +5	-
Primera nivelación	Alineación (flechado con cuerda de 20 m cada 5 m)	En recta (o curva $r > 1500m$) ±4 En curva ($r < 1500m$) ±5	2 3
	Alineación por distancia lateral y piquetes de marcaje	±20	-
	Nivelación longitudinal (cota teórica)	0 -40	6
	Peralte provisional cada 5 m	±5	5
	Trocha de vía cada 5 durmientes (tener en cuenta sobreancho en curva)	-3 +5	2
Después de estabilización dinámica tras primera nivelación	Alineación (ubicación respecto a proyecto)	±12	5
	Nivelación longitudinal Cota teórica	+3 -10	5
	Peralte provisional	±8	5
	Trocha de vía cada 5 durmientes (tener en cuenta sobreancho en curva)	-3 +5	2

Figura 21 Tolerancias previstas para cada una de las operaciones de primera nivelación.

Ministerio de transporte (2013)

Ancho de vía

El ancho de vía es importante para el diseño y el funcionamiento de los ferrocarriles. Así, determina el tipo de tren que puede circular por la vía, la velocidad y el confort de los pasajeros.

Hay una variedad de anchos de vía diferentes en todo el mundo. Los anchos de vía más comunes son:

- Ancho internacional: 1435 mm (4 pies 8½ pulgadas). Es el ancho de vía más común en el mundo. Se utiliza en la mayoría de los países europeos, en América del Norte, en Australia y en algunas partes de Asia.
- Ancho ibérico: 1668 mm (5 pies 5¼ pulgadas). Se utiliza en España, Portugal y algunas partes de Francia.
- Ancho estándar: 1524 mm (5 pies). Se utiliza en algunas partes de los Estados Unidos, Canadá y Australia.
- Ancho estrecho: 1000 mm (3 pies 3¾ pulgadas). Se utiliza en algunas líneas de cercanías y en sistemas de transporte urbano.

El ancho de vía también puede variar según el tipo de tren. Por ejemplo, los trenes de alta velocidad suelen utilizar un ancho de vía más ancho que los trenes de carga.

Alabeo

Teniendo en cuenta las cuatro ruedas de un vagón o de un bogie de dos ejes, el alabeo de la vía en una sección transversal se describe como la distancia entre el punto de apoyo teórico de una de las ruedas y el plano formado por los puntos de apoyo reales de las otras tres ruedas, cuando el eje delantero se encuentra en dicha sección transversal. La definición del alabeo, en esta formulación, está vinculada a la separación entre los ejes de las ruedas delanteras y traseras que se emplea para su determinación (base de medida). Con el fin de hacer comparables las mediciones realizadas con diversas bases, se realiza una división de la distancia entre el punto teórico de apoyo de la cuarta rueda y el plano definido por los puntos reales de apoyo de las otras tres ruedas por la longitud de la base, expresando así el alabeo en milímetros por metro. Es importante señalar que, teóricamente, el alabeo solo debería estar presente en las curvas de transición. El alabeo, teóricamente, sólo debe existir en las curvas de transición.

Parámetros y defectos en componentes de vía

Los defectos en una vía ferroviaria pueden tener diversos impactos en la seguridad, la eficiencia y la integridad estructural de la infraestructura ferroviaria. Aquí hay algunos de los defectos comunes que pueden afectar a las vías ferroviarias:

Desgaste del Riel:

El desgaste es un problema común en las vías ferroviarias, especialmente en las curvas y en las secciones donde los trenes frenan o aceleran. El desgaste excesivo puede reducir la vida útil del riel y afectar la calidad del viaje. (Carbajal, 2022)

Deformación del Riel:

La deformación, que incluye fenómenos como el pandeo y el aplastamiento, puede ocurrir debido a las cargas repetidas de los trenes. Esto puede llevar a cambios en la geometría de la vía y afectar la estabilidad de los trenes. (Paixão, n.d.)

Separación de Carriles:

La separación entre los carriles puede ocurrir debido a la expansión y contracción térmica, así como a otros factores. Esto puede afectar la alineación de la vía y la seguridad operativa.

Fisuras y Grietas:

Las fisuras y grietas en los rieles pueden desarrollarse debido a tensiones repetidas y variaciones en las condiciones climáticas. Estos defectos pueden debilitar la integridad estructural de la vía. (*PERALTE, ALABEO Y ESTABILIDAD DE TRAVIESAS*, n.d.)

Aflojamiento de Fijaciones:

Las fijaciones, que mantienen los rieles en su lugar, pueden aflojarse con el tiempo debido a vibraciones, cargas cíclicas y condiciones climáticas. Esto puede afectar la estabilidad de la vía.

Problemas en las Uniones de Rieles:

Las uniones de rieles son áreas críticas donde los rieles se unen. Defectos en estas uniones, como desgaste o fisuras, pueden afectar la integridad estructural y generar vibraciones no deseadas.

Problemas en la Subestructura:

La subestructura, que incluye la base de la vía y la capa de balasto, puede experimentar problemas como hundimientos, asentamientos o erosión, lo que afecta la estabilidad de la vía.

Obstrucciones en la Vía:

Objetos extraños o escombros en la vía pueden representar un peligro para la operación segura de los trenes. (Paixão, n.d.)

Defecto del carril

Se refiere a cualquier anomalía, irregularidad o daño en los rieles que puede comprometer la seguridad, la integridad estructural o la eficiencia operativa de la vía férrea. Estos defectos pueden surgir debido a diversos factores, como el desgaste normal, las condiciones climáticas, el tráfico frecuente de trenes, la falta de mantenimiento o incluso problemas en el proceso de fabricación de los rieles. La detección temprana y la corrección de estos defectos son críticas para prevenir accidentes y garantizar la operación segura del ferrocarril. Algunos ejemplos comunes de defectos de carril incluyen:

- **Fisuras y Grietas:** Son fracturas en la superficie del riel que pueden ser causadas por tensiones repetidas, variaciones en las condiciones climáticas o defectos en el material. Estas fisuras pueden debilitar el riel con el tiempo.
- **Desgaste Irregular:** A medida que los trenes pasan sobre los rieles, se produce un desgaste natural. Sin embargo, un desgaste irregular puede ocurrir debido a un mantenimiento deficiente, mal diseño de la vía o problemas en el perfil del riel.

- **Desalineación de Rieles:** La desalineación se refiere a la falta de coincidencia entre los rieles en términos de altura, posición lateral o inclinación transversal. Puede deberse a problemas en la fijación de los rieles, hundimientos en la subestructura o variaciones en la temperatura.
- **Pandeo del Riel:** El pandeo es una deformación lateral del riel que puede ocurrir debido a cargas cíclicas, como las generadas por el paso de trenes. Puede afectar la geometría de la vía y la estabilidad del tren.
- **Problemas en las Uniones de Rieles:** Las uniones de rieles, donde se conectan dos secciones de rieles, pueden experimentar defectos como desgaste excesivo, fisuras o separación, afectando la integridad estructural de la vía.
- **Rotura de Riel:** La rotura de riel implica la fractura completa de una sección del riel. Esto puede ser extremadamente peligroso y puede ocurrir debido a defectos en el material, tensiones excesivas o problemas en el proceso de fabricación.

Defectos de durmiente

Es cualquier irregularidad o daño que afecta a los durmientes o traviesas, que son las estructuras horizontales que sostienen y fijan los rieles en su lugar. Los durmientes desempeñan un papel crucial en la estabilidad y seguridad de la vía férrea, ya que distribuyen las cargas generadas por el paso de los trenes y proporcionan una base para los rieles. Los defectos en los durmientes pueden surgir debido a diversos factores y pueden afectar la integridad de la vía y la operación segura de los trenes. Algunos ejemplos comunes de defectos de durmiente incluyen:

- **Durmientes Rotos o Agrietados:** Las fracturas o grietas en los durmientes pueden debilitar su estructura y afectar su capacidad para soportar las cargas dinámicas de los trenes.
- **Podredumbre o Deterioro:** Los durmientes de madera pueden estar sujetos a procesos de podredumbre o deterioro debido a condiciones climáticas adversas, insectos u hongos. Este deterioro puede comprometer la resistencia del durmiente
- **Desalineación de Dientes (Fijaciones):** Las fijaciones o dientes que sujetan los rieles a los durmientes pueden experimentar desalineación, lo que afecta la estabilidad de los rieles.
- **Desplazamiento Lateral o Longitudinal:** Los durmientes pueden desplazarse lateral o longitudinalmente debido a cargas no distribuidas uniformemente o a cambios en la subestructura de la vía.
- **Hundimientos o Asentamientos:** Los durmientes pueden experimentar hundimientos o asentamientos debido a problemas en la subestructura o al uso prolongado. Esto puede afectar la geometría de la vía y la comodidad del viaje.
- **Problemas en las Placas de Asiento:** Las placas de asiento, que proporcionan un punto de apoyo para los rieles en la parte superior de los durmientes, pueden experimentar desgaste o daño, afectando la estabilidad de los rieles.

Defectos de fijación

En ferrocarriles se refiere a cualquier irregularidad, daño o mal funcionamiento en los dispositivos de fijación que aseguran los rieles a los durmientes (traviesas) y, por ende, a la

infraestructura ferroviaria. Las fijaciones son componentes cruciales en la vía férrea porque mantienen los rieles en su posición y contribuyen a la estabilidad de la vía y la seguridad de la operación ferroviaria. Los defectos en las fijaciones pueden tener consecuencias significativas para la seguridad y la integridad de la vía férrea.

Categoría de los defectos y modo de actuación

El tratamiento de defectos en vías ferroviarias es esencial para garantizar la seguridad, eficiencia y fiabilidad del sistema ferroviario. Aquí hay un modo general de actuar frente a los defectos en vías ferroviarias:

1. **Inspección Regular:** Llevar a cabo inspecciones regulares de la infraestructura ferroviaria es fundamental para identificar defectos de manera temprana. Las inspecciones pueden realizarse visualmente, mediante inspecciones manuales o con el uso de tecnologías avanzadas como ultrasonido y monitoreo remoto.
2. **Detección de Defectos:** Utilizar tecnologías de detección de defectos, como vehículos de inspección ferroviaria equipados con sensores especializados. Estos vehículos pueden identificar defectos en rieles, fijaciones, durmientes y otros componentes de la vía.
3. **Mantenimiento Preventivo:** Implementar programas de mantenimiento preventivo para abordar defectos antes de que se conviertan en problemas graves. Esto puede incluir la reparación o reemplazo regular de componentes desgastados o defectuosos.
4. **Priorización de Reparaciones:** Clasificar y priorizar los defectos según su gravedad y su impacto en la operación ferroviaria. Los defectos críticos que afectan la seguridad deben

abordarse de inmediato, mientras que los menos urgentes pueden programarse para reparación durante mantenimientos programados.

5. Reparación o Reemplazo: Dependiendo de la naturaleza del defecto, se puede realizar la reparación in situ o el reemplazo del componente afectado. Esto puede incluir la soldadura de rieles, la sustitución de fijaciones, la reparación de durmientes o la corrección de problemas en la subestructura.
6. Actualización y Mejoras: Considerar la posibilidad de realizar mejoras en la infraestructura ferroviaria para abordar no solo defectos actuales sino también para prevenir problemas futuros. Esto puede incluir la adopción de tecnologías más avanzadas, la optimización de la alineación de la vía, y la mejora de la resistencia y durabilidad de los componentes.
7. Monitoreo Continuo: Implementar sistemas de monitoreo continuo para evaluar el estado de la infraestructura ferroviaria a lo largo del tiempo. Los avances en tecnologías de monitoreo pueden proporcionar datos en tiempo real sobre el desgaste y el rendimiento de la vía.
8. Cumplimiento con Estándares: Asegurar que todas las reparaciones y mejoras cumplan con los estándares de seguridad y calidad establecidos por las autoridades ferroviarias y reguladores.

La acción rápida y proactiva ante los defectos en vías ferroviarias es esencial para prevenir accidentes, mantener la eficiencia operativa y garantizar la seguridad de pasajeros y carga. La implementación de un enfoque sistemático de mantenimiento y la inversión en

tecnologías de monitoreo pueden contribuir significativamente a la gestión eficaz de los defectos en las vías ferroviarias.

Parámetros para tener en cuenta en un trazado preliminar al diseño geométrico

El trazado preliminar en el diseño geométrico de una vía ferroviaria es una etapa crucial que establece las bases para el diseño detallado. Aquí hay algunos parámetros importantes que deben tenerse en cuenta durante el trazado preliminar:

1. Estudio Topográfico: Realizar un estudio topográfico detallado del terreno para comprender la topografía, las pendientes y otros aspectos geográficos que puedan afectar el diseño. (Carbajal, 2022)
2. Curvas Horizontales: Determinar la ubicación y el radio de las curvas horizontales. Considerar la velocidad de diseño, la visibilidad y los requisitos de maniobrabilidad de los trenes.
3. Curvas Verticales: Establecer las curvas verticales para garantizar una transición suave entre diferentes pendientes. Considerar la longitud de las transiciones y la visibilidad del maquinista.
4. Perfil Longitudinal: Desarrollar el perfil longitudinal de la vía, teniendo en cuenta las variaciones en la altitud, las pendientes y las curvas verticales.
5. Ancho de la vía: Determinar el ancho de la vía, que puede variar según los estándares locales o internacionales. El ancho de vía estándar internacional es de 1,435 mm.

6. Separación de Vías: Establecer la distancia entre vías paralelas (distancia entre ejes) para permitir la operación de trenes múltiples y proporcionar espacio para la electrificación si es necesario.
7. Radios de Transición: Definir radios de transición para asegurar una transición suave entre tramos rectos y curvas, tanto horizontal como verticalmente.
8. Super elevación (Peralte): Determinar la super elevación necesaria en las curvas para contrarrestar las fuerzas centrífugas y mejorar la estabilidad de los trenes.
9. Distancia de Visibilidad: Evaluar y garantizar distancias de visibilidad adecuadas para permitir una respuesta segura a situaciones inesperadas.
10. Estudio de Cargas: Analizar las cargas previstas, considerando el tipo de trenes y las cargas de diseño, para dimensionar adecuadamente la infraestructura.
11. Estudio Geotécnico: Realizar un estudio geotécnico para evaluar la capacidad del suelo y tomar decisiones fundamentadas sobre la fundación de la vía y la estabilidad del terreno.
12. Accesibilidad y Condiciones Medioambientales: Evaluar la accesibilidad al sitio de construcción y considerar las condiciones ambientales, como la presencia de cuerpos de agua, áreas sensibles desde el punto de vista ambiental, entre otros.
13. Impacto Social y Ambiental: Evaluar los posibles impactos sociales y ambientales del trazado, considerando aspectos como desplazamientos de población, impactos en la flora y fauna, y el uso del suelo.
14. Normativas y Regulaciones: Familiarizarse y cumplir con las normativas y regulaciones locales e internacionales aplicables al diseño ferroviario.

Estos parámetros son esenciales para el trazado preliminar y sientan las bases para el diseño geométrico detallado de la vía ferroviaria. La colaboración entre ingenieros civiles, topógrafos, geotécnicos y especialistas en transporte es fundamental para abordar todos estos aspectos de manera integral. (Carbajal, 2022)

Consideraciones ambientales dentro de las vías férreas

Las consideraciones ambientales en los ferrocarriles son esenciales para reducir el impacto ambiental de la infraestructura ferroviaria y promover la sostenibilidad. Algunas consideraciones ambientales generales incluyen:

1. Hábitats naturales y biodiversidad:

- Conservación del paisaje: se deben tomar medidas para proteger los hábitats naturales en las áreas que rodean las vías del tren y minimizar la interferencia con la vida silvestre.
- Cruces salvajes: Reducir el riesgo de colisiones instalando cruces salvajes y puentes que permitan a los animales cruzar de forma segura.

2. Administración del Agua:

- Control de escurrimiento: Implementar medidas para controlar el escurrimiento y evitar la contaminación de las aguas cercanas.
- Puentes Ecológicos: Utilizar puentes ecológicos para que no se interrumpa el flujo de los cuerpos de agua.

3. Gestión de residuos y contaminación: Gestión de Residuos:

- Implementar prácticas apropiadas de gestión de residuos para reducir la generación de residuos y asegurar su adecuada eliminación.
- Prevención de la contaminación del suelo y del agua: Utilizar medidas para prevenir la contaminación del suelo y del agua por productos químicos o residuos.

4. Salida y potencia de salida:

- Tecnologías de eficiencia eficiente: Desarrollar tecnologías eficientes y altamente eficientes para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes atmosféricos.
- Consideraciones de infraestructura: Diseñar y mantener la infraestructura ferroviaria de una manera que maximice la eficiencia energética y minimice el consumo de recursos.

5. Control de ruido:

- Barreras de sonido: Se utilizan barreras de sonido y técnicas de diseño para reducir la propagación del ruido causado por el tráfico de trenes y reducir el impacto en las comunidades circundantes.

6. Paisaje e instalación visual:

- Paisajismo: Integrar el ferrocarril en el entorno a través del diseño paisajístico y urbano para reducir el impacto visual y mejorar la estética.

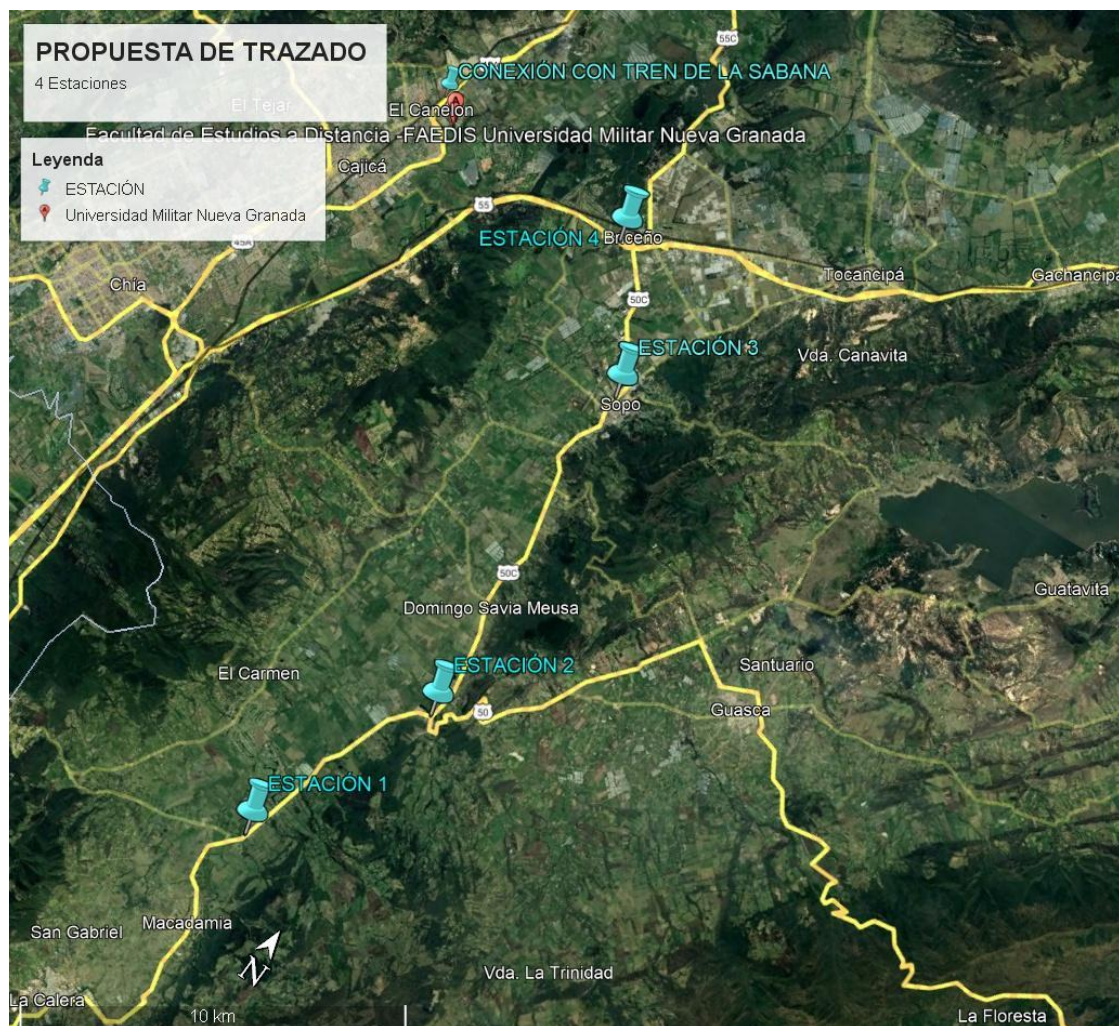
7. Aplicación de la legislación ambiental:

- Cumplir con todas las leyes y regulaciones ambientales aplicables, obtener los permisos necesarios y realizar evaluaciones de impacto ambiental cuando sea necesario.

El uso de estas consideraciones ambientales en el diseño, la construcción y las operaciones ferroviarias contribuye a la sostenibilidad a largo plazo del sistema ferroviario y ayuda a proteger el ecosistema circundante.

Propuesta

Figura 22. Propuesta del trazado



Propuesta del trazado identificando las estaciones posibles entre punto de inicio y punto final. Fuente propia adaptada desde Google Earth.

Parada 1: Punto de inicial

Ubicado en La Calera Cundinamarca más exactamente en la vereda San Cayetano a la altura del CCO de La Perimetral Oriental de Bogotá. Se toma este como punto de partida ya que favorece

la pendiente máx del trazado y está a menos de 9 km de la cabecera municipal . En un inicio se pensó que la primer estación se ubicará en el casco urbano de La Calera, pero por la topografía del municipio no fue posible ya que excede las pendientes máximas para un ferrocarril como el que se está planteando.

Figura 23. Parada 1.



Parada 2:

Ubicada en la vereda El Salitre de Guasca sector “tres esquinas” a más o menos 6km de la parada anterior. Se tomó este punto como la segunda estación del trazado ya que allí convergen las vías que comunican a La Calera, Sopó y Guasca siendo este un lugar bastante transitado.

Figura 24. Parada 2



Parada 3:

Ubicada en el casco urbano del municipio de Sopó, se espera que esta sea una de las estaciones más concurridas debido a la población del municipio que se desplaza hacia la ciudad a través de la Autopista Norte y a quienes van desde La Calera o Guasca hacia Sopó.

Figura 25. Parada 3



Parada 4:

La última parada antes de la conexión con el tren de La Sabana, ubicada en Sopó sector Briceño responde a la demanda de desplazamiento del Altiplano Cundiboyacense, es decir, quienes vienen por la vía Tunja Bogotá pueden acceder a la red ferroviaria sin necesidad de ir hasta Zipaquirá

Figura 26. Parada 4



Parada 5: Punto final, unión con tren de La Sabana

En este punto se espera se logre conectar la vía férrea que viene desde La Calera con el Tren de La Sabana en la Estación Ferroviaria del Campus Nueva Granada (km 2 de la vía Cajicá-Zipacquirá). Uniendo así dos rutas férreas y facilitando en tránsito y movilidad de las personas del sector nororiental de Bogotá.

Figura 27. Parada 5.



Para el proyecto se propone usar trocha estándar debido a sus múltiples beneficios.

Figura 28. Locomotora



En la figura 28 podemos observar la locomotora propuesta por Regiotram del Norte con el fin de ilustrar las usadas actualmente. Tomado de

<https://www.rcnradio.com/bogota/tren-que-conectara-a-bogota-y-cundinamarca-en-pocos-minutos-es-una-realidad>

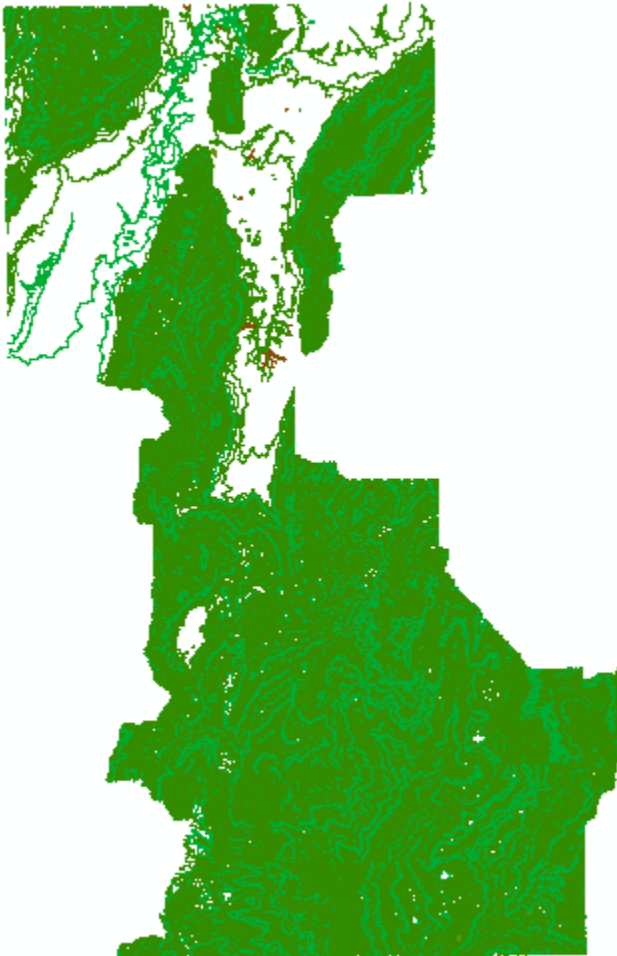
Figura 29. Relieve del trazado propuesto.



Relieve del trazo propuesto. Fuente propia adaptada mediante google maps.

Representación el trazado del esquema de propuesta del corredor

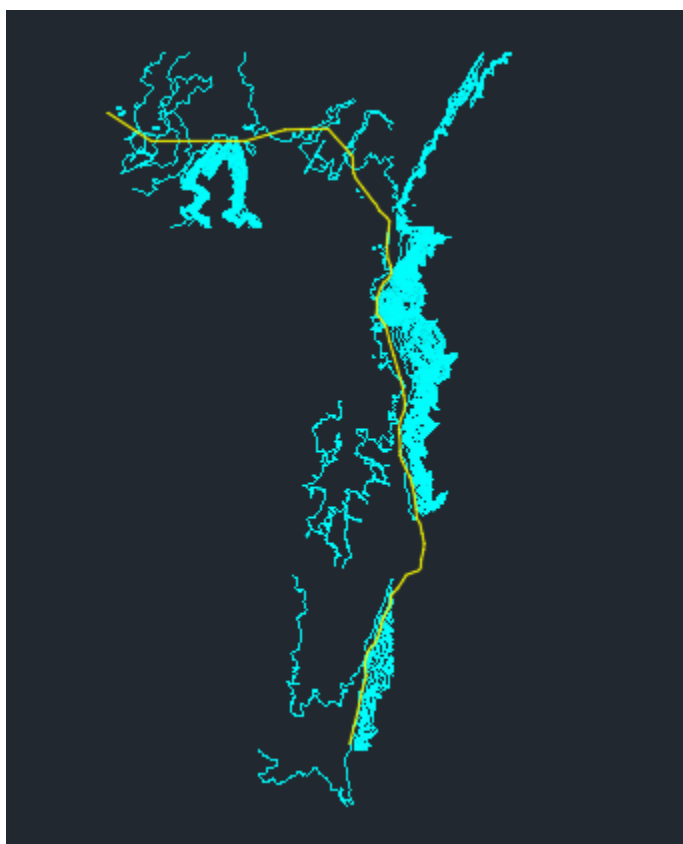
Figura 30. Curvas de nivel desde ArcMap.



Curvas de Nivel en ArcMap georeferenciado a la localización de los municipios involucrados. Fuente propia adaptada mediante ArcMap.

Anexo 1. ArcMap: En el Software de ArcMap se procedió en primer lugar a descargar las planchas de la plataforma de datos abiertos IGAC con el fin de unir las para identificar las curvas de nivel necesarias para completar el trazado de nuestra línea férrea. Luego de esto se puede exportar a un archivo de Autodesk Civil 3D.

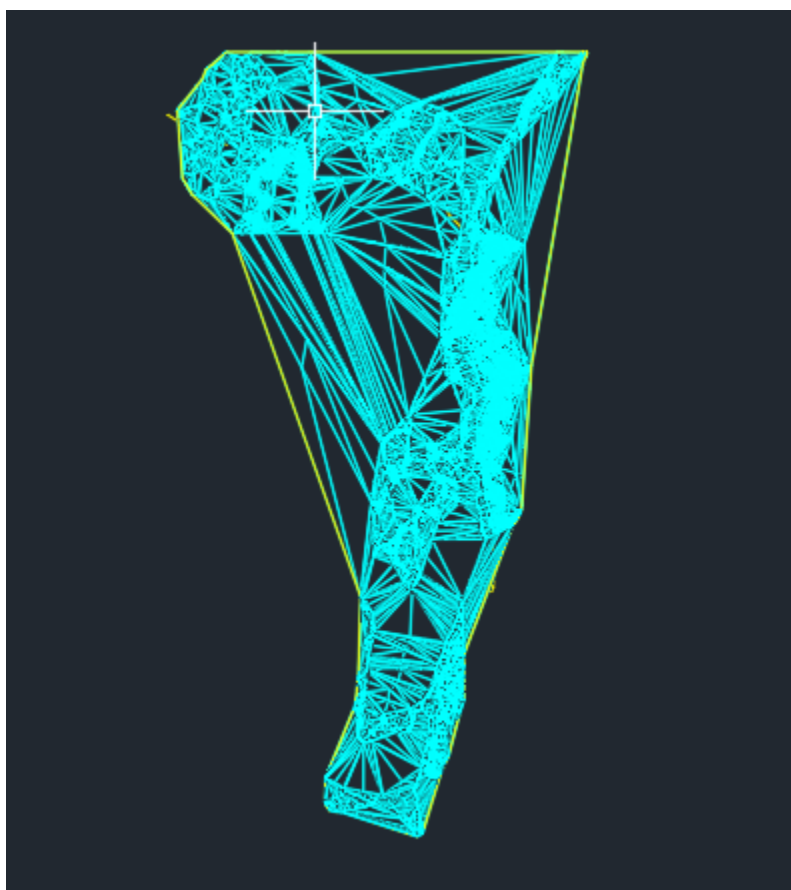
Figura 31. Curvas de nivel junto con trazado propuesto.



En la figura 31 se observa las curvas relevantes para el trazado y así mismo el eje de vía propuesto para el proyecto. Fuente propia adaptada desde Autodesk Civil 3D.

Anexo 2. Autodesk Civil 3D: En autodesk Civil 3D se procede a seleccionar las curvas de nivel por donde va a pasar el trazado de la línea férrea, luego de esto se debe crear la línea férrea con los puntos específicos de las estaciones mediante la herramienta de polilínea.

Figura 32. Superficie creada con las curvas de nivel.

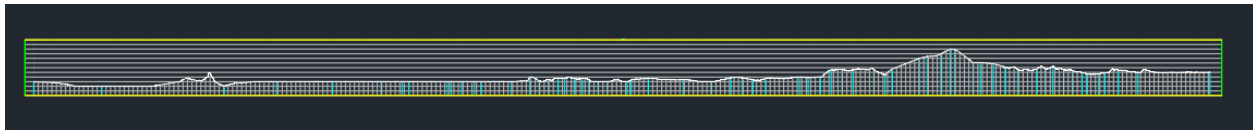


Superficie creada desde las curvas de nivel por las cuales atraviesa el trazado propuesto para el proyecto. Fuente propia adaptada desde Autodesk Civil 3D

Anexo 2. Autodesk Civil 3D: Se crea una superficie con la triangulación específica para que nos arroje el terreno en el cual se va a trabajar por completo.

Perfil obtenido

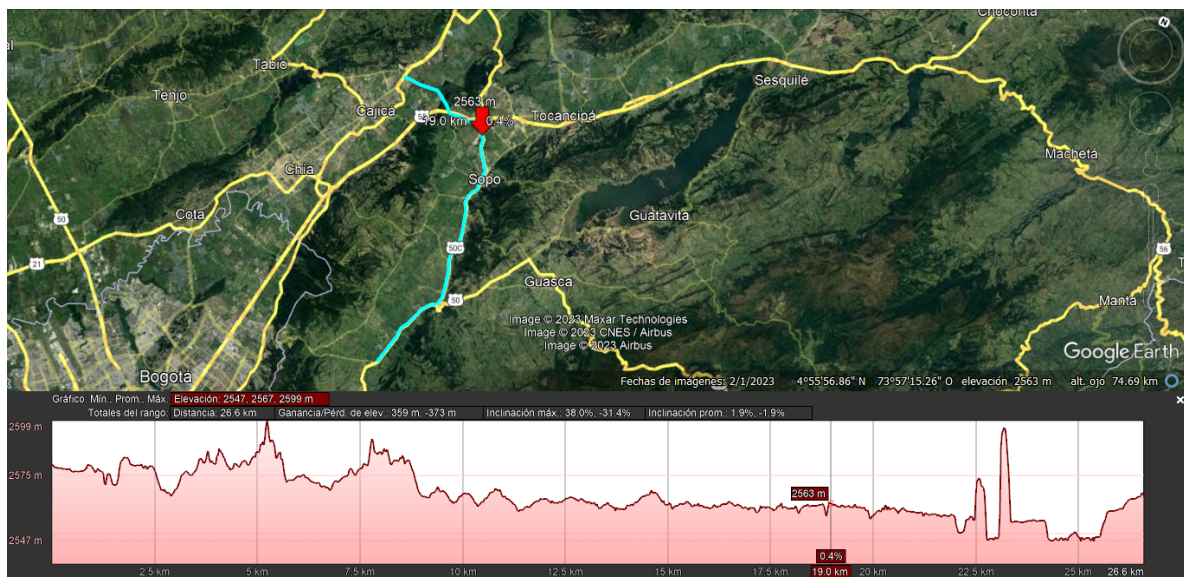
Figura 33. Perfil del trazado tomado de Autodesk Civil 3D.



En la figura 33 podemos observar el perfil del trazado realizado en Autodesk Civil 3D. Fuente propia adaptada desde Autodesk Civil 3D.

Anexo 2. Autodesk Civil 3D: Se crea un perfil después de crear una alineación de la polilínea anteriormente creada que representa nuestra línea férrea.

Figura 34. Perfil obtenido por el trazado.



En la figura 34 podemos ver el perfil del trazado propuesto. Fuente propia adaptada desde Google Earth.

Se utiliza este trazado con el fin de corroborar la información obtenida en el perfil de Autodesk Civil 3D. Se aprovecha la pendiente de la carretera y se realiza el trazado en un costado.

Figura 35. Tabla de abscisas y pendientes en cada tramo.

ABSCISA	DISTANCIA (m)	ALTURA (m)	PENDIENTE (%)
K0+,	0,00	2580	
K0+500,	500,00	2577	1%
K0+1,	1000,00	2578	0%
K0+1,5	1500,00	2572	1%
K0+2,	2000,00	2580	2%
K0+2,5	2500,00	2578	0%
K0+3,	3000,00	2569	2%
K0+3,5	3500,00	2578	2%
K0+4,	4000,00	2584	1%
K0+4,5	4500,00	2579	1%
K0+5,	5000,00	2585	1%
K0+5,5	5500,00	2584	0%
K0+6,	6000,00	2575	2%
K0+6,5	6500,00	2572	1%
K0+7,	7000,00	2573	0%
K0+7,5	7500,00	2578	1%
K0+8,	8000,00	2585	1%
K0+8,5	8500,00	2583	0%
K0+9,	9000,00	2567	3%
K0+9,5	9500,00	2568	0%
K0+10,	10000,00	2567	0%
K0+10,5	10500,00	2563	1%
K0+11,	11000,00	2566	1%
K0+11,5	11500,00	2561	1%
K0+12,	12000,00	2564	1%
K0+12,5	12500,00	2564	0%
K0+13,	13000,00	2564	0%
K0+13,5	13500,00	2563	0%
K0+14,	14000,00	2562	0%
K0+14,5	14500,00	2567	1%
K0+15,	15000,00	2562	1%
K0+15,5	15500,00	2563	0%
K0+16,	16000,00	2561	0%
K0+16,5	16500,00	2564	1%
K0+17,	17000,00	2561	1%
K0+17,5	17500,00	2561	0%
K0+18,	18000,00	2561	0%
K0+18,5	18500,00	2562	0%
K0+19,	19000,00	2563	0%
K0+19,5	19500,00	2557	1%
K0+20,	20000,00	2558	0%
K0+20,5	20500,00	2560	0%
K0+21,	21000,00	2560	0%
K0+21,5	21500,00	2558	0%
K0+22,	22000,00	2557	0%
K0+22,5	22500,00	2573	3%
K0+23,	23000,00	2548	5%
K0+23,5	23500,00	2596	10%
K0+24,	24000,00	2556	8%
K0+24,5	24500,00	2547	2%
K0+25,	25000,00	2549	0%
K0+25,5	25500,00	2549	0%
K0+26,	26000,00	2561	2%
K0+26,5	26500,00	2565	1%
% PROMEDIO			1%

En la figura 34 podemos ver la tabla realizada en excel cada 500 metros para obtener la pendiente promedio del trazado. Fuente propia adaptada desde Excel.

Anexo 3. Excel En excel se procede a descargar las pendientes por cada tramo y así definir la pendiente promedio del trazado

Aspectos claves en la viabilidad del trazado propuesto

La viabilidad de construir una vía férrea que conecte el municipio de La Calera con el Tren de la Sabana pasando por Sopó depende de varios factores, y es un proyecto que requiere un análisis detallado en diferentes áreas. Aquí algunos aspectos claves considerados y por considerar:

1. Estudio de Viabilidad Técnica:

La topografía de La Calera, Colombia, es caracterizada por su relieve montañoso y variado. La Calera se encuentra en la Cordillera Oriental de los Andes, una cadena montañosa que atraviesa Colombia. Sopó también se encuentra en una región montañosa, lo que implica la presencia de elevaciones y colinas que contribuyen a un paisaje escarpado. Pueden existir pendientes pronunciadas en ciertas áreas debido a la topografía quebrada de la zona. La pendiente promedio del trazado fue de un aproximado del 2%, pero a lo largo del trazado hay pendientes de entre 5 a 10% lo cual nos indica que se pueden presentar desafíos topográficos en el desarrollo del tramo generando costos adicionales y demoras en el tiempo de ejecución

2. Estudio de Impacto Ambiental:

La construcción de este corredor férreo puede generar una fragmentación de los hábitats naturales, dividiendo áreas que antes estaban conectadas, lo que dificulta el movimiento de la fauna y puede conducir a la pérdida de biodiversidad.

Por otro lado si se intervienen directamente el terreno con fines de nivelación y demás, esto puede derivar en la pérdida de pequeños cuerpos de agua y/o humedales. La eliminación de estos ecosistemas puede tener efectos negativos en la biodiversidad local y afectar la calidad del agua.

En cuanto al entorno, la operación de trenes puede generar ruido y vibraciones que afecten a la fauna local, y/o a los residentes de la zona. Esto puede generar patrones de comportamiento negativos, afectando la comunicación entre individuos y alterando la reproducción y la supervivencia de algunas especies y la tranquilidad de los habitantes del sector.

Es por esto que es recomendable llevar a cabo evaluaciones de impacto ambiental antes de la construcción de una vía férrea, implementar medidas de mitigación y adoptar prácticas de operación sostenibles. La planificación cuidadosa y la consideración de alternativas pueden ayudar a minimizar los efectos negativos en el medio ambiente local y así permitir el desarrollo del sector.

3. Participación Comunitaria y Consulta:

Esta viabilidad es netamente académica, por lo cual no se realizó ningún tipo de socialización y/o encuesta ante las comunidades que afecta el trazado férreo.

4. Conexión con la Infraestructura Existente:

La viabilidad de esta vía férrea se propuso con la intención de conectar a los municipios del nororiente de Bogotá con el tren de La Sabana para así, generar un sistema que responda a las

necesidades de la población y que aliviane los tiempos de desplazamiento entre el sector y la conectividad con la capital del país.

5. Demanda y Uso:

En promedio un día entre Bogotá y la Calera se hacen 17,666 viajes, lo que representa tan solo el 2% de los viajes intermunicipales en total entre Bogotá y los municipios que lo rodean, lo cual no es un valor representativo frente a la totalidad de viajes realizados.

Ventajas

Esta vía ferroviaria podría ofrecer una serie de beneficios, que incluyen:

- Mejorar la conectividad: la nueva vía proporciona un enlace directo entre La Calera y La Sabana Norte de Bogotá, lo que facilita el transporte de personas y mercancías entre estos dos lugares.
- Reducir la congestión del tráfico: la nueva vía podría ayudar a reducir la congestión del tráfico en las carreteras entre La Calera, Sopó y la AutoNorte.
- Promover el desarrollo sostenible: la nueva vía podría ayudar a promover el desarrollo sostenible al proporcionar un modo de transporte público eficiente y respetuoso con el medio ambiente.
- El tren es el medio de transporte que menos consume, comparado frente a un bus consume 10 veces menos energía en un solo día.

Desafíos a enfrentar

- La topografía del trazado: debido a las altas pendientes de la zona, que al estar ubicada en la parte más alta de la cordillera oriental posee un terreno natural bastante quebrado y un tanto difícil de intervenir.
- La adquisición de tierras: la construcción de la vía férrea requeriría la adquisición de tierras, lo que podría ser un proceso costoso y desafiante.
- La oposición de la comunidad: La construcción de un ferrocarril podría enfrentar la oposición de la comunidad, especialmente si se teme que tenga un impacto negativo en el medio ambiente o en el desarrollo urbano afectando zonas que son sumamente residenciales.

Conclusiones

- Para concluir se puede decir que la realización de la recolección de información primaria a través de diversas bases de datos es un paso crucial para el objetivo de diseñar la línea férrea. Este proceso proporciona la base necesaria para la planificación y el diseño detallado de la infraestructura ferroviaria. Aunque es un poco complejo encontrar información con facilidad, los datos obtenidos brindaron los fundamentos para encontrar la solución a la pregunta problema que se planteó al inicio de este proyecto y ofreció los parámetros para no perder el enfoque en todo el proceso.
- Al definir el trazado para la propuesta de este proyecto se dió respuesta a las ubicaciones de las estaciones en el recorrido preliminar, utilizando como base los datos obtenidos anteriormente, el trazado propuesto y la ubicación de estaciones se alinean con los objetivos de conectividad y desarrollo regional establecidos en los estudios preliminares del Regiotram del Norte. Esta propuesta busca no solo mejorar la eficiencia en el desplazamiento, sino también contribuir al crecimiento económico y a la calidad de vida de la comunidad, respaldando así la viabilidad y pertinencia de la ruta propuesta.
- Se puede concluir que sí es viable la continuación y realización de este proyecto debido a que la pendiente promedio del trazado es de 1% y como principio del proyecto se había planteado que no se debía superar el 2,5% en total. Dicho esto el proyecto finaliza siendo una opción viable y efectiva para mejorar la movilidad en la región, promover el desarrollo económico y turístico, y abordar los desafíos existentes en la infraestructura de

transporte. La combinación de un medio de transporte masivo, la reconstrucción del sistema ferroviario bajo estándares internacionales y la integración de asociaciones público-privadas posiciona la propuesta como una respuesta integral y sostenible al problema planteado.

- Es notable la preocupación causada por la falta de normatividad oficial para los ferrocarriles en Colombia que esté aprobada en este caso por el Ministerio de Transporte, esto dificulta la estandarización de los corredores férreos y obstaculiza la integración de diferentes concesiones bajo los mismos parámetros.
- Se concluye que es necesaria una reforma urgente en el manejo de los ferrocarriles en Colombia, se deben proponer políticas que realmente impulsen la reactivación de esta industria, con inversiones fuertes y con una normatividad que esté acorde a las necesidades planteadas.

Recomendaciones

La evaluación exhaustiva de los estudios realizados permite llegar a una conclusión sobre la viabilidad de la solución propuesta para abordar el problema inicial planteado. Tras un análisis detallado de los datos recopilados, las investigaciones realizadas y los factores clave considerados, se pueden destacar los siguientes puntos:

- Primero, la propuesta de introducir un medio de transporte masivo en la zona, específicamente entre La Calera, Sopó, Sabana Norte y Bogotá, emerge como una solución que aborda eficientemente los desafíos actuales en movilidad. La falta de una conexión adecuada entre estos puntos y las deficiencias en los medios de transporte existentes generan tiempos de desplazamiento prolongados y malestar entre los usuarios y residentes, lo cual subraya la necesidad de una alternativa más fluida y eficaz.
- La referencia a sistemas ferroviarios bien estructurados en países europeos respalda la idea de reconstruir el sistema ferroviario colombiano bajo estándares internacionales. Las mejoras significativas en la movilidad entre las mencionadas localidades gracias a nuevas vías y opciones de transporte público y privado subrayan la eficacia de estas intervenciones en términos de conectividad y eficiencia logística.
- La iniciativa de reactivar el funcionamiento del tren de carga y tren de pasajeros en Colombia, liderada por las Asociaciones Público-Privadas (APP), demuestra una clara visión de integrar el sistema ferroviario al transporte público del país. Los factores de viabilidad, como la seguridad, capacidad de carga, menor impacto ambiental y costos operativos, respaldan la necesidad de esta integración y la convierten en una solución sostenible y eficiente.

- Sería importante pensar a futuro en establecer una red férrea en la zona que beneficie a la mayor población posible del sector o en la conexión de las vías férreas a los sistemas actuales de transporte y así se resuelvan las necesidades de movilidad de los usuarios, optimizando tiempo y recursos diariamente invertidos.
- Se pueden proponer alianzas entre diferentes entes que garantizan la negociación de los lotes o tierras que se deben adquirir para la ejecución de este tipo de proyectos, esto debido a que en gran parte del sobre costo se da por la obtención de los terrenos que por su ubicación tienen un costo bastante alto pero que deben si o si adquirirse.

References

(n.d.). LaFerropedia | Club Ferro Carril Oeste. Retrieved November 29, 2023, from

<https://laferropedia.com/>

V. (2023, June 16). YouTube. Retrieved November 29, 2023, from

<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/24553/MODO%20F%C9RREO,%20UNA%20ALTERNATIVA%20DE%20MOVILIZACI%D3N%20DE%20CARGA%20Y.pdf;jsessionid=ADEFD944D00A1862ACD5BCC2C64B8490?sequence=6>

V. (2023, June 16). YouTube. Retrieved November 29, 2023, from

<https://www.amufer.es/otros-aparatos-de-via/>

V. (2023, June 16). YouTube. Retrieved November 29, 2023, from

<https://nilangelica.blogspot.com/2019/10/semana-4.html>

Archivo:Colombia - Cundinamarca - La Calera.svg. (n.d.). Wikipedia. Retrieved November 29, 2023, from

https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Colombia_-_Cundinamarca_-_La_Calera.svg

Bustos, M. (2014, February 3). *¿Por qué se produce el traqueteo de los trenes?* Trenvista.

Retrieved November 29, 2023, from

<https://www.trenvista.net/a-fondo/el-traqueteo-de-los-trenes/>

CAPÍTULO 4 Cálculo de la velocidad específica en función del radio. (n.d.). UPCommons.

Retrieved November 29, 2023, from

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3382/40137-8.pdf?sequence=8&isAllowed=y>

Características de las líneas de alta velocidad. (2015, August 17). Trenvista. Retrieved

November 29, 2023, from

<https://www.trenvista.net/a-fondo/caracteristicas-de-una-lineas-de-alta-velocidad/>

Carbajal, L. M. (2022, February 24). *Hablemos de Trenes: Elementos de la Vía*. Mundo

Ferroviario. Retrieved November 29, 2023, from

<https://mundoferroviario.lat/2022/02/24/hablemos-de-trenes-elementos-de-la-via%EF%BF%BC/>

Erosión. (n.d.). IDEAM. Retrieved November 29, 2023, from

<http://www.ideam.gov.co/web/siac/erosion>

Paixão, A. (n.d.). *Esquema via-férrea (UIC, 2008; adaptado)*. | *Download Scientific Diagram*.

ResearchGate. Retrieved November 29, 2023, from

https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Esquema-via-ferrea-UIC-2008-adaptado_fig1_270822818

PERALTE, ALABEO Y ESTABILIDAD DE TRAVIESAS. (n.d.). Adif. Retrieved November 29,

2023, from

[http://descargas.adif.es/ade/u18/GCN/NormativaTecnica.nsf/v0/8FD55764A2F1964FC12573AA003EF819/\\$FILE/NAV%207350.pdf?OpenElement](http://descargas.adif.es/ade/u18/GCN/NormativaTecnica.nsf/v0/8FD55764A2F1964FC12573AA003EF819/$FILE/NAV%207350.pdf?OpenElement)

¿Qué son durmientes? | *Portal ANI*. (n.d.). ANI. Retrieved November 29, 2023, from

<https://www.ani.gov.co/que-son-durmientes>

Sistemas para aumentar la velocidad de los trenes en una curva ¿Basculación o Pendulación?

(n.d.). Geotren. Retrieved November 29, 2023, from

<https://www.geotren.es/blog/sistemas-para-aumentar-la-velocidad-de-los-trenes-en-una-curva-basculacion-o-pendulacion/>

TEMA 4. *GEOMETRÍA DE LA VÍA*. (n.d.). WordPress.com. Retrieved November 29, 2023, from https://cimentajon.files.wordpress.com/2016/04/4-geometria_de_via.pdf

Trocha (Ancho de Vía). (2014, April 6). Ferrocarriles Colombianos. Retrieved November 29, 2023, from <https://ferrocarrilescolombianos.blogspot.com/2014/04/trocha-ancho-de-via.html>

Wichmann, N. (2021, September 22). . . , - YouTube. Retrieved November 29, 2023, from <https://i0.wp.com/mundoferroviario.lat/wp-content/uploads/2022/02/riel-del-tren.png?fit=620%2C281&ssl=1>

Anexos

Anexo 1. ArcMap: En el Software de ArcMap se procedió en primer lugar a descargar las planchas de la plataforma de datos abiertos IGAC con el fin de unir las para identificar las curvas de nivel necesarias para completar el trazado de nuestra línea férrea. Luego de esto se puede exportar a un archivo de Autodesk Civil 3D..... **135**

Anexo 2. Autodesk Civil 3D: En autodesk Civil 3D se procede a seleccionar las curvas de nivel por donde va a pasar el trazado de la línea férrea, luego de esto se debe crear la línea férrea con los puntos específicos de las estaciones mediante la herramienta de polilínea..... **136**

Anexo 2. Autodesk Civil 3D: Se crea un perfil después de crear una alineación de la polilínea anteriormente creada que representa nuestra línea férrea..... **137**

Anexo 3. Excel: En excel se procede a descargar las pendientes por cada tramo y así definir la pendiente promedio del trazado..... **139**