



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA LÍNEA FÉRREA DEL TRAMO “ALOASÍ-  
BOLICHE”, CON LA FINALIDAD DE LA APERTURA DE UNA RUTA  
TURÍSTICA EN BENEFICIO DEL CANTÓN MEJÍA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingenieros Civiles

**AUTORES:** CUICHÁN IZA EDISON MAURICIO  
VINUEZA QUIJIJE MARCEL JOAN

**TUTOR:** ALTAMIRANO LEÓN BYRON IVÁN

Quito, Ecuador  
2024

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Nosotros, Edison Mauricio Cuichán Iza con documento de identificación N° 1718380627 y Marcel Joan Vinueza Quijije con documento de identificación N° 0805282407; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 14 de agosto del 2024

Atentamente,



---

Edison Mauricio Cuichán Iza  
1718380627



---

Marcel Joan Vinueza Quijije  
0805282407

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Edison Mauricio Cuichán Iza con documento de identificación N° 1718380627 y Marcel Joan Vinueza Quijije con documento de identificación N° 0805282407; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Evaluación técnica de la línea férrea del tramo Aloasí - Boliche, con la finalidad de la apertura de una ruta turística en beneficio del Cantón Mejía”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 14 de agosto del 2024

Atentamente,



---

Edison Mauricio Cuichán Iza  
1718380627



---

Marcel Joan Vinueza Quijije  
0805282407

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Byron Iván Altamirano León con documento de identificación N° 1709301590, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA LÍNEA FÉRREA DEL TRAMO “ALOAS - BOLICHE”, CON LA FINALIDAD DE LA APERTURA DE UNA RUTA TURÍSTICA EN BENEFICIO DEL CANTÓN MEJÍA, realizado por Edison Mauricio Cuichán Iza con documento de identificación N° 1718380627 y por Joan Marcel Vinueza Quijije con documento de identificación N° 0805282407, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 14 de agosto del 2024

Atentamente,



Ing. Byron Iván Altamirano León

1709301590

## DEDICATORIA

A Camila, mi amada novia, por tu amor incondicional, tu paciencia infinita y tu constante apoyo. Gracias por ser mi roca, mi motivación y por estar a mi lado en cada paso de este desafiante camino. Tu fe en mí nunca flaqueó, incluso en los momentos en los que yo dudé. Gracias por tus palabras de aliento, tus abrazos reconfortantes y por ser mi mayor inspiración. Esta tesis es tanto tuya como mía, y sin ti, este logro no habría sido posible.

A mis padres, quienes han sido mi mayor fuente de fortaleza y guía. Sus sacrificios, su amor y su fe inquebrantable en mis capacidades me han llevado hasta aquí. Papá, mamá, gracias por enseñarme el valor del esfuerzo, la dedicación y la perseverancia. Sus innumerables sacrificios, consejos sabios y el amor que me han brindado son el pilar de todos mis logros. Siempre me han apoyado incondicionalmente, y por eso, les debo todo lo que soy.

A mis abuelitos, quienes siempre han sido un faro de amor y sabiduría en mi vida. Sus historias, sus enseñanzas y sus palabras de aliento me han guiado en los momentos más difíciles. Gracias por su cariño inagotable, por creer en mí y por ser un ejemplo de integridad y fortaleza. Sus enseñanzas han dejado una huella imborrable en mi corazón y me han inspirado a ser una mejor persona cada día.

A todos ustedes, esta tesis es un reflejo de su amor, apoyo y sacrificio. Cada página escrita, cada idea desarrollada y cada esfuerzo realizado llevan consigo un pedacito de ustedes. Gracias por estar siempre a mi lado, por creer en mí y por hacer posible este sueño.

Con todo mi amor y gratitud,

*Edison Mauricio Cuichán Iza*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por haberme guiado en este camino, de cumplir mis metas y permitirme terminar con mi carrera.

Agradezco a mis padres y hermano, que sin su apoyo nada de esto hubiese sido posible conseguir. A mi novia Camila, por motivarme siempre con sus palabras de aliento y no dejar de confiar en mí.

Agradezco a mi familia, que ha estado siempre conmigo motivándome a cumplir con esta meta.

Agradezco a los Ingenieros de la carrera de Ingeniería Civil que fueron parte fundamental de nuestra formación profesional, y nos guiaron con sus conocimientos para poder defendernos en la vida laboral.

Agradezco a nuestro tutor Byron Iván Altamirano León, quien nos supo asesorar y apoyar en todo este proceso, logrando terminar nuestro proyecto de titulación.

*Edison Mauricio Cuichán Iza*

## **DEDICATORIA**

Este proyecto de titulación se lo dedico en primer lugar a Dios ante las situaciones adversas que eh enfrentado en mi vida siempre me guio por el buen camino durante todo este proceso y me ha dado la fuerza necesaria para seguir adelante, porque han sido varias dificultades, pero siempre ha sabido como guiarme de la mejor manera en el largo de camino de la vida.

A mis padres que han sido el ejemplo a seguir por su dedicación, esfuerzo y bondad que han tenido en el transcurso de mi vida. Siendo mis pilares fundamentales y ejemplo a seguir. Mi madre por su bondad y preocupación que siempre mostro en este camino y lo sigue demostrando hacia mí. Mi padre por ese esfuerzo y sacrificio que nunca decayó y siguió confiando en mí. Este trabajo es una recompensa para ellos gracias a todo ese apoyo que siempre me demostraron. A mi hermana que siempre al final de este camino me acompaño y pudo ser de gran ayuda en mi vida porque siempre que decaía me alentaba con sus pequeñas palabras.

A una persona especial para mí que supo sacar el mejor lado de mi vida siempre motivándome para mejores cosas y hacerlas bien hechas. Estuvo en el mejor capítulo de mi vida, pero siempre para hacerme avanzar a seguir adelante y nunca decaer, aunque todo estuviera complicado.

Y a mis amigos que siempre estuvieron en este largo camino apoyándome y dándome aliento, compartiendo y siendo personas que me ayudaron en cada pasito de este camino llamado universidad.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por otorgarme la inteligencia, la sabiduría y el entendimiento en cada etapa de mi vida. También le agradezco por darme la perseverancia necesaria para superar cada obstáculo y desafío que he encontrado en el camino.

Agradezco a mis padres que sin duda han sido pilares fundamentales para la culminación de esta etapa universitaria, por su bondad y generosidad estoy completamente agradecido por su sacrificio y aliento incondicional, cada logro alcanzado también les pertenece.

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana, por los conocimientos que me dieron durante todos estos años, por las críticas constructivas que me ayudaron a crecer en cada paso y sobre todo por la paciencia de cada uno de los docentes que representa la institución.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>1</b>
<b>ANTECEDENTES Y GENERALIDADES .....</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción .....	1
1.2 Problema de estudio .....	1
1.2.1 Antecedentes .....	1
1.2.2 Importancia y alcance.....	2
1.2.3 Delimitación .....	2
1.3 Justificación .....	3
1.4 Grupo objetivo .....	4
1.5 Objetivos .....	4
1.5.1 Objetivo general.....	4
1.5.2 Objetivos específicos.....	4
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>6</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
2.1 Evaluación Técnica de la Infraestructura Ferroviaria.....	6
2.2 Normativas Internacionales.....	6
2.3 Metodologías de Evaluación .....	7
2.4. Implementación de Rutas Turísticas en Líneas Férreas .....	7
2.5 Planificación y Diseño .....	7
2.6 Participación Comunitaria.....	8
2.7 Generación de Empleo .....	8
2.8 Desarrollo de Infraestructura Complementaria .....	8
2.9 Conservación del Patrimonio Cultural y Natural.....	9
2.10 Estudios de Caso .....	9
2.10.1 Ferrocarril de la Sierra, Perú.....	9
2.10.2 Blue Train, Sudáfrica .....	10
2.10.3 Ferrocarril .....	11
2.10.4 Topografía .....	12
2.10.5 Peralte .....	12
2.10.6 Sujeción del riel .....	14
2.10.7 La vía.....	15
2.10.8 Ancho de vía .....	16

2.10.9 Durmientes.....	17
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>18</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>18</b>
3.1 Tipos de investigación.....	18
3.2 Métodos.....	18
3.3 Técnicas para recoger información de la línea férrea .....	19
3.4 Proceso técnico de Ingeniería Civil .....	19
3.4.1 Inspección técnica visual del sitio.....	20
3.4.2 Inspección visual de los elementos de la superestructura .....	20
3.4.3 Levantamiento topográfico.....	20
3.4.4 Obtención y análisis de resultados .....	21
3.5 Procesamiento y análisis de datos.....	21
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>23</b>
<b>DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>23</b>
4.1 <i>Revisión de la normativa AREMA</i> .....	23
4.2 Vía y Estructuras Relacionadas.....	23
4.2.1 Rieles.....	23
4.2.2 Durmientes.....	23
4.2.3 Balasto .....	24
4.2.4 Sujeciones.....	24
4.2.5 Alineación y Geometría de la Vía.....	24
4.2.6 Alineación Horizontal y Vertical .....	24
4.2.7 Peraltes .....	24
4.2.8 Superficie y Nivelación.....	25
4.2.9 Drenaje y Subestructura .....	25
4.2.10 Drenaje .....	25
4.2.11 Subestructura .....	25
4.2.12 Señalización y Comunicaciones .....	25
4.2.13 Señalización.....	26
4.2.14 Comunicaciones .....	26
4.2.15 Normas de Seguridad .....	26
4.2.16 Inspecciones de Seguridad.....	26
4.2.17 Protocolos de Emergencia .....	26
4.3 Levantamiento topográfico.....	27

4.4 Alineamiento horizontal.....	27
4.4.1 Tangentes mínimas .....	28
4.4.1.1 Cálculos Grado de curvatura.....	29
4.4.1.2 Determinación longitud de espiral .....	30
4.4.2 Ángulos de deflexión .....	30
4.4.3 Distancia de visibilidad .....	31
4.4.3.1 Distancia de visibilidad de frenado (Stopping Sight Distance, SSD) .....	31
4.4.3.2 Distancia de visibilidad de adelantamiento (Overtaking Sight Distance, OSD) .	31
4.4.4 Sobreancho de la vía .....	32
4.5 Alineamiento vertical .....	34
4.5.1 Gradiente o pendiente Longitudinal.....	34
4.5.2 Curvas verticales .....	35
4.5.2.1 Curvas Cóncavas y Convexas.....	35
4.5.2.2 Radio de curvatura .....	35
4.5.2.3 Estaciones y secciones críticas.....	35
4.5.2.4 Consideraciones de Drenaje .....	35
4.6 Señalización ferroviaria.....	37
4.6.1 Señalización <i>ferroviaria</i> .....	37
4.6.1.1 Tipos de señales .....	37
4.6.2 Control de tráfico Centralizado (CTC).....	38
4.6.2.1 Sistema de Bloqueo.....	38
4.6.3 Señalización de cruces a nivel .....	38
4.6.4 Indicadores de Velocidad y Restricciones.....	38
4.6.5 Sugerencia de señalización .....	39
4.7 Peralte.....	47
4.8 Radios mínimos .....	48
4.8.1 Vías principales.....	48
4.8.2 Vías industriales y de servicio .....	48
4.8.3 Ferrocarriles de tránsito ligero.....	48
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>49</b>
<b>ELEMENTOS DE LA SUPERESTRUCTURA .....</b>	<b>49</b>
5.1 Balasto.....	49
5.1.1 Cálculos para la determinación del balasto .....	50
5.1.1.1. Selección del material .....	50

5.1.1.2. Espesor del balasto .....	50
5.2 Durmientes .....	51
5.2.1. Durmientes de Madera .....	51
5.2.2. Durmientes de Hormigón .....	52
5.3 Fijaciones del ferrocarril .....	52
5.3.1. Fijaciones rígidas .....	53
5.3.2. Fijaciones elásticas.....	53
5.3.3. Fijaciones semirrígidas.....	54
5.4 Rieles.....	54
5.5 Cambiavías .....	55
5.5.1. Puntas de aguja .....	56
5.5.2. Contrapuntas .....	56
5.5.3. Placa de base.....	56
5.5.4. Sistema de accionamiento .....	56
5.5.5. Corazón del cruzamiento .....	56
<b>CAPÍTULO VI .....</b>	<b>57</b>
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>57</b>
6.1 Determinación del estado actual .....	57
6.1.1 Riel .....	57
6.1.2 Sujetadores.....	58
6.1.3 Durmientes.....	59
6.1.4 Balasto .....	60
6.1.5 Alineamiento vertical y horizontal.....	62
6.1.5.1 Radios mínimos.....	62
6.1.5.2 Peralte.....	62
6.1.5.3 Sobreanchos .....	63
6.2 Interpretación de resultados.....	63
6.2.1 Radios mínimos .....	63
6.2.2 Curvas espirales .....	63
6.2.3 Peralte.....	63
6.2.4 Sobre anchos.....	64
6.3 Presupuesto.....	67

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Datos geográficos de puntos de Inicio y Fin de la ruta Aloasí – Boliche .....	3
<b>Tabla 2.</b> Datos de relieve para trazado ferroviario .....	12
<b>Tabla 3.</b> Valores referenciales de sobre anchos .....	33
<b>Tabla 4.</b> Elementos de curvas horizontales .....	33
<b>Tabla 5.</b> Curvas verticales del proyecto .....	35
<b>Tabla 6.</b> Análisis señalético de cruces a nivel .....	42
<b>Tabla 7.</b> Señalética en curvas horizontales .....	45
<b>Tabla 8.</b> Señalética en curvas verticales .....	46
<b>Tabla 9.</b> Espesor del balasto para diferentes condiciones .....	50
<b>Tabla 10.</b> Libreta de campo para análisis de fijaciones .....	58
<b>Tabla 11.</b> Materiales de los durmientes .....	60
<b>Tabla 12.</b> Libreta de campo para análisis de balasto .....	61
<b>Tabla 13.</b> Ejemplo de ficha de campo evaluación de Balasto y Sendas .....	64
<b>Tabla 14.</b> Ejemplo de fichas de campo de control de fijaciones .....	65
<b>Tabla 15.</b> Ejemplo libreta de campo de juntas. ....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación del proyecto .....	2
<b>Figura 2.</b> Ferrocarril de la sierra en Perú .....	9
<b>Figura 3.</b> Blue Train Sudáfrica.....	10
<b>Figura 4.</b> Análisis del peralte .....	13
<b>Figura 5.</b> Análisis del Patín.....	14
<b>Figura 6.</b> Tirafondo.....	15
<b>Figura 7.</b> Detalle de los elementos de la vía .....	16
<b>Figura 8.</b> Detalle de traviesas de la vía.....	17
<b>Figura 9.</b> Esquema de alineamiento tramo Aloasí - Boliche .....	27
<b>Figura 10.</b> Curva 3.....	29
<b>Figura 11.</b> Señales fijas en una vía ferroviaria.....	37
<b>Figura 12.</b> Ejemplo de señalética de velocidad .....	40
<b>Figura 13.</b> Ejemplo señal de inicio de pendiente .....	41
<b>Figura 14.</b> Ejemplo señal cruce a nivel.....	43
<b>Figura 15.</b> Ejemplo de luces intermitentes.....	44
<b>Figura 16.</b> Balasto en vías férreas .....	49
<b>Figura 17.</b> Durmientes de madera de la línea férrea.....	51
<b>Figura 18.</b> Durmientes de hormigón de la línea férrea .....	52
<b>Figura 19.</b> Fijaciones rígidas de la línea férrea .....	53
<b>Figura 20.</b> Fijaciones elásticas de la línea férrea.....	54
<b>Figura 21.</b> Sección de riel en las vías férreas del tren .....	55
<b>Figura 22.</b> Esquema de cambiavías .....	55
<b>Figura 23.</b> Estado actual de los rieles .....	57
<b>Figura 24.</b> Estado actual de algunas fijaciones .....	58
<b>Figura 25.</b> Estado actual de los durmientes .....	59
<b>Figura 26.</b> Curva 26 - Radio mínimo.....	62

## RESUMEN

El proyecto “EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA LÍNEA FÉRREA DEL TRAMO “ALOASÍ- BOLICHE”, CON LA FINALIDAD DE LA APERTURA DE UNA RUTA TURÍSTICA EN BENEFICIO DEL CANTÓN MEJÍA” busca revitalizar un tramo histórico del Ferrocarril Transandino en Ecuador, reconocido como Patrimonio Cultural en 2008. El objetivo principal es evaluar y mejorar este tramo ferroviario para fomentar el turismo y revitalizar la economía local del cantón. Para cumplir con el objetivo, se realizó un análisis detallado de los elementos de la superestructura ferroviaria, incluyendo rieles, durmientes y balasto.

Se emplearon métodos de inspección visual y levantamiento topográfico para evaluar el estado actual de la vía. Los resultados indicaron que, aunque los rieles están en buen estado, muchos durmientes necesitan reemplazo y la cantidad de balasto es insuficiente en varias secciones. Además, se identificaron deficiencias en las fijaciones que deben ser abordadas para garantizar la seguridad y estabilidad de la infraestructura. Además, la mayoría de vía ferroviaria carece de señalización lo que implica que esta sea insegura.

El análisis geométrico reveló que la alineación horizontal y vertical de la vía cumple con las especificaciones de la normativa AREMA, asegurando un diseño óptimo para la operación segura de trenes turísticos.

Las conclusiones del proyecto recalcan la importancia de modernizar la señalización y sistemas de comunicación, así como de realizar un mantenimiento regular de la superestructura. La rehabilitación del tramo no solo mejorará la infraestructura ferroviaria, sino que también promoverá el turismo, beneficiando económicamente a la comunidad local y creando nuevas oportunidades de empleo.

En resumen, el proyecto propone una serie de mejoras técnicas y de mantenimiento que, alineadas con las normativas internacionales, asegurarán la seguridad y funcionalidad del ferrocarril, contribuyendo al desarrollo socioeconómico del cantón Mejía.

**Palabras clave:** Infraestructura ferroviaria, transporte, restauración, superestructura.

## **ABSTRACT**

The project “TECHNICAL EVALUATION OF THE RAILWAY LINE OF THE “ALOASÍ-BOLICHE” SECTION, WITH THE PURPOSE OF THE OPENING OF A TOURIST ROUTE FOR THE BENEFIT OF THE MEJÍA CANTON” seeks to revitalize a historic section of the Trans-Andean Railway in Ecuador, recognized as Cultural Heritage in 2008. The main objective is to evaluate and improve this railway section to promote tourism and revitalize the local economy of the canton. To meet the objective, a detailed analysis of the elements of the railway superstructure was carried out, including rails, sleepers and ballast.

Visual inspection and topographic survey methods were used to evaluate the current condition of the road. The results indicated that, although the rails are in good condition, many sleepers need replacement and the amount of ballast is insufficient in several sections. Additionally, deficiencies in fixings were identified that must be addressed to ensure the safety and stability of the infrastructure. In addition, the majority of the railway lacks signage, which means that it is unsafe.

The geometric analysis revealed that the horizontal and vertical alignment of the track meets the specifications of the AREMA regulations, ensuring an optimal design for the safe operation of tourist trains.

The project's conclusions emphasize the importance of modernizing signaling and communication systems, as well as carrying out regular maintenance of the superstructure. The rehabilitation of the section will not only improve railway infrastructure, but will also promote tourism, economically benefiting the local community and creating new employment opportunities.

In summary, the project proposes a series of technical and maintenance improvements that, aligned with international regulations, will ensure safety and functionality.

**Key words:** Railway infrastructure, transportation, restoration, superstructure.

# **CAPÍTULO I**

## **ANTECEDENTES Y GENERALIDADES**

### **1.1 Introducción**

El cantón Mejía, ubicado en la provincia de Pichincha, es una zona rica en atractivos naturales y culturales. Con paisajes que van desde montañas imponentes hasta valles fértiles, esta región ofrece una diversidad de experiencias turísticas. Sin embargo, para aprovechar plenamente este potencial, es crucial contar con una infraestructura de transporte adecuada que facilite el acceso a estas maravillas. Aquí es donde la línea férrea del tramo "Aloasí-Bolicho" entra en juego como un componente estratégico.

La evaluación técnica de la línea férrea del tramo "Aloasí-Bolicho" se presenta como un paso crucial para la apertura de una ruta turística que beneficiará al cantón Mejía. Este análisis busca determinar el estado actual de la infraestructura ferroviaria, identificar las necesidades de reparación y mantenimiento, y proponer las mejoras necesarias para garantizar la seguridad y eficiencia del servicio turístico.

### **1.2 Problema de estudio**

#### **1.2.1 Antecedentes**

A principios de 2008, la Red Ferroviaria del Ecuador fue reconocida como Patrimonio Cultural del país. Se ha planteado la recuperación y restauración del ferrocarril a lo largo de la ruta Aloasí-Bolicho con el objetivo de resaltar su valor como patrimonio cultural, promover el turismo en la zona y revitalizar las economías locales.

Tanto a nivel nacional como internacional, el Ministerio de Turismo ha llevado a cabo diversas campañas para destacar los atractivos turísticos del Ecuador entre estos los del ferrocarril debido a que atraviesa una diversidad de paisajes que incluyen volcanes, comunidades, ríos y áreas protegidas. La decadencia del sistema ferroviario se atribuye a una gestión deficiente y a un mal manejo de los recursos destinados a la infraestructura ferroviaria.

### 1.2.2 Importancia y alcance

La preservación de las estructuras de uso público debe ser el principal objetivo de las entidades a cargo de estas, ya que si no se tienen las medidas de mantenimiento adecuadas pueden deteriorarse lo que implica pérdida de dinero en bienes de los ecuatorianos.

En este caso particular de estudio, la afectación económica es doble ya que por un lado se tiene el deterioro continuo de la estructura ferroviaria del sitio y además no se está generando los recursos que se podrían generar con la rehabilitación vial.

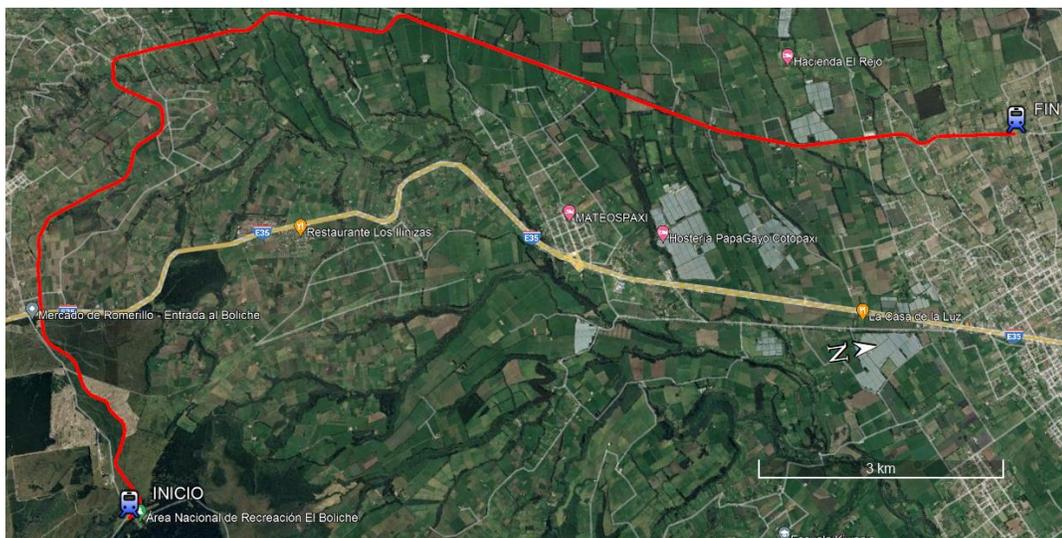
Con el presente proyecto técnico se propone mejoras y rehabilitación de la línea férrea del tramo considerado, con el objetivo que esto ayudará al turismo del sector y a preservar la línea ferroviaria.

### 1.2.3 Delimitación

El proyecto se encuentra en la ruta “Aloasí- Boliche” en la provincia de Pichincha, cantón Machachi. Según coordenadas UTM el proyecto se ubica en la zona 17M.

#### *Figura 1*

#### *Ubicación del proyecto*



*Nota.* La Línea roja indica las abscisas del proyecto. Elaborado por: Los autores mediante Google Earth Pro, 2024.

Las coordenadas de los puntos de inicio y fin se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 1**

*Datos geográficos de puntos de Inicio y Fin de la ruta Aloasí – Boliche*

<b>PUNTO</b>	<b>NORTE</b>	<b>ESTE</b>	<b>ELEVACIÓN</b>
Inicio	9931354.00 m S	770094.00 m E	3559 msnm
Fin	9942449.00 m S	767123.00 m E	3094 msnm

*Nota.* Puntos de Referencia Geoespacial del Inicio y Fin de la Ruta Aloasí –

Boliche Elaborado por: Los autores.

El tramo de vía ferroviaria comprende una longitud de 18.6 km identificado de color rojo en la figura 1. La vía tiene una pendiente promedio de 2.5 %.

### **1.3 Justificación**

El proyecto nace de la necesidad del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de Machachi, que actualmente carece de incentivos para reactivar el turismo. Por ello, es fundamental abrir nuevas vías que fomenten el turismo a través del ferrocarril. Este proyecto pretende abordar esta problemática mediante la evaluación y diseño de una línea férrea en el tramo "Aloasí-Boliche".

La implementación de este proyecto beneficiará directamente a los habitantes de la zona, promoviendo el turismo y creando oportunidades para que inicien negocios en áreas como la alimentación, venta de accesorios y otros servicios.

La viabilidad del proyecto está garantizada, ya que contamos con equipos de topografía adecuados para el correcto levantamiento del terreno a evaluar. Disponemos de los laboratorios de suelos en la Universidad Politécnica Salesiana, campus Sur, para

realizar los ensayos pertinentes. También tenemos acceso a la licencia del programa CIVIL 3D, proporcionada por la Universidad Politécnica Salesiana, campus Sur, para la modelación de la línea férrea. Finalmente, se han asegurado recursos económicos suficientes para la adquisición de materiales y la investigación relacionada con la línea férrea.

Una vez ejecutada, la evaluación de la línea férrea se estima que tendrá una durabilidad de un año. Además, la rehabilitación del ferrocarril convertirá nuevamente a Machachi en un destino turístico atractivo.

#### **1.4 Grupo objetivo**

La ejecución de este proyecto traerá beneficios significativos a todos los residentes del cantón Mejía, así como al sector turístico, ya que se pretenderá la apertura del tramo Aloasí-Boliche.

El MTOP, organismo responsable, tendrá la oportunidad de promocionar la ruta del ferrocarril. Además, este proyecto incentivará a futuros ingenieros civiles a desarrollar más iniciativas relacionadas con la infraestructura ferroviaria existente en el país.

#### **1.5 Objetivos**

##### **1.5.1 Objetivo general**

Evaluar el trazado geométrico y la superestructura de la línea férrea tramo “Aloasí-Boliche”, mediante información obtenida en el campo.

##### **1.5.2 Objetivos específicos**

Visualizar la ruta por la cual pasará el ferrocarril mediante la salida de campo, para determinar el estado de los elementos de la superestructura de la línea férrea (durmientes, balasto, rieles, sujetadores)

Evaluar las condiciones geométricas de la línea férrea mediante levantamiento topográfico para evaluar sobreanchos, niveles y pruebas realizadas en campo, para obtener las características de la vía.

Evaluar el estado de drenaje de la línea férrea, mediante la investigación de campo, para determinar la situación hidráulica correspondiente.

Evaluar la señalética de la línea férrea, mediante el análisis in situ, para determinar las deficiencias en la información vial.

Evaluar las condiciones estructurales de los pasos a nivel, mediante observaciones en campo, para considerar un posible rediseño.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

La revitalización de infraestructuras ferroviarias en desuso para fines turísticos es una estrategia que combina la preservación del patrimonio histórico con el desarrollo económico local. El tramo ferroviario "Aloasí-Bolicho" en el Cantón Mejía, Ecuador, ofrece una oportunidad única para la creación de una ruta turística que podría beneficiar significativamente a la comunidad local. Este marco teórico se centra en la evaluación técnica de dicha línea férrea y en los beneficios potenciales de su reutilización como atracción turística. Se analizan estudios recientes sobre la evaluación técnica de infraestructuras ferroviarias, la implementación de rutas turísticas y su impacto económico y social.

#### **2.1 Evaluación Técnica de la Infraestructura Ferroviaria**

La evaluación técnica de una línea férrea es un proceso complejo que requiere una inspección exhaustiva de sus componentes, como rieles, durmientes, balasto y estructuras asociadas. En los últimos años, el uso de drones y tecnologías de sensores ha revolucionado estas inspecciones, permitiendo una detección precisa y temprana de problemas como el desgaste y las deformaciones (Martínez, 2020). Estas tecnologías no solo mejoran la precisión de las inspecciones, sino que también reducen los costos y el tiempo necesario para llevarlas a cabo (López et al., 2021).

#### **2.2 Normativas Internacionales**

El cumplimiento de normativas y estándares internacionales es crucial para garantizar la seguridad y funcionalidad de una línea férrea. La Unión Internacional de Ferrocarriles (UIC) establece directrices detalladas sobre los parámetros técnicos que deben ser evaluados, como la geometría de la vía, la calidad del balasto y las características de los durmientes (González & Pérez, 2019). Estas normativas aseguran que la

infraestructura ferroviaria pueda soportar las condiciones operativas previstas y ofrezca un servicio seguro a los usuarios.

### **2.3 Metodologías de Evaluación**

Las metodologías de evaluación de infraestructuras ferroviarias incluyen inspecciones visuales, ensayos no destructivos y análisis geotécnicos. Estas técnicas permiten evaluar la estabilidad y el estado general de la infraestructura (Hernández, 2020). Además, la integración de modelos numéricos y simulaciones permite prever el comportamiento de la línea férrea bajo diversas condiciones operativas y climáticas, optimizando así su mantenimiento y operación (Martínez et al., 2021).

### **2.4. Implementación de Rutas Turísticas en Líneas Férreas**

La transformación de líneas férreas en desuso en rutas turísticas ha sido exitosa en numerosos países. Estas iniciativas no solo revitalizan la infraestructura ferroviaria, sino que también promueven el turismo y el desarrollo económico local. Por ejemplo, el Ferrocarril de la Sierra en Perú ha atraído a miles de turistas nacionales e internacionales, generando ingresos significativos para las comunidades locales (Rodríguez et al., 2022). Otro caso notable es el Blue Train en Sudáfrica, que ofrece un viaje de lujo a través de paisajes impresionantes y ha sido un éxito tanto en términos de atracción turística como de generación de empleo (Smith & Johnson, 2018).

### **2.5 Planificación y Diseño**

La planificación y diseño de rutas turísticas ferroviarias deben considerar varios factores, incluyendo la selección de paisajes atractivos y puntos de interés cultural, así como la creación de estaciones que ofrezcan una experiencia enriquecedora a los turistas. Es fundamental que la ruta combine la belleza natural con elementos educativos sobre la historia y cultura de la región (Hernández, 2020). Un diseño bien pensado no solo mejora

la experiencia del visitante, sino que también puede aumentar el atractivo de la ruta y su sostenibilidad a largo plazo.

## **2.6 Participación Comunitaria**

La participación de la comunidad local en el desarrollo de rutas turísticas es crucial para su éxito y sostenibilidad. Involucrar a la comunidad en la planificación y operación de la ruta genera un sentido de pertenencia y compromiso, lo que mejora la experiencia turística y la gestión del proyecto (Martínez et al., 2021). Además, la capacitación y empleo de residentes locales en la operación del servicio turístico contribuye al desarrollo económico y social de la región (Fernández et al., 2021). La inclusión de la comunidad no solo asegura el éxito del proyecto, sino que también promueve un desarrollo más equitativo y sostenible.

## **2.7 Generación de Empleo**

La implementación de rutas turísticas ferroviarias puede generar numerosos empleos directos e indirectos. Los empleos directos incluyen aquellos relacionados con la operación del tren y el mantenimiento de la vía, mientras que los empleos indirectos abarcan sectores como la hostelería, restauración y servicios de guía turística (Pérez & Gómez, 2020). Esta generación de empleo puede tener un impacto significativo en la economía local, proporcionando ingresos estables y mejorando la calidad de vida de los residentes.

## **2.8 Desarrollo de Infraestructura Complementaria**

El aumento del turismo asociado con una nueva ruta ferroviaria fomenta el desarrollo de infraestructura complementaria, como alojamientos, restaurantes y tiendas de recuerdos. Esto proporciona oportunidades adicionales de empleo y negocios para los residentes locales (López & García, 2021). Además, la mejora de la infraestructura puede atraer a otros inversores y promover un desarrollo económico sostenido.

## **2.9 Conservación del Patrimonio Cultural y Natural**

El turismo ferroviario puede desempeñar un papel crucial en la conservación del patrimonio cultural y natural. La promoción de rutas turísticas que resaltan elementos históricos y paisajes naturales incentiva la preservación y valorización de estos recursos. Las iniciativas de conservación atraen a turistas interesados en el patrimonio y el ecoturismo, diversificando la base de visitantes (Vázquez, 2019). Este enfoque no solo ayuda a preservar el patrimonio, sino que también puede educar a los visitantes sobre la importancia de la conservación y fomentar un mayor respeto por el medio ambiente y la cultura local.

### **2.10 Estudios de Caso**

#### **2.10.1 Ferrocarril de la Sierra, Perú**

El Ferrocarril de la Sierra en Perú es un ejemplo exitoso de cómo una antigua línea férrea puede transformarse en una ruta turística próspera. Desde su reactivación, ha atraído a miles de turistas nacionales e internacionales, impulsando la economía local y preservando el patrimonio cultural de la región (Rodríguez et al., 2022). Este caso demuestra la importancia de una planificación cuidadosa y la colaboración entre el sector público y privado para asegurar el éxito del proyecto.

#### **Figura 2**

*Ferrocarril de la sierra en Perú*



Fuente: Agreda, 2012.

### 2.10.2 Blue Train, Sudáfrica

El Blue Train en Sudáfrica ofrece un lujoso viaje turístico a través de paisajes impresionantes, combinando la experiencia del viaje en tren con la visita a destinos históricos y naturales. Este proyecto ha sido exitoso no solo en términos de atracción turística sino también en la generación de empleo y desarrollo de infraestructura en las áreas rurales (Smith & Johnson, 2018). El éxito del Blue Train subraya la importancia de ofrecer una experiencia de alta calidad y de trabajar en estrecha colaboración con las comunidades locales para maximizar los beneficios económicos y sociales.

#### **Figura 3**

*Blue Train Sudáfrica*



*Nota.* El Blue Train ha sido sinónimo de elegancia y confort, atrayendo a viajeros de todo el mundo. Fuente: Bautista, 2017.

La evaluación técnica de la línea férrea del tramo "Aloasí-Boliche" para la apertura de una ruta turística en beneficio del Cantón Mejía es un proyecto que puede generar múltiples beneficios, desde la revitalización de la infraestructura ferroviaria hasta el impulso económico y social de la comunidad local. En la actualidad es de importancia utilizar tecnologías avanzadas para la evaluación y mantenimiento de la infraestructura, la planificación cuidadosa y participativa de las rutas turísticas, y la colaboración entre

distintos actores para asegurar el éxito y sostenibilidad del proyecto. Implementar esta ruta turística no solo contribuirá al desarrollo económico del Cantón Mejía, sino que también preservará y valorizará su patrimonio cultural y natural.

A continuación, se presentan algunos conceptos de interés para el tema de estudio:

### **2.10.3 Ferrocarril**

El ferrocarril surge en la presidencia de García Moreno en el año de 1873, con una línea de 91 km, para el trayecto de Yaguachi a Milagro; que formaba parte de la obra que en un principio contemplaba solamente un tramo desde Yaguachi hasta Sibambe. Para el año de 1895, el presidente de la época Gral. Eloy Alfaro firma un contrato por 17,5 millones de dólares con la empresa “Guayaquil y Quito Railway Company” Con la llegada del comisionado MCKlellan al Ecuador, trayendo tres mil toneladas de rieles y más implementos, se inicia el tendido de la ferrovía desde la población de Yaguachi, el 18 de julio de 1873. Con la Revolución Liberal, es nombrado Jefe Supremo de la Nación el General Eloy Alfaro, quién personalmente tomó a su cargo la contratación de un Ingeniero de primer orden para encomendarle la dirección y construcción de la obra. En septiembre de 1895, llegaba de Inglaterra el afamado ferroviario Mr. U. Sigoald Muller, quién emitió un informe en el que afirmaba que el Ferrocarril proyectado lo consideraba como "el más difícil del mundo". (Valencia, 1988). En mi opinión la obra del ferrocarril para la época y hasta es muy difícil de hacer porque además de examinar la topografía que se tiene debemos evaluar las capacidades de resistencia del suelo. Y estar atentos que nos enfrentamos a una temperatura bastante hostil, para el trabajo. El Gral. Eloy Alfaro al centrarse en esta obra ayudo mucho a las localidades de ese sector porque influye mucho el turismo y del turismo podemos obtener los recursos para que una ciudad fluya.

#### 2.10.4 Topografía

Se definieron como límites en el trazado del perfil la pendiente máxima de 3.10 % y radio mínimo de curvatura: 200 metros. El trazado está dividido de acuerdo con el tipo de terreno y a la pendiente longitudinal, de la forma que sigue: (Valencia, 1988).

**Tabla 2**

*Datos de relieve para trazado ferroviario*

<b>TIPO DE TERRENO</b>	<b>RELACIÓN</b>	<b>PENDIENTE</b>
Llano	0	0.70%
Ondulado	7:1	1.50%
Montañoso	15:1	3.00%

*Nota.* El análisis detallado del relieve es esencial para el diseño eficiente y seguro de las vías férreas. Fuente: Valencia, 1988.

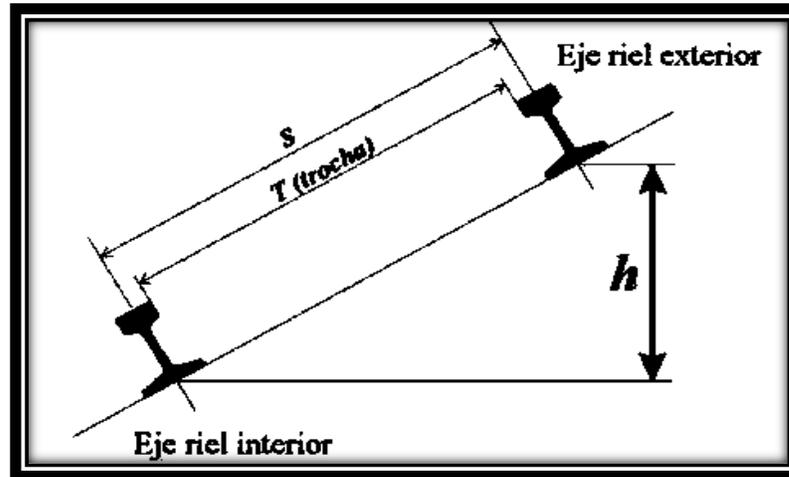
Las pendientes en el terreno montañoso llegaron a tener fuertes cuestas, ya que según lo aprendido lo máximo son hasta un 2% debido a que la subida máxima depende de la adherencia, esfuerzo de tracción y la geometría del vehículo.

#### 2.10.5 Peralte

Corresponde a la diferencian entre cotas de los rieles de una curva con el fin de “evitar el volcamiento del ferrocarril a una determinada velocidad pretendiendo elevar el riel exterior en una altura llamada peralte máximo que estado a una velocidad de diseño de 20 km/h” (Sigetrans, 2018, p. 239). Para lo cual, el ferrocarril tendría una estabilidad adecuada al entrar en la curva y en las variaciones de desniveles.

## Figura 4

### *Análisis del peralte*



*Nota.* El peralte en curvas ferroviarias se diseña para contrarrestar la fuerza centrífuga y mejorar la estabilidad del tren. Fuente: AREMA. (2021).

A las barras de hierro se las llamaba riel, tomando del inglés y del francés esta palabra, que tiene su raíz en la latina regula, que quiere decir regla. En la actualidad, lo corriente es llamar riel a las barras de acero que se asientan sobre los durmientes. (Clavijo, 2010). La función del riel es servir de huella a las ruedas de un carro, el cual es un perfil de hierro.

El patín se une al alma por planos inclinados, sobre los que se apoyan también las bridas de unión de rieles. El ancho del patín debe ser suficiente para asegurar la estabilidad del riel y para resistir los esfuerzos transversales que tienden a inclinarlo. El peso de los rieles, varía en razón del tráfico y de las condiciones de explotación de la línea, como son, la velocidad de los trenes y peso de locomotoras y vehículos. Este peso del riel, va siendo cada vez mayor, por lo mismo que va siendo mayor la velocidad de los trenes y el peso de locomotoras y vehículos. (Clavijo, 2010). El Patín es un elemento de gran importancia

porque es el elemento capaz de soportar y resistir los esfuerzos transversales, tal que, el peso del riel se incrementa de acuerdo a la velocidad y el peso propio del ferrocarril.

### **Figura 5**

#### *Análisis del Patín*



*Nota.* Está localizado en la base del riel y es responsable de distribuir la carga transmitida por el tren hacia el balasto y las traviesas. Fuente: Clavijo, 2010.

#### **2.10.6 Sujeción del riel**

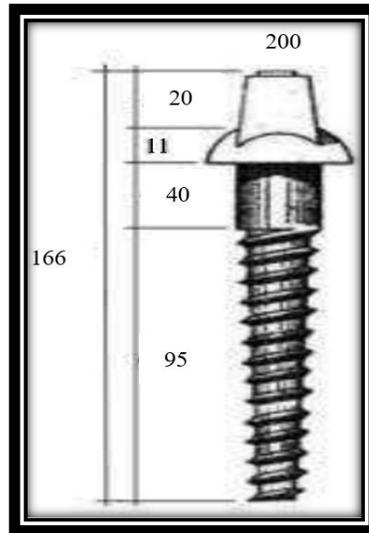
Un elemento importante de las sujeciones es la placa de asiento, que reduce la presión específica transmitida por el riel protegiendo así al durmiente. Entre los tipos de sujeciones, los más comunes son: Las sujeciones rígidas clásicas, que son elementos clavados, como las escarpas o atornillados como los tirafondos, como se ilustra por uno de sus extremos y por el otro sirve de sujeción sobre el patín del riel. Clavos elásticos, que combinan la sencillez de los elementos clavados con la ventaja de la elasticidad, incrementando su conservación y facilitando su montaje.

Entre este tipo de sujeciones se tiene a Calvos Dorken, T-flex, Elastic flex, J-flex, etc. Sujeciones elásticas de lámina o grapa, que presenta una chapa de acero elástico, denominado grapa o lámina elástica que es unida a otros elementos como una chapa de gaocho, casquillo aislante de plástico, mediante un tornillo de acero o tirafondo en caso de

tener durmiente de madera. (Clavijo, 2010). La sujeción del riel es un elemento que ayuda a hacer posible una continuidad en la línea férrea, nos ayuda a fijar los rieles a los durmientes, asegurar los desniveles existentes en el ancho de la vía.

### **Figura 6**

#### *Tirafondo*



*Nota. Este tornillo es adecuado para aplicaciones que requieren una alta resistencia mecánica y una distribución uniforme de la presión.* Fuente: Clavijo, 2010.

Entre los principales tipos de estas sujeciones, están las sujeciones RN, CIL, C4, Heyback, etc. Sujeciones elásticas de clip, que cuentan con un elemento soporte de diferente forma para poder sujetar el patín del riel. La principal sujeción de este tipo es la Pandrol, otros tipos de sujeción son la sujeción de cuña y cojinete, sujeciones elásticas de lámina o grapa, etc. (Clavijo, 2010). De acuerdo a todo lo investigado podemos dar a conocer los distintos tipos de sujeciones que existen en nuestro medio.

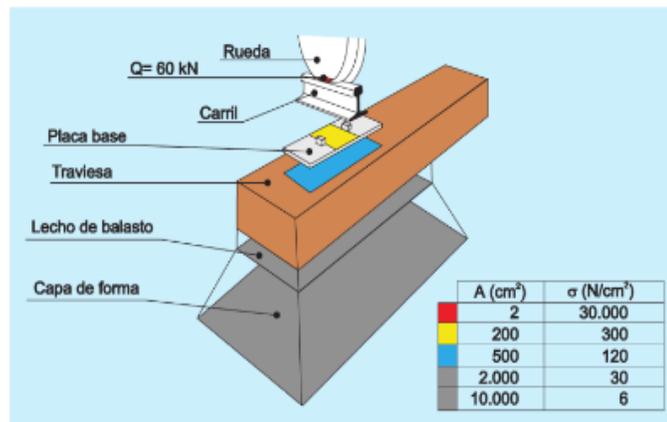
#### **2.10.7 La vía**

El camino de rodadura de los de ferrocarriles se suele estudiar tradicionalmente separándolo en dos componentes. 1) la infraestructura civil, que es el conjunto de obras civiles como túneles, desmontes, pasos y puentes. 2) la superestructura, que en su forma

más clásica está formada por los rieles o carriles fijados habitualmente sobre traviesas transversales, llamándose a la vía en este caso vía en placa. El balasto (habitualmente grava de machaqueo de ciertas características de dureza y resistencia al desgaste, y tamaño entre 30 y 60 mm) y las capas inferiores (subvaluaste), en general suelos seleccionados con unas determinadas características resistentes. La vía en placa, sin embargo, es totalmente rígida, y la necesaria elasticidad que proporciona el balasto y la plataforma en la vía clásica debe obtenerse por otros métodos. (Fernández, 2010).

**Figura 7**

*Detalle de los elementos de la vía*



*Nota.* La imagen proporciona una visión clara y técnica de los elementos estructurales de una vía ferroviaria y la manera en que las cargas se distribuyen a través de estos elementos. Fuente: Fernández, 2010.

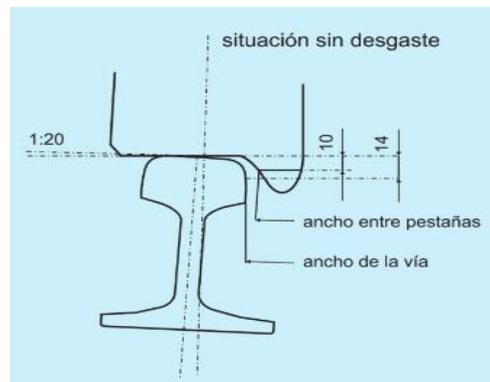
### **2.10.8 Ancho de vía**

Se mide entre las caras internas de los carriles, a 14 mm bajo el plano de rodadura. La vía estrecha es la de ancho inferior al normal de un país. Su principal ventaja es su economía, por exigir menores inversiones en infraestructura y superestructura, pero a cambio tiene menor capacidad de transporte de viajeros. Las ruedas del tren están montadas en general de cuatro en cuatro, dos por eje, sobre carretones de dos ejes llamados bogies sobre los que apoyan las cajas de los coches o de las locomotoras. La rueda va

calada rígidamente sobre el eje, formando el llamado eje montado. La indudable robustez de este sistema tiene el inconveniente de que las cuatro ruedas del bogie forman un sistema extraordinariamente rígido, con deslizamientos relativos entre ruda y carril. (Palacios, 2014)

### **Figura 8**

*Detalle de traviesas de la vía*



*Nota.* Las traviesas son componentes vitales en la infraestructura ferroviaria, desempeñando un papel crucial en la distribución de cargas y el mantenimiento de la geometría de la vía. Fuente: Fernández, 2010.

#### **2.10.9 Durmientes**

Para el cuerpo de la vía, debe ser de madera nueva impregnada sin defectos en la zona de asiento del riel y con escuadría mínima de 17.78 X 20.32 X 243.84 cm, 17.78 X 22.86 X 274.32 cm o bien de concreto monolítico presforzado tipo B-58 o I-84RN, que no se presenten penetración en la zona de asiento del riel mayor a 3 mm y que cumplan con las especificaciones de American Railway engineering and maintenance of way association. (Fernández, 2010) Solo se podrán utilizar durmientes de diseños especiales con la anuencia de Ferromex/Ferrosur. (Dirección de mantenimiento). Los durmientes en la vía férrea son un elemento fundamental, el material de los durmientes pueden ser madera como: roble, eucalipto, pino y tejo.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Tipos de investigación**

Para desarrollar el proyecto se aplicará la investigación cualitativa – cuantitativa basándonos en la información bibliográfica cuyo contenido está sujeta al diseño geométrico de ferrocarriles. Se analizará toda la información obtenida para identificar problemas de interés requerido, comparando con los parámetros detallados en la normativa. Se analizará el sistema constructivo y se dará el diagnóstico de diseño de la vía férrea.

Se investigó en fuentes bibliográficas detalladas tanto manuales como normativas referentes al tema, para el análisis geométrico de ferrocarriles. Para comenzar la toma de datos en campo y realizar la comparación con una evaluación más detallada de acuerdo con las especificaciones técnicas indicadas en la norma AREMA. Este tipo de investigación servirá como base para futuros estudios de análisis de diseño ferroviario.

#### **3.2 Métodos**

Para desarrollar el estudio se ha identificado la aplicación del método analítico de acuerdo con la propuesta. “El análisis como un procedimiento para llegar a la comprensión mediante la descomposición de un fenómeno en sus elementos constitutivos” (Lopera, 2010). Para la identificación de las partes que caracterizan al proyecto y la relación entre sus componentes.

Como parte de la deducción se explicará los detalles de la comparación de resultados obtenidos del análisis de estudio. Con el objetivo de emplear las características, modelos y diseños generales en proyectos similares, particularmente en la Norma “AREMA” que se utilizará en el proyecto que se pretende desarrollar de la línea férrea.

### **3.3 Técnicas para recoger información de la línea férrea**

Una de las fuentes de información, es la observación directa que se realizará en el campo para definir el estado actual de la superestructura, lo cual ayudará a establecer términos y condiciones que debemos tomar en consideración.

Al iniciar la investigación se formuló si existe información, sobre el diseño y construcción de la línea férrea del Ecuador sector el “Boliche”, teniendo esta información necesaria para tener un punto de partida que facilite la investigación. Las Normativas ayudarán a entender varios datos obtenidos una vez realizado el análisis en el campo.

Se obtuvo documentos referentes al diseño de ferrocarriles, tesis, manuales, artículos, normas que contengan toda la información necesaria para el desarrollo de la investigación.

### **3.4 Proceso técnico de Ingeniería Civil**

Para realizar el análisis de la investigación, se recopilará toda la información necesaria de documentos (Tesis, normas, libros, planos) que ayudarán con las referencias que sean necesarias para dar inicio el estudio de la línea férrea.

Los parámetros más importantes para el análisis de una superestructura férrea son:

- Inspección visual técnica del sitio;
- Inspección visual de los elementos de la superestructura;
- Levantamiento Topográfico;
- Trabajo de gabinete;
- Obtención y análisis de resultados;
- Presentación de planos;

Antes es necesario realizar una georreferenciación con coordenadas (UTM – WGS 84). Para ubicar nuestro estudio en la red vial de Ferrocarriles del Ecuador Empresa Pública (FEEP).

Otros factores a tomar en consideración son los factores climáticos ya que impiden realizar un buen estudio topográfico.

#### **3.4.1 Inspección técnica visual del sitio**

El parámetro principal para realizar un levantamiento topográfico claro y detallado es el reconocimiento del lugar donde se va a realizar el proyecto. Esto facilitará a estimar el tiempo que sea necesario para realizar la medición y saber qué información importante nos puede servir como un punto base de nuestro proyecto.

Una correcta inspección del lugar ayudará a elaborar un cronograma de trabajo que estime el costo de la mano de obra, equipos y la maquinaria necesaria para la realización del proyecto.

#### **3.4.2 Inspección visual de los elementos de la superestructura**

Para entender de qué elementos está conformada la superestructura y si están puestos en obra de acuerdo a la normativa "AREMA". "La infraestructura ferroviaria que está compuesta mediante un carril apoyado sobre la durmiente y ésta a su vez asentada en la capa de balasto, cuya inclinación en la unión con la plataforma permite la evacuación de las aguas provenientes." (López, Andrés, 2006, p. 41). Por lo tanto, es importante saber si están cumpliendo con los parámetros requeridos.

#### **3.4.3 Levantamiento topográfico**

La obtención de la información precisa y detallada de un lugar de estudio para realizar un proyecto se llama Levantamiento Topográfico. "se entiende por levantamiento topográfico al conjunto de operaciones que se ejecutan en el campo y de los medios puestos en práctica, para fijar las posiciones de puntos, así como su representación en el plano" (Zamarripa, 2010, p. 6). Por lo tanto, es de suma importancia realizar un levantamiento topográfico para poder realizar un proyecto que sea sustentable para la comunidad o el sector cercano al proyecto.

La medición se la realiza con un equipo topográfico que está conformado de: estación total, trípode y prismas, estos están calibrados correctamente y en un perfecto estado. Esta información nos servirá para el análisis, planificación y ejecución del proyecto que se va a realizar en el tramo.

#### **3.4.4 Obtención y análisis de resultados**

Una vez terminado el levantamiento topográfico se procede con el análisis y verificación técnica en campo y determinar si están con las medidas correctas en el sitio donde se está realizando el proyecto.

La presentación del análisis se lo detallará en el presente proyecto. Donde de manera didáctica y resumida se lo detallará. Todos los resultados obtenidos mediante tablas comparativas.

#### **3.5 Procesamiento y análisis de datos**

Las investigaciones permitirán comparar contenidos reglamentados que especifican en las normas y manuales para el diseño de líneas ferroviarias. Por lo tanto, es fundamental las fórmulas que se emplean se ajusten a lo más cercano a la realidad del diseño geométrico. El desarrollo de esquemas que demuestren el análisis realizado y tomen en cuenta el diseño geométrico desarrollado.

Para el análisis se debe realizar una identificación de la zona como sus vías de accesos y el tiempo en cual se pretende realizar el proyecto, obteniendo las características principales como son: (área, cobertura vegetal, vías de acceso, relieve). Para obtener toda la información necesaria de la recolección de datos establecer puntos de control para georreferenciar.

La determinación de los datos obtenidos aumentará la información en base a las especificaciones técnicas de la norma, con esto se procesará un posible rediseño. Siendo la principal referencia la normativa “AREMA” que dará los parámetros que debe cumplir, el

Capítulo 5 contiene todo lo relacionado al alineamiento horizontal y vertical de la sección típica de la línea férrea.

## **CAPÍTULO IV**

### **DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### ***4.1 Revisión de la normativa AREMA***

La normativa de la American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association (AREMA) es una referencia esencial para el diseño, construcción y mantenimiento de infraestructuras ferroviarias. Este conjunto de normas asegura la seguridad, funcionalidad y durabilidad de las vías férreas. A continuación, se realiza una revisión de los capítulos más relevantes de la normativa AREMA, con un enfoque en su aplicación a la evaluación técnica del tramo "Aloasí-Boliche" para la apertura de una ruta turística.

#### **4.2 Vía y Estructuras Relacionadas**

Este capítulo abarca los elementos fundamentales de la superestructura ferroviaria, incluyendo rieles, durmientes, balasto y sujeciones.

##### **4.2.1 Rieles**

Los rieles son componentes críticos que guían y soportan las ruedas de los trenes. AREMA especifica las características que deben tener los rieles, como su perfil, dureza y resistencia al desgaste, para asegurar una operación segura y duradera. La selección del tipo de riel depende de factores como la carga esperada y la velocidad de los trenes.

##### **4.2.2 Durmientes**

Los durmientes, que pueden ser de madera, concreto o acero, sostienen los rieles y mantienen el ancho de la vía. AREMA establece directrices sobre la colocación y espaciado de los durmientes para garantizar una distribución uniforme de las cargas y la estabilidad de la vía. Los durmientes de concreto son preferidos por su durabilidad y capacidad para soportar cargas pesadas.

### **4.2.3 Balasto**

El balasto es el material granular que se coloca debajo y alrededor de los durmientes, proporcionando estabilidad y drenaje a la vía. AREMA define las propiedades del balasto, como su tamaño y resistencia, para asegurar que pueda soportar las cargas dinámicas y permitir un drenaje adecuado del agua, lo que es esencial para mantener la integridad de la vía.

### **4.2.4 Sujeciones**

Las sujeciones son los elementos que fijan los rieles a los durmientes. AREMA detalla varios tipos de sujeciones, incluyendo las rígidas y las elásticas, y sus especificaciones técnicas. Estas sujeciones deben ser capaces de resistir las fuerzas longitudinales y laterales que actúan sobre los rieles, asegurando una conexión firme y duradera.

### **4.2.5 Alineación y Geometría de la Vía**

La geometría de la vía es crucial para garantizar una operación segura y eficiente de los trenes. Este capítulo aborda la alineación horizontal y vertical, peraltes, y la nivelación de la vía.

### **4.2.6 Alineación Horizontal y Vertical**

AREMA proporciona directrices para la alineación de la vía en términos de curvatura y pendientes. La alineación horizontal se refiere a las curvas de la vía, mientras que la alineación vertical se refiere a las pendientes y gradientes. Las normas establecen límites para estas características, asegurando que la vía pueda manejar las fuerzas centrífugas y de tracción de los trenes.

### **4.2.7 Peraltes**

El peralte es la diferencia de altura entre los rieles en una curva, diseñado para contrarrestar las fuerzas centrífugas. AREMA especifica los cálculos y valores máximos

permitidos para el peralte, asegurando que los trenes puedan pasar por las curvas a una velocidad segura sin riesgo de descarrilamiento.

#### **4.2.8 Superficie y Nivelación**

Mantener la superficie y nivelación de la vía dentro de tolerancias estrictas es esencial para evitar vibraciones y movimientos no deseados que puedan afectar la seguridad y comodidad del viaje. AREMA detalla los procedimientos para medir y corregir la superficie y nivelación de la vía, utilizando equipos de medición avanzados.

#### **4.2.9 Drenaje y Subestructura**

Un drenaje adecuado es esencial para la longevidad de la infraestructura ferroviaria. Este capítulo cubre las recomendaciones para el diseño y mantenimiento de sistemas de drenaje y la subestructura de la vía.

#### **4.2.10 Drenaje**

El agua es una de las principales causas de deterioro en las vías férreas. AREMA establece directrices para la instalación de sistemas de drenaje que eviten la acumulación de agua en la subestructura de la vía. Esto incluye la colocación de cunetas, drenajes subterráneos y sistemas de drenaje longitudinal para asegurar una evacuación eficiente del agua.

#### **4.2.11 Subestructura**

La subestructura incluye todas las capas debajo del balasto, que deben ser diseñadas para soportar las cargas y proporcionar una base estable para la vía. AREMA especifica los materiales y métodos de construcción para la subestructura, asegurando una adecuada compactación y estabilidad para prevenir asentamientos y deformaciones.

#### **4.2.12 Señalización y Comunicaciones**

La señalización y los sistemas de comunicación son vitales para la operación segura de los trenes. Este capítulo detalla las normas para la instalación y mantenimiento de sistemas de señalización.

#### **4.2.13 Señalización**

AREMA proporciona directrices para el diseño e instalación de señales que controlen el tráfico ferroviario. Esto incluye señales luminosas, señales de velocidad y otros dispositivos de advertencia. Las señales deben ser claramente visibles y comprendidas por los operadores de trenes, garantizando una comunicación efectiva de las condiciones de la vía y las órdenes de operación.

#### **4.2.14 Comunicaciones**

Los sistemas de comunicación ferroviaria deben ser fiables y eficientes. AREMA especifica los estándares para los sistemas de comunicación, incluyendo la transmisión de datos y la coordinación entre trenes y centros de control. Estos sistemas son cruciales para la gestión del tráfico ferroviario y la respuesta rápida en caso de emergencias.

#### **4.2.15 Normas de Seguridad**

La seguridad es una preocupación primordial en el diseño y mantenimiento de las vías férreas. Este capítulo abarca las normas de seguridad para prevenir accidentes y garantizar una operación segura.

#### **4.2.16 Inspecciones de Seguridad**

AREMA establece procedimientos para la realización de inspecciones de seguridad regulares. Estas inspecciones deben identificar y corregir cualquier problema que pueda comprometer la seguridad de la operación ferroviaria, asegurando que la infraestructura se mantenga en condiciones óptimas.

#### **4.2.17 Protocolos de Emergencia**

Las normas incluyen protocolos para manejar situaciones de emergencia, como descarrilamientos o fallas en la infraestructura. Estos protocolos aseguran una respuesta rápida y eficiente para minimizar los daños y restaurar la operación normal lo antes posible, protegiendo tanto a los pasajeros como a los trabajadores ferroviarios.

### 4.3 Levantamiento topográfico.

Los datos del levantamiento topográfico como puntos de topografía y monografías fueron obtenidos de los productos del estudio denominado “PROYECTO REHABILITACIÓN FERROCARRIL DURAN – QUITO”

Del estudio anterior también se obtuvieron los puntos georreferenciados de los elementos de las curvas horizontales y verticales fundamentales para construir el alineamiento horizontal y vertical del proyecto.

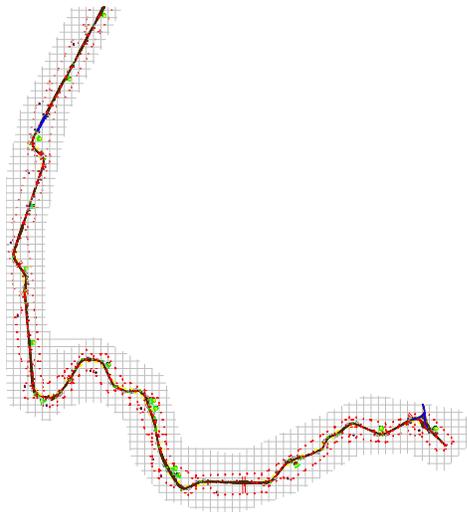
### 4.4 Alineamiento horizontal

Partiendo del levantamiento topográfico y considerando el alineamiento de la vía férrea se construyó el alineamiento horizontal el cual consta de alineamientos, tangentes, curvas y transición entre curvas.

Se realizó el alineamiento horizontal con el cual se elaboró el plano correspondiente. (Anexo 2)

### Figura 9

*Esquema de alineamiento tramo Aloasí - Boliche*



*Nota.* Representación del tramo evaluado. Elaborado por: Los autores.

#### **4.4.1 Tangentes mínimas**

Las tangentes mínimas varían según varios factores, como la velocidad del tren, el radio de las curvas y otros parámetros operativos. Por lo tanto, en el siguiente párrafo se analiza la velocidad de diseño del ferrocarril en el tramo Aloasí - Boliche.

El tramo ferroviario entre Aloasí y Boliche en Ecuador es parte del histórico Ferrocarril Transandino, también conocido como el Ferrocarril del Sur. Esta línea férrea es notable por atravesar la región andina y enfrentar desafíos significativos debido a la topografía montañosa del país.

En términos de velocidad de diseño para este tramo, la información disponible indica que el ferrocarril ecuatoriano se ha utilizado principalmente para servicios turísticos en las últimas décadas, especialmente en secciones icónicas como la Nariz del Diablo. Sin embargo, la velocidad operativa y de diseño en la mayoría de los tramos rehabilitados de la línea ferroviaria se mantiene en niveles moderados debido a las condiciones geográficas y las especificaciones de seguridad necesarias para el transporte en estas áreas.

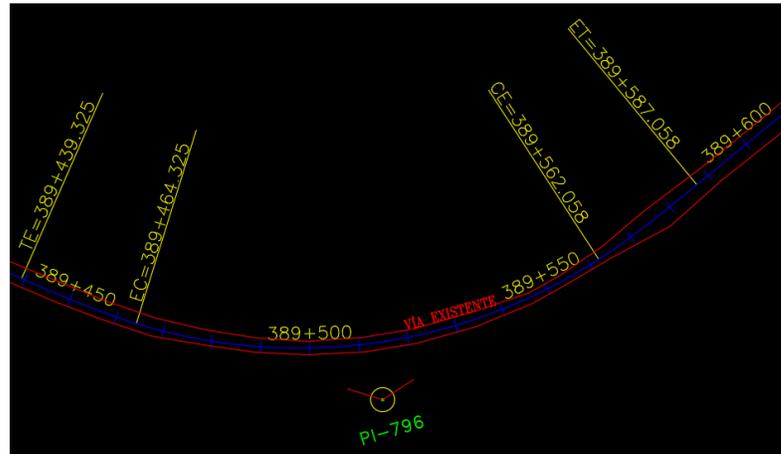
Para los trenes turísticos y de carga ligera, la velocidad puede variar, aunque típicamente se sitúa entre 30 y 50 kilómetros por hora. Esta velocidad asegura una operación segura en las áreas montañosas, permitiendo que los trenes manejen de manera eficiente y segura tanto las curvas como las pendientes pronunciadas.

Para trenes de baja velocidad es decir con velocidades iguales o menores a 80 km/h la normativa indica que la tangente mínima puede ser entre 30 a 60 metros.

A continuación, se muestra un ejemplo del abscisado y obtención de tangente de la curva 3:

**Figura 10**

*Curva 3*



*Nota.* Plano topográfico de la línea férrea mostrando un segmento curvo de la vía existente. Elaborado por: Los autores

$$T = (EC - TE) + (ET - CE)$$

$$T = (389 + 464.325 - 389 + 439.325) + (389 + 587.058 - 389 + 562.058)$$

$$T = 50.000$$

#### 4.4.1.1 Cálculos Grado de curvatura

La normativa AREMA (American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association) es una referencia crucial en el diseño y mantenimiento de vías férreas. Para determinar el grado de curvatura de una vía férrea según esta normativa, se utiliza la fórmula del grado de curvatura que es común en ingeniería ferroviaria en Estados Unidos.

La fórmula del grado de curvatura  $G$  está relacionada con el radio de curvatura  $R$  de la siguiente manera:

$$G = \frac{5729.58}{R}$$

Dónde:

$G$  es el grado de curvatura en grados,

$R$  es el radio de la curva en pies.

#### 4.4.1.2 Determinación longitud de espiral

Para la determinación de la longitud de la espiral la normativa AREMA sugiere la siguiente ecuación.

$$L_s = \frac{\Delta}{G} \times 100$$

Donde:

$L_s$  es la longitud de la espiral,

$\Delta$  es el ángulo de deflexión de la espiral en grados,

$G$  es el grado de curvatura en grados.

#### 4.4.2 Ángulos de deflexión

Según AREMA, el ángulo de deflexión ( $\Delta$ ) es el ángulo central que subtiende el arco de la curva y se mide en grados, minutos y segundos. Es el ángulo formado por dos tangentes que se encuentran en el punto de intersección de la curva (PI - Point of Intersection).

Se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$\Delta = \frac{180 \times L}{\pi \times R}$$

Donde:

$\Delta$  es el ángulo de deflexión en grados,

$L$  es la longitud de la curva en pies.

$R$  es el radio de la curva en pies.

AREMA utiliza el ángulo de deflexión para determinar la geometría de las curvas, asegurando que las transiciones entre las secciones rectas y curvas sean suaves y seguras para el funcionamiento de los trenes. La precisión en la medición y aplicación del ángulo

de deflexión es esencial para mantener la estabilidad y la seguridad del tren, especialmente en altas velocidades y en terrenos montañosos.

#### **4.4.3 Distancia de visibilidad**

Se refiere a la distancia de visibilidad en las vías de ferrocarril se refiere a la distancia mínima a la cual un maquinista debe ser capaz de ver un obstáculo o una señal en la vía férrea para poder detener el tren de manera segura. Esta distancia es crucial para garantizar la seguridad operativa y prevenir accidentes.

La distancia de visibilidad se puede definir tomando en consideración dos aspectos importantes:

##### **4.4.3.1 Distancia de visibilidad de frenado (Stopping Sight Distance, SSD)**

Esta es la distancia mínima requerida para que un tren pueda detenerse completamente antes de llegar a un obstáculo en la vía. Depende de la velocidad del tren, las condiciones de frenado y el tiempo de reacción del maquinista. La fórmula general para calcular la distancia de visibilidad de frenado es:

$$SSD = V \times tr + \frac{V^2}{2a}$$

Donde:

V es la velocidad del tren,

Tr es el tiempo de reacción del maquinista,

A es la aceleración del tren también se conoce como la tasa de frenado.

##### **4.4.3.2 Distancia de visibilidad de adelantamiento (Overtaking Sight Distance, OSD)**

Esta es la distancia requerida para que un tren que se aproxima tenga suficiente visibilidad para adelantar otro tren u obstáculo en la vía de forma segura. Este tipo de visibilidad es esencial en tramos donde el adelantamiento es permitido o necesario.

La normativa AREMA establece pautas específicas para ambas distancias de visibilidad, teniendo en cuenta la velocidad operativa, las condiciones del terreno, la configuración de la vía y otros factores relevantes. Estas pautas están diseñadas para garantizar que los trenes puedan operar de manera segura y eficiente en todas las circunstancias.

#### **4.4.4 Sobreancho de la vía**

El sobreancho de las vías de ferrocarril es una ampliación de la separación entre los rieles, principalmente en las curvas, para compensar las fuerzas centrífugas que actúan sobre los trenes en movimiento. El propósito del sobreancho es mejorar la estabilidad del tren y reducir el desgaste de los rieles y las ruedas.

El sobreancho se aplica para permitir una mayor libertad de movimiento de los ejes del tren en las curvas y para reducir la posibilidad de descarrilamiento. La cantidad de sobreancho depende de varios factores, incluyendo el radio de la curva, la velocidad del tren y el tipo de material rodante.

El cálculo específico del sobreancho se realiza utilizando fórmulas y tablas proporcionadas por la normativa AREMA, que consideran los factores mencionados anteriormente. Una fórmula básica utilizada es:

$$E = \frac{V^2 * G}{R}$$

Donde:

E es el sobreancho,

V es la velocidad del tren

G es el gage (distancia entre los rieles) estándar,

R es el radio de la curva.

A continuación, se muestran valores referenciales de sobre anchos indicados en normativa.

**Tabla 3***Valores referenciales de sobre anchos*

<b>SOBREANCHO DE CURVAS</b>	
<b>RADIO</b>	<b>SOBREANCHO (mm)</b>
R > 250 m	0
250 m > R > 150 m	6
150 m > R > 110 m	12
R > 110 m	18

*Nota.* Radios y sobre anchos mínimos para la curva. Elaborado por: AREMA, 2021

En la tabla que se muestra a continuación se pueden visualizar los elementos de todas las curvas horizontales del proyecto, así mismo se puede verificar que las magnitudes de sus parámetros son adecuadas según la normativa revisada.

**Tabla 4***Elementos de curvas horizontales*

<b>No Curva</b>	<b>Abscisa</b>	<b>Radio</b>	<b>Tangente en metros</b>	<b>Grado de curvatura</b>	<b>Long Espiral</b>	<b>Deflexión</b>	<b>Peralte</b>
1	388+555.04	113.16	67.3	15.43	25	74.14	0.012
2	389+073.12	125.21	46.569	13.95	25	52.24	0.012
3	389+516.58	111.5	50	15.66	25	63.07	0.012
4	389+764.54	133.21	15.767	13.11	25	24.25	0.012
5	389+904.33	124.22	49.036	14.06	25	54.61	0.012
6	390+078.43	182.83	68.999	9.55	25	49.19	0.006
7	390+384.06	289.64	29.517	6.03	25	11.64	0
8	390+554.87	163.72	50.385	10.67	25	42.96	0.006
9	390+948.44	184.71	76.789	9.45	25	52.90	0.006
10	391+899.71	184.54	33.136	9.46	25	28.12	0.006
11	392+191.06	120.7	104.657	14.47	25	93.72	0.012
12	392+409.03	213.76	28.705	8.17	25	22.00	0.006
13	392+528.95	178.12	26.416	9.8	25	24.91	0.006
14	392+835.42	618.92	53.024	2.82	25	9.79	0
15	393+087.24	611.45	33.386	2.86	25	6.25	0
16	393+236.77	237.95	48.25	7.34	25	28.95	0.006
17	393+372.81	127.8	22.932	13.67	25	31.55	0.012

18	393+496.75	135.7	34.575	12.87	25	39.14	0.012
19	393+670.28	107.4	45.4	16.26	25	59.17	0.018
20	393+831.07	186.2	40.099	9.38	25	32.00	0.006
21	394+033.63	167.21	52.82	10.44	25	43.63	0.006
22	394+415.00	126.14	56.8	13.84	25	59.84	0.012
23	394+677.09	132.01	68.327	13.23	25	65.58	0.012
24	394+997.48	600	36.74	2.91	25	7.01	0
25	395+311.75	146.78	68.838	11.9	25	60.01	0.012
26	395+590.19	102.76	63.852	16.99	25	77.65	0.018
27	397+024.54	264.71	36.302	6.6	25	15.62	0
28	397+199.02	146.36	46.853	11.93	25	45.29	0.012
29	397+538.84	144.03	57.547	12.13	25	53.50	0.012
30	398+936.87	115.57	58.522	15.11	25	66.11	0.012
31	399+206.64	143.94	93.628	12.13	25	76.04	0.012
32	403+332.89	477.87	39.901	3.65	25	9.55	0
33	404+293.68	276.84	43.408	6.31	25	17.82	0
34	405+569.77	167.76	54.867	10.41	25	44.76	0.006
35	405+823.10	145.08	87.806	12.04	25	72.24	0.012
36	406+035.70	183.3	41.45	9.53	25	33.30	0.006

*Nota.* Parámetros de geometría de la línea férrea. Elaborado por: Los Autores.

#### ***4.5 Alineamiento vertical***

Dentro del alineamiento vertical se tiene que mencionar los siguientes conceptos:

##### **4.5.1 Gradiente o pendiente Longitudinal**

###### ***a) Pendiente Máxima Permitida***

AREMA establece límites específicos para las pendientes máximas, que varían según el tipo de tren y las condiciones operativas. Las pendientes más pronunciadas se permiten en vías de menor tráfico o de uso específico, mientras que las vías de alta capacidad y velocidad requieren pendientes más suaves.

###### ***b) Cambio de Pendiente (Crestas y Valles)***

El cambio de pendiente debe ser gradual para evitar esfuerzos excesivos en la maquinaria y para asegurar la comodidad de los pasajeros. Las transiciones entre pendientes ascendentes y descendentes se diseñan con curvas verticales suaves.

## 4.5.2 Curvas verticales

### 4.5.2.1 Curvas Cóncavas y Convexas

Las curvas verticales se utilizan para conectar diferentes pendientes. Una curva cóncava se encuentra en la base de una pendiente (valle), mientras que una curva convexa se encuentra en la cima de una pendiente (cresta).

### 4.5.2.2 Radio de curvatura

El radio de las curvas verticales se determina en función de la velocidad del tren y la longitud del gradiente. Radios más grandes son necesarios para velocidades mayores.

### 4.5.2.3 Estaciones y secciones críticas

En zonas de estaciones y cruces, el alineamiento vertical debe ser particularmente cuidadoso para facilitar las operaciones de frenado y arranque, así como las maniobras de carga y descarga.

### 4.5.2.4 Consideraciones de Drenaje

Un adecuado alineamiento vertical también debe tener en cuenta el drenaje del agua. Las vías deben diseñarse para evitar la acumulación de agua en la plataforma, lo cual puede afectar la estabilidad de la vía.

A continuación, se muestran las curvas verticales del proyecto:

**Tabla 1**

*Curvas verticales del proyecto*

No Curva	Abscisa	Cota	K	Longitud (m)
1	388+320	3553.28	834.08	200
2	388+600.15	3556.01	1974.55	200
3	389+120	3560.54	47.83	200
4	389+480	3548.63	337.87	200
5	390+060	3526	1353.3	200
6	390+480	3508.99	119.65	200
7	390+720	3503.29	160.74	200
8	390+960	3494.59	792.17	200
9	391+400	3479.77	638.9	200
10	392+860	3426	715.26	200

11	393+920	3384	8871.24	200
12	394+200	3372.97	279.88	200
13	394+560	3361.36	2856.63	200
14	394+920	3350	109.11	200
15	395+160	3346.83	471.42	200
16	395+380	3344.85	149.18	190
17	395+660	3345.9	66.23	200
18	396+040	3335.86	226.89	200
19	396+660	3314	500.81	200
20	396+880	3307.12	34.05	114
21	397+180	3307.79	69.84	200
22	397+440	3300.92	144.5	200
23	397+660	3298.15	1028.49	200
24	398+200	3290.31	123.75	200
25	398+700	3291.13	107.87	150
26	398+900	3288.68	51.71	120
27	399+080	3282.29	89.81	160
28	399+280	3278.76	292.75	180
29	399+480	3274	7169.25	160
30	399+720	3268.23	95.74	200
31	400+220	3266.66	176.94	200
32	400+500	3262.62	159.84	200
33	400+820	3262	72.8	200
34	401+420	3244.36	442.24	200
35	402+020	3224	94.86	200
36	402+340	3219.89	142.13	200
37	403+540	3187.59	1318.49	200
38	404+440	3162	126.53	160
39	404+640	3158.84	14.88	190
40	405+320	3139.43	210.47	200
41	405+500	3136	252.02	120
42	405+640	3134	188.29	100
43	405+800	3130.86	93.13	140
44	405+960	3125.32	249.58	120
45	406+320	3114.59	285.91	140
46	406+540	3109.11	103.4	140
47	406+840	3097.57	149.05	200

*Nota.* Todas las curvas verticales existentes en el proyecto. Elaborado por: Los autores.

## 4.6 Señalización ferroviaria

### 4.6.1 Señalización *ferroviaria*

La señalización ferroviaria incluye todos los sistemas y dispositivos utilizados para controlar el tráfico ferroviario, asegurando que los trenes operen de manera segura y coordinada.

A continuación, se muestran algunas definiciones y principios que debería incluir una señalización ferroviaria:

#### 4.6.1.1 Tipos de señales

##### a) Señales fijas

Estas incluyen señales de posición fija, como las señales de parada, aviso y precaución, que indican al maquinista las acciones que debe tomar.

#### *Figura 11*

##### *Señales fijas en una vía ferroviaria*



*Nota.* Actualmente la señalética fija existente se encuentra en buen estado, excepto en los tramos 4+320 y 7+570 que está deficiente. Elaborado por: Los Autores.

***b) Señales móviles***

Son dispositivos que pueden moverse y cambiar de posición, como las luces de cruce y los indicadores de vía libre u ocupada.

**4.6.2 Control de tráfico Centralizado (CTC)**

El CTC es un sistema utilizado para supervisar y controlar el movimiento de los trenes desde un centro de control. AREMA establece las directrices para la implementación de sistemas CTC, que incluyen el uso de señales luminosas y sistemas de comunicación avanzada para gestionar el tráfico ferroviario en tiempo real.

**4.6.2.1 Sistema de Bloqueo**

***a) Bloque Automático***

Este sistema divide la vía en secciones (bloques) y utiliza señales automáticas para controlar la entrada y salida de trenes en cada bloque, evitando colisiones.

***b) Bloqueo Manual***

Este bloqueo es utilizado en vías menos transitadas, donde las señales son controladas manualmente por operadores en torres de control.

**4.6.3 Señalización de cruces a nivel**

Las directrices de AREMA especifican los requisitos para la señalización en cruces a nivel, es decir, donde las vías del tren intersectan con carreteras. Estas especificaciones incluyen la implementación de barreras automáticas, luces parpadeantes y señales acústicas para advertir a los conductores y peatones sobre la proximidad de un tren.

**4.6.4 Indicadores de Velocidad y Restricciones**

Las señales de velocidad indican los límites de velocidad en diferentes tramos de la vía, mientras que las señales de restricción pueden informar sobre condiciones específicas, como obras en la vía o tramos con problemas.

#### **4.6.5 Sugerencia de señalización**

Después de realizado el recorrido en campo y que se tiene claro el panorama en cuanto al estado actual del tramo ferroviario, se plantea la sugerencia que debe ser implementada en el tramo de estudio:

##### **a) Curvas**

Para la seguridad de la ruta es indispensable que los conductores puedan visualizar de manera clara la aproximación o término de curvas para esto es necesario implementar los siguientes criterios de señalética.

- Señalética de aproximación a curva: se deberá implementar a 500 metros antes del inicio de la curva. Esta señal deberá ser de color amarilla y debe representar el sentido de la curva.
- Señalética de velocidad en curva: es necesario mostrar la velocidad permitidas en cada curva para lo cual es necesario conocer las velocidades permitidas en las curvas del proyecto. La normativa AREMA indica que dependiendo el peralte de la curva la velocidad máxima permisible será de 10 a 20 km/h para evitar el descarrilamiento. Para el presente proyecto se establecerá una velocidad permisible de 15 km/h considerando que si se tiene los valores de peralte mayor a los requeridos.

## Figura 12

*Ejemplo de señalética de velocidad en curvas*



*Nota.* Esta señal debe estar en todas las curvas aproximadamente 100 m antes que empiece la curva. Fuente: (Especificaciones de construcción de vías férreas, 2007 )

### ***b) Pendientes***

Es necesario indicar el inicio y velocidad sugeridos según el tipo de pendiente.

- Señal de aproximación a pendiente: se deberá ubicar una señalización 500 metros antes del inicio de la pendiente.

Se deberá implementar una señalética con la siguiente descripción: Señal amarilla con un ícono del tipo de pendiente sea ascendente/descendente y la inclinación. En el texto se deberá colocar "Pendiente ascendente/descendente en 500 m".

- Señal entrada a pendiente: Esta señal deberá estar ubicada al inicio de la pendiente y deberá ser una señal amarilla que contenga la inclinación específica de la pendiente. Además, se deberá colocar el texto del valor de la pendiente.

### Figura 13

*Ejemplo señal de inicio de pendiente*



*Nota.* Señal de velocidad en pendiente: Esta señalética igual debe ser implementada en el inicio de la pendiente. Deberá ser amarilla y debe contener el límite de velocidad.

Fuente: (Especificaciones de construcción de vías férreas, 2007 ).

#### c) Cruces a nivel

Cruces a nivel son puntos críticos de interacción entre el tráfico ferroviario y vehicular, y su gestión adecuada es esencial para la seguridad y eficiencia del transporte en Ecuador.

cruce a nivel de línea férrea en Ecuador se refiere a un punto de intersección donde una vía ferroviaria cruza al mismo nivel que una carretera, calle o camino. Estos cruces están ubicados en el mismo plano, lo que significa que tanto los vehículos como los peatones deben atravesar las vías del tren al mismo nivel.

Del recorrido realizado se tiene la siguiente evaluación de los cruces a nivel:

**Tabla 2**

*Análisis señalético de cruces a nivel*

Puntos	Abscisas (m)	UTM 17M		Señaléticas
		X	Y	
1	0+000	767119	9942449	Buen estado
2	0+0,769	767120	9942381	No hay señalética
3	0+630	767077	9942027	Buen estado
4	0+988	767052	9941828	Buen estado
5	1+220	767032	9941491	Buen estado
6	1+560	767071	9941255	Buen estado
7	1+680	766925	9940963	Buen estado
8	1+910	766918	9940858	Buen estado
9	3+100	766914	9940612	Buen estado
10	4+320	766769	9939445	Deficiente
11	4+700	766406	9938573	No hay señalética
12	5+360	766155	9938432	No hay señalética
13	7+570	765788	9937438	No hay señalética
14	11+100	764748	9935512	Buen estado
15	18+485	764642	9932159	Buen estado

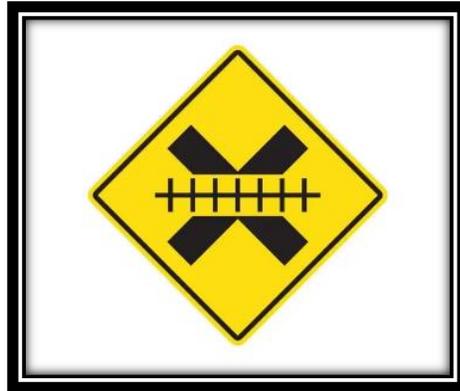
*Nota.* Estado actual de las señaléticas en el tramo Aloasí – Boliche. Elaborado por:

Los Autores

- Señal de cruce a nivel: Esta señal se debe implementar al menos 100 metros antes del cruce a nivel.

## Figura 14

*Ejemplo señal cruce a nivel*



Nota. Esta señal debe estar mínimo a 100 m antes del cruce a nivel. Fuente: (Especificaciones de construcción de vías férreas, 2007 )

- Luces rojas intermitentes: deberán ser luces rojas que muestren luz intermitente cuando se aproxime el tren, esto indicará a los vehículos que no pueden cruzar la línea férrea.
- Detección del Tren: Los sensores ubicados en las vías detectan la proximidad de un tren.
- Advertencia Visual: Las luces rojas parpadean a una frecuencia predefinida (aproximadamente 60 flashes por minuto) para advertir a los conductores y peatones.
- Desactivación: Una vez que el tren ha pasado, las luces se apagan automáticamente.

## Figura 15

*Ejemplo de luces intermitentes*



*Nota.* Se trata de barreras metálicas reflectivas las cuales descenden y cruzan el paso de los vehículos hacia la vía férrea. Fuente: (Especificaciones de construcción de vías férreas, 2007 ).

### *d) Límites de velocidad generales*

Es necesario establecer límites de velocidades adecuados para la seguridad de la vía.

- Señal de límite de velocidad general: Se recomienda ubicar señales con una frecuencia de 1000 metros. No se deberán ubicar en curvas ni en pendientes puesto que esta señalética ya fue sugerida en los literales anteriores. A continuación, se muestra la señalética a implementar:

**Tabla 7***Señalética en curvas horizontales*

<b>No Curva</b>	<b>ABSCISAS CURVAS HORIZONTALES</b>	<b>Señal de aproximación de curva</b>	<b>Señal de velocidad en curva</b>
1	PI	388+555.04	1
2	PI	389+073.12	1
3	PI	389+516.58	1
4	PI	389+764.54	1
5	PI	389+904.33	1
6	PI	390+078.43	1
7	PI	390+384.06	1
8	PI	390+554.87	1
9	PI	390+948.44	1
10	PI	391+899.71	1
11	PI	392+191.06	1
12	PI	392+409.03	1
13	PI	392+528.95	1
14	PI	392+835.42	1
15	PI	393+087.24	1
16	PI	393+236.77	1
17	PI	393+372.81	1
18	PI	393+496.75	1
19	PI	393+670.28	1
20	PI	393+831.07	1
21	PI	394+033.63	1
22	PI	394+415.00	1
23	PI	394+677.09	1
24	PI	394+997.48	1
25	PI	395+311.75	1
26	PI	395+590.19	1
27	PI	397+024.54	1
28	PI	397+199.02	1
29	PI	397+538.84	1
30	PI	398+936.87	1
31	PI	399+206.64	1
32	PI	403+332.89	1
33	PI	404+293.68	1
34	PI	405+569.77	1
35	PI	405+823.10	1
36	PI	406+035.70	1

*Nota.* Recomendación de señaléticas en curvas. Elaborado por: Los Autores

**Tabla 8***Señalética en curvas verticales*

<b>No Curva</b>	<b>Abscisa</b>	<b>Señal de aproximación a pendiente</b>	<b>Señal de entrada a pendiente</b>	<b>Señal de velocidad en pendiente</b>
1	388+320	1	1	1
2	388+600.15	1	1	1
3	389+120	1	1	1
4	389+480	1	1	1
5	390+060	1	1	1
6	390+480	1	1	1
7	390+720	1	1	1
8	390+960	1	1	1
9	391+400	1	1	1
10	392+860	1	1	1
11	393+920	1	1	1
12	394+200	1	1	1
13	394+560	1	1	1
14	394+920	1	1	1
15	395+160	1	1	1
16	395+380	1	1	1
17	395+660	1	1	1
18	396+040	1	1	1
19	396+660	1	1	1
20	396+880	1	1	1
21	397+180	1	1	1
22	397+440	1	1	1
23	397+660	1	1	1
24	398+200	1	1	1
25	398+700	1	1	1
26	398+900	1	1	1
27	399+080	1	1	1
28	399+280	1	1	1
29	399+480	1	1	1
30	399+720	1	1	1
31	400+220	1	1	1
32	400+500	1	1	1
33	400+820	1	1	1
34	401+420	1	1	1
35	402+020	1	1	1
36	402+340	1	1	1

37	403+540	1	1	1
38	404+440	1	1	1
39	404+640	1	1	1
40	405+320	1	1	1
41	405+500	1	1	1
42	405+640	1	1	1
43	405+800	1	1	1
44	405+960	1	1	1
45	406+320	1	1	1
46	406+540	1	1	1
47	406+840	1	1	1

*Nota.* Recomendación de señalética en pendientes. Elaborado por: Los Autores.

En resumen, es necesario la implementación de 72 señaléticas para curvas horizontales y 141 señaléticas para curvas verticales, además 3 señales de cruce a nivel, 3 luces intermitentes y 3 barreras para los cruces a nivel en total 222 señales.

#### **4.7 Peralte**

Se refiere a la elevación del riel exterior en una curva sobre el riel interior. Este diseño compensa las fuerzas centrífugas que actúan sobre el tren al tomar la curva, mejorando la seguridad y el confort del viaje.

El peralte ayuda a contrarrestar las fuerzas que tienden a desviar al tren hacia el exterior de la curva, mejorando la estabilidad y reduciendo el riesgo de descarrilamiento.

Para calcular el peralte se emplea la siguiente ecuación:

$$E = \frac{V^2}{g \times R}$$

Donde:

V es la velocidad del tren,

G es la aceleración debida a la gravedad,

R es el radio de la curva.

## **4.8 Radios mínimos**

### **4.8.1 Vías principales**

Para las vías principales que soportan trenes de alta velocidad y cargas pesadas, AREMA recomienda un radio mínimo de 873 metros. Este radio asegura que los trenes puedan operar de manera segura y eficiente, minimizando el desgaste de los rieles y las ruedas, y proporcionando estabilidad.

### **4.8.2 Vías industriales y de servicio**

En las vías industriales y de servicio, donde las velocidades operativas son generalmente más bajas, se permiten radios más pequeños. El radio mínimo recomendado para estas vías es de 175 metros. En circunstancias específicas, con medidas de seguridad adecuadas, se pueden utilizar radios menores.

### **4.8.3 Ferrocarriles de tránsito ligero**

Para sistemas de tránsito ligero, los radios mínimos pueden ser menores debido a la menor velocidad y peso de los trenes. Un radio comúnmente aceptado es de 91 metros, aunque puede variar según el diseño y las condiciones operativas específicas del sistema.

## CAPÍTULO V

### ELEMENTOS DE LA SUPERESTRUCTURA

#### 5.1 Balasto

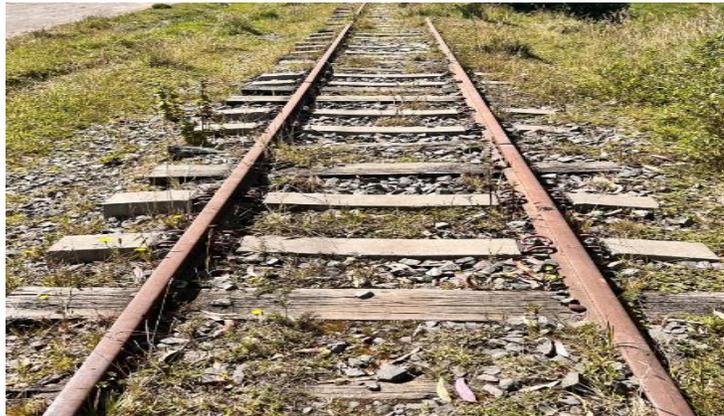
Se conoce como balasto al material granular compuesto por piedra triturada, es utilizado para dar estabilidad a la vía del ferrocarril. El aporte estructural que brinda el balasto ayuda a que se distribuyan de manera uniforme las cargas sobre la subestructura.

Además de la función estructural el balasto facilita el drenaje de agua, permite mantener los durmientes en su lugar y finalmente absorbe y reduce las vibraciones producidas por el paso de los trenes.

El tamaño, la forma y la calidad del balasto están especificados para asegurar que cumpla eficazmente con estas funciones. Según AREMA, el balasto debe estar compuesto por partículas duras y angulares que no se degraden fácilmente bajo carga.

#### **Figura 16**

*Balasto en vías férreas*



*Nota.* Piedra triturada, preferentemente granito o basalto, por su dureza y resistencia al desgaste. Elaborado por: Los autores.

### 5.1.1 Cálculos para la determinación del balasto

Estos cálculos deberán asegurar que el balasto cumpla con la función de proporcionar estabilidad, drenaje y soporte adecuado a las vías del tren. A continuación, se resumen los pasos y consideraciones principales para determinar el balasto:

#### 5.1.1.1. Selección del material

El balasto debe ser de piedra triturada dura y angular, generalmente de granito, basalto o piedra caliza. El tamaño de partícula recomendado está en el rango de 25 mm a 50 mm (1 a 2 pulgadas).

#### 5.1.1.2. Espesor del balasto

El espesor del balasto depende de la carga por eje del ferrocarril y la capacidad de la subrasante. Se puede emplear la siguiente expresión para su determinación:

$$h = \frac{Q}{k}$$

Donde:

Q es la carga por eje,

K es la capacidad de carga de la subrasante.

**Tabla 3**

*Espesor del balasto para diferentes condiciones*

<b>CARGA POR EJE</b>	<b>CAPACIDAD DE LA SUBRASANTE (psi)</b>	<b>ESPEJOR DE BALASTO (pulgadas)</b>
50000	3	12
75000	3	18
10000	3	24

Fuente: AREMA,2017

## 5.2 Durmientes

Los durmientes son elementos de soporte colocados transversalmente a las vías férreas.

Su función principal es distribuir la carga de los trenes sobre una superficie mayor del balasto y la subrasante, mantener la separación correcta entre los rieles (calibre) y asegurar que los rieles permanezcan en su posición bajo el tráfico ferroviario. Los durmientes pueden estar hechos de varios materiales, incluyendo madera, hormigón y compuestos de materiales.

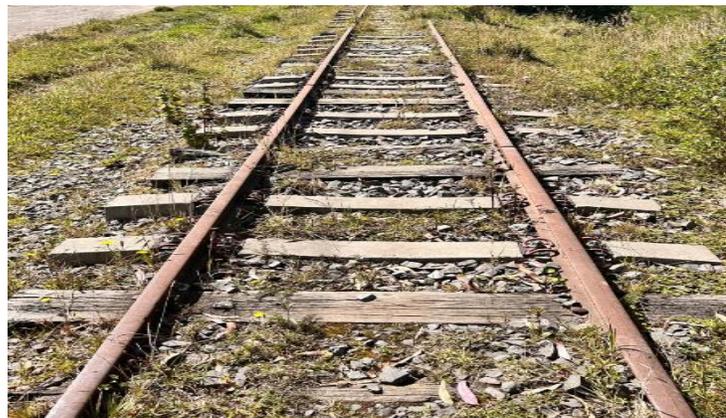
### 5.2.1. Durmientes de Madera

Tradicionalmente utilizados debido a su flexibilidad y facilidad de instalación. AREMA establece especificaciones para su preservación y manejo para maximizar su vida útil y desempeño.

Es importante mencionar que la madera deberá ser tratada para resistir la humedad y el ataque biológico. La longitud típica es de 2.50 metros y su sección de 25 cm de ancho y 15 cm de largo.

#### **Figura 17**

*Durmientes de madera de la línea férrea*



*Nota.* Los durmientes de madera siguen siendo una opción viable para la línea férrea de Ecuador debido a su costo y propiedades naturales. Elaborado por: Los autores.

### 5.2.2. Durmientes de Hormigón

Tienen una mayor durabilidad y estabilidad que otros durmientes. Son más pesados y, generalmente, requieren menos mantenimiento que los de madera.

La longitud típica de estos elementos es de 2.60 metros y una sección de 30 cm de ancho y 20 cm de espesor.

### Figura 18

*Durmientes de hormigón de la línea férrea*



*Nota.* Los durmientes de hormigón ofrecen una solución robusta y de bajo mantenimiento para la infraestructura ferroviaria, con una vida útil considerablemente más larga en comparación con los de madera.. Elaborado por: Los autores.

### 5.2.3. Durmientes Compuestos

Fabricados a partir de materiales reciclados y otros componentes, ofrecen beneficios en términos de sostenibilidad y durabilidad.

## 5.3 Fijaciones del ferrocarril

Las fijaciones del ferrocarril son componentes cruciales que conectan los rieles con las traviesas (también llamadas durmientes), garantizando la estabilidad de las vías y

facilitando la transferencia de cargas entre el tren y la estructura ferroviaria. Estas fijaciones deben resistir fuerzas tanto dinámicas como estáticas, proporcionando durabilidad y seguridad a largo plazo.

Existen diferentes tipos de fijaciones en función de la utilidad y materiales disponibles, algunos tipos se mencionan a continuación:

### **5.3.1. Fijaciones rígidas**

Son aquellas que utilizan elementos rígidos como clavos o pernos cuya función es asegurar el riel. Debido a su elevada rigidez no absorben vibraciones ni fuerzas laterales.

#### **Figura 19**

*Fijaciones rígidas de la línea férrea*



*Nota.* Estas fijaciones proporcionan una sujeción firme, su capacidad limitada para absorber vibraciones debe ser considerada en el diseño del sistema ferroviario. Elaborado por: Los autores.

### **5.3.2. Fijaciones elásticas**

Este tipo de fijaciones se conforman de elementos de caucho o plástico cuyos materiales permiten flexibilidad. A comparación de las fijaciones rígidas estas si permiten la absorción de vibraciones y fuerzas laterales.

## Figura 20

### *Fijaciones elásticas de la línea férrea*



*Nota.* Estas fijaciones ayudan a reducir la vibración y el ruido, mejoran el confort de viaje y prolongan la vida útil de los rieles y otros componentes. Elaborado por: Los autores.

### **5.3.3. Fijaciones semirrígidas**

Son una combinación entre los dos tipos de fijaciones anteriormente descritas.

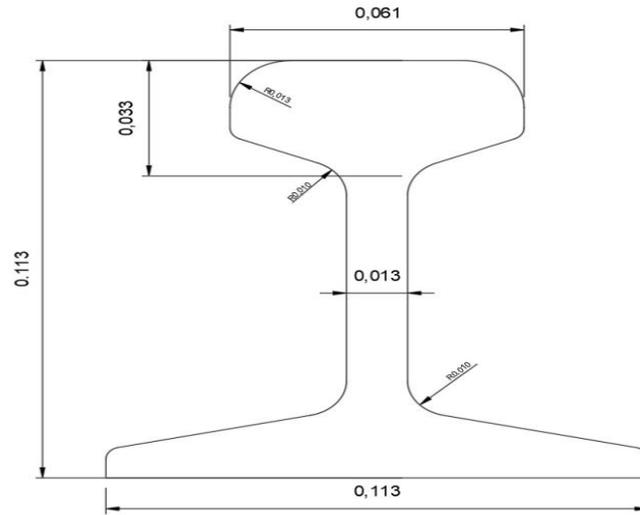
### **5.4 Rieles**

Las líneas férreas en Ecuador tienen rieles de acero debido a su alta resistencia y durabilidad. El acero en el ámbito de la construcción de obras civiles es muy utilizado, es una aleación de hierro y carbono que ofrece bastante resistencia a la tensión y desgaste.

La sección típica de los rieles en el tramo considerado se muestra a continuación:

**Figura 21**

*Sección de riel en las vías férreas del tren*



Fuente: Hernández & Macha, 2023

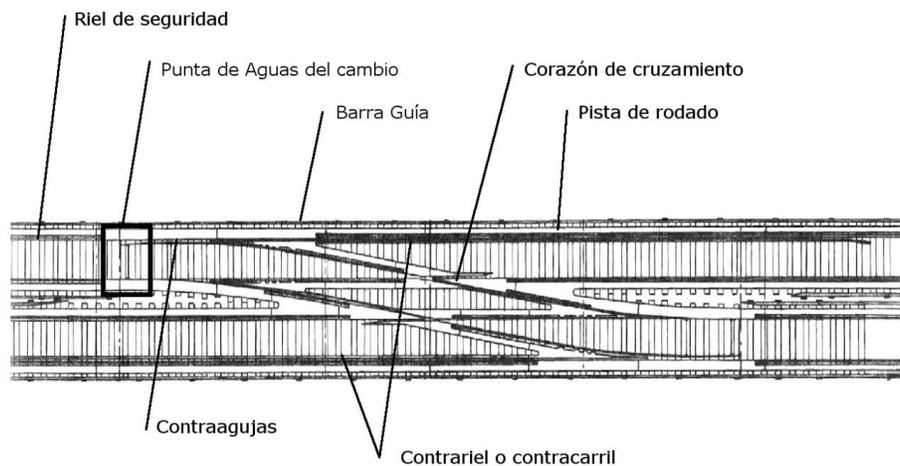
### 5.5 Cambiavías

Son dispositivos mecánicos cuya función es desviar los trenes de una vía a otra.

También se conocen como aguja o desvío.

**Figura 22**

*Esquema de cambiavías*



*Nota.* Incluye detalles como las palancas, los mecanismos de accionamiento y los componentes de la vía, destacando cómo se sincronizan para asegurar una transición segura. Fuente: Polanco, 2012.

Los componentes principales de una cambiavía son:

#### **5.5.1. Puntas de aguja**

Son las secciones móviles del riel que permiten cambiar la ruta del tren. Están diseñadas para moverse lateralmente, dirigiendo las ruedas del tren hacia la vía deseada.

#### **5.5.2. Contrapuntas**

Son elementos fijos que trabajan junto con las puntas de aguja para asegurar que el tren se desvíe correctamente.

#### **5.5.3. Placa de base**

Es el soporte sobre el cual se montan las agujas y otros componentes de los cambiavías, proporcionando estabilidad y alineación precisa.

#### **5.5.4. Sistema de accionamiento**

Mecanismo que permite mover las agujas, que puede ser manual, eléctrico o hidráulico.

#### **5.5.5. Corazón del cruzamiento**

Punto donde se cruzan los rieles, permitiendo que las ruedas del tren pasen de un riel a otro sin interrupción.

## CAPÍTULO VI

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 6.1 Determinación del estado actual

##### 6.1.1 Riel

De los recorridos de campo realizados se evidencia que existen algunos tramos en donde las rieles se encuentran cubiertas con vegetación, sin embargo, visualmente no se evidencia un deterioro significativo del recubrimiento por lo que se asume que su capacidad estructural no se ve afectada. Es necesario realizar un retiro de vegetación para la rehabilitación.

#### **Figura 23**

*Estado actual de las rieles*



*Nota.* Los rieles se encuentran mayormente en estado de corrosión. Elaborado por:  
Los Autores.

### 6.1.2 Sujetadores

Se utilizó libretas de campo cuyo formato se muestra a continuación:

**Tabla 4**

*Libreta de campo para análisis de fijaciones*

ABSCISA DURMIENTE INTERMEDIO	# TIRAFONDOS	AJUSTE DEL TIRAFONDO		OBSERVACIONES
		CUMPLE(#)	NO CUMPLE (#)	
0+000	4	4		
0+006	4	4		

*Nota.* Evidencia de evaluación de fijaciones. Elaborado por: Los autores

Se analizó todas las fijaciones de los tramos de la vía y se encontró algunas fijaciones en mal estado y en algunos casos incluso fijaciones inexistentes.

**Figura 24**

*Estado actual de algunas fijaciones*



*Nota.* Las fijaciones están completas en cada tramo evaluado. Elaborado por: Los Autores

### 6.1.3 Durmientes

Todos los durmientes de la vía férrea son de madera y en su mayoría se encuentran cubiertos por el balasto como se identifica en la siguiente figura.

**Figura 25**

*Estado actual de los durmientes*



*Nota.* Durmientes cubiertos por más del 80% de vegetación. Elaborado por: Los Autores.

A continuación, se muestra un cuadro que explica los materiales de los que están conformados los durmientes según sus abscisas.

**Tabla 5***Materiales de los durmientes*

<b>Puntos</b>	<b>Abscisas (m)</b>	<b>Material</b>
1	0+000	Hormigón
2	0+0,75	
3	0+750	Madera-hormigón (1 y 1)
4	0+988	
5	0+988	Madera
6	1+230	Madera
7	1+230	Madera-hormigón (1 y 1)
8	1+680	
9	1+930	
10	1+930	Madera
11	4+700	
12	4+320	
13	5+360	
14	7+570	Madera-hormigón (2 y 2)
15	11+500	
16	11+500	
17	15+600	Hormigón
18	15+600	
19	18+500	

*Nota.* Tramos de la línea férrea con diferentes tipos de durmientes. Elaborado por.

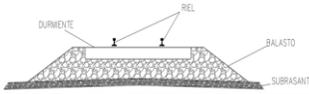
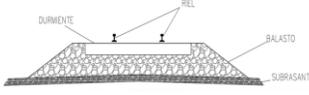
Los autores.

#### **6.1.4 Balasto**

Se analizó el estado del balasto cada 20 metros, y se registró en unas fichas de campo que se muestran en la siguiente figura:

**Tabla 6**

*Libreta de campo para análisis de balasto*

ITEM	ABSCISA	CUMPLE	NO CUMPLE	ESQUEMA	OBSERVACIONES
1	0+000	X			
2	0+020	X			

*Nota.* Sección característica del tramo. Elaborado por. Los autores.

Se observó que en algunos tramos no existe gran parte del balasto y en otros este se encontraba totalmente cubierto por la vegetación. Después del procesado de los datos se concluyó que es necesaria la reposición de 5538 m<sup>3</sup> de balasto.

**Figura 26**

*Análisis de balasto en campo.*



*Nota.* Calidad del balasto deficiente en la línea férrea. Elaborado por: Los autores.

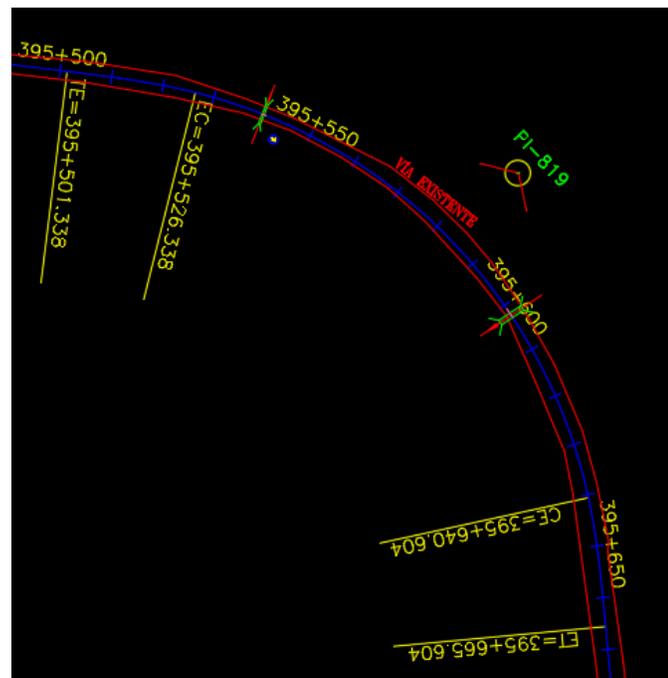
## 6.1.5 Alineamiento vertical y horizontal

### 6.1.5.1 Radios mínimos

Como se revisó antes según la normativa AREMA para Ferrocarriles de tránsito ligero, categoría a la que se apega el ferrocarril del proyecto, se deberían tener radios superiores a 90 metros. Una vez revisado el alineamiento horizontal del proyecto se tiene que el radio mínimo de curva es de 102.76 metros correspondiente a la curva identificada como 26.

#### Figura 27

Curva 26 - Radio mínimo



*Nota.* Radio mínimo de la curva del proyecto ferroviario. Elaborado por: Los Autores

### 6.1.5.2 Peralte

En la tabla 10 se muestran los valores de peralte para cada una de las curvas del alineamiento horizontal. Se tiene un valor máximo de 0.11 m para un radio de 76.06 metros y un valor de peralte mínimo de 0 metros para un radio de 6553.51 metros.

### **6.1.5.3 Sobreanchos**

En la tabla 9 se muestran los valores de sobreanchos existentes en las curvas del tramo de análisis. Como se evidencia se tiene un valor máximo de 0.018 metros para un radio de 76.06 metros y un mínimo de 0 metros para un radio de 6553.51 metros.

En anexos se presentan las fichas de campo que se utilizaron para realizar la evaluación del estado actual de las vías.

## **6.2 Interpretación de resultados**

### **6.2.1 Radios mínimos**

Con base en los resultados obtenidos del levantamiento de datos, alineamiento horizontal los autores consideran que el diseño geométrico de la vía de ferrocarril es óptimo pues no se tienen radios menores a lo establecido en la normativa AREMA para las condiciones de velocidades asumidas para el proyecto.

### **6.2.2 Curvas espirales**

Del alineamiento horizontal se desprende que en el trazado existen 36 curvas en el tramo del proyecto del recorrido ferroviario entre Aloasí – Boliche. Las necesidades de circulación del ferrocarril han incidido de manera directa en el trazado.

En la sección anexos se presentan todas las características de las curvas existentes en el trazado.

### **6.2.3 Peralte**

Al considerarse el ferrocarril de este proyecto como uno de tránsito ligero y mayormente destinado al sector turístico, no se requieren valores de peraltes considerables sin embargo se evidencia en la tabla 9 que si se tienen valores considerables por lo que se puede concluir que en relación a peraltes todas las curvas del trazado se consideran seguras.

#### 6.2.4 Sobre anchos

Por sobre anchos la vía también resulta óptima ya que se tienen valores mayores a los indicados en la normativa según la tabla 4. Los valores de sobre anchos para cada curva se exponen en la tabla 5.

A continuación, se muestran ejemplos de las fichas de campo realizados para distintos tramos, los datos de las fichas completas se muestran en anexos.

**Tabla 7**

*Ejemplo de ficha de campo evaluación de Balasto y Sendas*

<b>ITEM</b>	<b>ABSCISA</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>NO CUMPLE</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
71	0+710		x	NO HAY GRAN PARTE DE BALASTO
72	0+720		x	NO HAY GRAN PARTE DE BALASTO
73	0+730		x	NO HAY GRAN PARTE DE BALASTO
74	0+740		x	NO HAY GRAN PARTE DE BALASTO
75	0+750		x	NO HAY GRAN PARTE DE BALASTO
76	0+760		x	NO HAY GRAN PARTE DE BALASTO
77	0+770		x	NO HAY GRAN PARTE DE BALASTO
78	0+780		x	NO HAY GRAN PARTE DE BALASTO
79	0+790		x	NO HAY GRAN PARTE DE BALASTO
80	0+800		x	NO HAY GRAN PARTE DE BALASTO
81	0+810		x	NO HAY GRAN PARTE DE BALASTO
82	0+820		x	NO HAY GRAN PARTE DE BALASTO

*Nota.* Evaluación de cantidad de balasto. Elaborado por: Los Autores

**Tabla 8***Ejemplo de fichas de campo de control de fijaciones*

ABSCISA DURMIENTE INTERMEDIO	# TIRAFONDOS	AJUSTE DEL TIRAFONDO		OBSERVACIONES
		CUMPLE(#)	NO CUMPLE (#)	
0+600	3	3		HACE FALTA 2
0+696	3	3		HACE FALTA 2
0+810	3	3		HACE FALTA 2
0+948	3	3		HACE FALTA 2
1+020	3	3		HACE FALTA 2
1+074	3	3		HACE FALTA 2
1+200	3	3		HACE FALTA 2
1+326	3	3		HACE FALTA 2
1+428	3	3		HACE FALTA 2
1+560	4	4		NO HAY 1 TIRAFONDO
1+608	3	3		HACE FALTA 2
1+704	3	3		HACE FALTA 2
1+854	4	4		NO HAY 1 TIRAFONDO
1+902	4	4		NO HAY 1 TIRAFONDO
1+908	4	4		NO HAY 1 TIRAFONDO
1+914	4	4		NO HAY 1 TIRAFONDO
1+956	3	3		HACE FALTA 2
2+076	4	4		NO HAY 1 TIRAFONDO
2+082	4	4		NO HAY 1 TIRAFONDO
2+088	4	4		NO HAY 1 TIRAFONDO
2+112	3	3		HACE FALTA 2 FIJACIONES
2+196	3	3		HACE FALTA 2
2+262	0	0		NO HAY FIJACIONES
2+328	0	0		NO HAY FIJACIONES
2+334	0	0		NO HAY FIJACIONES
2+340	0	0		NO HAY FIJACIONES
2+346	0	0		NO HAY FIJACIONES
2+352	0	0		NO HAY FIJACIONES
2+634	0	0		NO HAY FIJACIONES
2+640	0	0		NO HAY FIJACIONES
2+646	0	0		NO HAY FIJACIONES

*Nota.* Cuantificación de fijaciones actuales del tramo evaluado. Elaborado por: Los

Autores,

**Tabla 9***Ejemplo libreta de campo de juntas.*

# LECTURA	ABSCISA	MEDICION (mm)	
		IZQ	DER
1	0+000	1	1
2	0+006	1	1
3	0+012	7	7
4	0+018	1	1
5	0+024	6	6
6	0+030	1	1
7	0+036	6	6
8	0+042	8	8
9	0+048	6	6
10	0+054	4	4
11	0+060	1	1
12	0+066	2	2
13	0+072	1	1
14	0+078	3	3
15	0+084	1	1
16	0+090	2	2
17	0+096	4	4
18	0+102	1	1
19	0+108	2	2
20	0+114	5	5
21	0+120	8	8
22	0+126	6	6
23	0+132	4	4
24	0+138	7	7
25	0+144	1	1
26	0+150	1	1
27	0+156	1	1
28	0+162	7	7
29	0+168	1	1
30	0+174	6	6
31	0+180	1	1
32	0+186	8	8
33	0+192	5	5
34	0+198	2	2
35	0+204	6	6
36	0+210	3	3
37	0+216	8	8
38	0+222	4	4
39	0+228	1	1
40	0+234	6	6

*Nota.* Algunas fijaciones tienen juntas muy unidas. Elaborado por: Los Autores.

### 6.3 Presupuesto

Considerando las observaciones realizadas en las visitas de campo y además a fin de cumplir con los objetivos del presente estudio. A continuación, se presenta un presupuesto que permite la reapertura de la ruta férrea.

<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>P. TOTAL</b>
<b>1</b>	Desbroce y limpieza de terreno. Incluye Desalojo	m2	18460	\$ 0.25	\$ 4,615.00
<b>2</b>	Nivelación de vía	m	18420	\$ 2.80	\$ 51,576.00
<b>3</b>	Reposición del Balasto en Vía Férrea	m3	5538	\$ 40.00	\$ 221,520.00
<b>4</b>	Reposición de Fijaciones en Vía Férrea	u	5894	\$ 3.50	\$ 20,629.00
<b>5</b>	Señalización en vía Férrea	u	384	\$ 151.35	\$ 58,118.40
<b>6</b>	Reposición de Durmientes de Madera en Vía Férrea	u	18135	\$ 90.00	\$ 1,632,150.00
				<b>C. Directos</b>	1,988,608.40
				<b>C. Indirectos (20%)</b>	\$ 451,630.87
				<b>Total</b>	\$ 2,440,239.27

## CONCLUSIONES

El proyecto de evaluación del tramo ferroviario Aloasí-Bolicho cumple con lo requerido en la normativa AREMA. Los radios de curvatura mínimos y los peraltes observados en el alineamiento horizontal y vertical están dentro de los límites recomendados, asegurando así una geometría de vía óptima y segura para el tránsito ferroviario de uso turístico.

La inspección de los elementos de la superestructura, incluyendo rieles, durmientes y balasto, revela la necesidad de mejoras significativas. Aunque la mayoría de los durmientes de madera están en condiciones aceptables, se identificaron zonas donde el balasto es insuficiente, por lo que se requiere reposición y mantenimiento para garantizar la estabilidad de la vía.

El análisis de la situación hidráulica del tramo ferroviario destaca la importancia de implementar sistemas de drenaje adecuados. La acumulación de agua es un riesgo significativo para la estabilidad de la subestructura, y la normativa AREMA proporciona directrices claras para la instalación de sistemas de drenaje eficientes que deben ser adoptados en el proyecto.

La revitalización del tramo ferroviario Aloasí-Bolicho no solo tiene un valor cultural y patrimonial, sino que también otorga importantes beneficios económicos para la comunidad local. La participación de la comunidad en la planificación y operación de la ruta turística es esencial para su éxito y sostenibilidad, generando empleo y promoviendo el desarrollo de infraestructura complementaria como alojamientos y restaurantes.

## **RECOMENDACIONES**

Es fundamental diseñar e implementar un sistema de drenaje eficiente para evitar la acumulación de agua en la subestructura de la vía férrea. Esto incluye la instalación de cunetas, drenajes subterráneos y sistemas de drenaje longitudinal siguiendo las directrices de AREMA para garantizar una evacuación eficiente del agua y prevenir el deterioro de los materiales estructurales.

Se debe proceder al reemplazo del balasto en las secciones donde se ha identificado su ausencia o mal estado. Utilizar materiales que cumplan con las especificaciones de AREMA en términos de tamaño y resistencia para asegurar la estabilidad y el drenaje adecuado de la vía.

Realizar una inspección detallada de todas las fijaciones a lo largo del tramo ferroviario y reemplazar aquellas que estén en males estado o faltantes. Implementar un plan de mantenimiento regular para asegurar que las fijaciones continúen cumpliendo con las normas de seguridad y funcionalidad establecidas por AREMA.

Evaluar y reemplazar los durmientes de madera que se encuentren en mal estado con durmientes de concreto, que ofrecen mayor durabilidad y capacidad para soportar cargas pesadas. Asegurarse de que los durmientes estén adecuadamente alineados y espaciados según las recomendaciones de AREMA.

Instalar y mantener sistemas de señalización y comunicación avanzados, como el Control de Tráfico Centralizado (CTC) y sistemas de bloqueo automático. Estos sistemas deben ser confiables y eficientes para garantizar una operación segura y coordinada del tráfico ferroviario, siguiendo las directrices de AREMA.

Se recomienda que en la vía se compruebe la nivelación en todo el tramo, además deben ser comprobados sobrecanchos y peraltes. Por otro lado, es fundamental verificar que en los tramos donde existen durmientes de madera se revise el ancho de trocha.

## REFERENCIAS

- Altamirano, B. (2016). *Propuesta metodológica para la valoración de precios referenciales por kilómetro de vía férrea*. [Tesis de magister, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]  
<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/11085/TESIS%20DE%20GRADO.pdf?sequence=1>
- Agudelo, J. (2002). *Diseño geométrico de vías*. [Tesis de especialista, Universidad Nacional de Colombia]  
<https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/disec3b1o-geomc3a9trico-de-vc3adas-john-jairo-agudelo.pdf>
- AREMA. (1921). *American Railway engineering Association*. [Manual University Michigan].
- Baño-Saquipay, A. (2014). *Diseño de un puente tipo en estructura metálica para el ferrocarril en la vía Quito-Durán*. [Tesis de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional]. CD-5661 (epn.edu.ec)
- Barrenechea., A. J. A., y Umsa. I. -. (2016). *EVALUACIÓN DE LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA FERREA EL ALTO – VIACHA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN TREN DE PASAJEROS*. Umsa.bo.  
<https://www.umsa.bo/documents/1745551/1817265/EVALUACI%C3%93N+D+E+LA+REHABILITACI%C3%93N+DE+LA+L%C3%8DNEA+FERREA-ITVC.pdf/9380901b-5a68-1a0c-5ac5-6d5d0d8ea803>

- Cadena F. y De la torre M. (2016). *INVENTARIO DE LA LÍNEA FÉRREA TRAMO QUITO-IBARRA*. [Tesis de Ingeniería Civil, Universidad Pontificia Católica del Ecuador].
- <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/9599/Tesis%20Cadena%20-%20De%20la%20Torre.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Cabascango, C. (2013). *Propuesta para evaluar el nivel de seguridad en cruces ferroviarios a nivel*. [Tesis de magister, Pontificia Universidad Católica del Ecuador].<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/11667/TESIS.pdf?sequence=1>.
- Carvajal, L. (2022). Hablemos de trenes. *Mundo ferroviario*, 1(2). Hablemos de Trenes: Elementos de la vía-II - Mundo Ferroviario
- Crespo, C. (2010). *Vías de comunicación. Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos*.  
Editorial LIMUSA, S, A. DE C.V Editorial Railway Engineering
- Ferrocarriles del Ecuador EP. 2010. *Informe de rehabilitación de la superestructura y elementos de vía férrea*.
- Fernández, J., González, L., & Rodríguez, M. (2021). Economic impact of tourist railways on local communities. *Journal of Tourism Studies*, 23(2), 145-162.
- González, A., & Pérez, F. (2019). International standards for railway safety and maintenance. *Railway Engineering Journal*, 32(4), 200-215.
- Hernández, S. (2020). Designing scenic railway routes: A comprehensive approach. *Tourism Management Review*, 45(3), 110-125.
- Lendínez, M. (2020). *Condiciones del frenado sobre trenes de mercancías gran capacidad de carga sobre redes*. [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Madrid].

- [https://oa.upm.es/57838/1/TFM\\_MANUEL\\_LENDINEZ\\_HURTADO.pdf](https://oa.upm.es/57838/1/TFM_MANUEL_LENDINEZ_HURTADO.pdf)
- López, J., & Garcia, P. (2021). Public-private partnerships in tourism railway projects. *Infrastructure Development Journal*, 19(1), 50-70.
- López, M., Ramirez, A., & Torres, R. (2021). Advanced technologies in railway infrastructure inspection. *Journal of Civil Engineering and Management*, 27(5), 325-340.
- Martinez, E. (2020). Drone-based inspection techniques for railway maintenance. *Engineering Technology Journal*, 14(1), 95-110.
- Martínez, J. (2018). *Ingeniería Ferroviaria: Conceptos y Aplicaciones*. Editorial Técnica Ferroviaria.
- Martínez, L., Pérez, J., & Sánchez, H. (2021). Community involvement in tourism railway projects. *Journal of Sustainable Tourism*, 29(7), 1305-1321.
- Pérez, M. (2020). Tecnologías Avanzadas en el Diseño de Vías Férreas. *Revista de Ingeniería y Tecnología Ferroviaria*, 15(2), 45-60.
- Pérez, M., & Gómez, L. (2020). Economic development through tourism railways. *Economic Development Quarterly*, 34(2), 175-189.
- Rodríguez, L. F. (2019). *Mantenimiento de Infraestructuras Ferroviarias*. Editorial Ferroviaria Integral.
- Rodríguez, P., Smith, T., & Johnson, K. (2022). Transforming old railways into tourist attractions. *Tourism and Heritage Journal*, 38(4), 210-225.
- Tenelanda, E. y Zúñiga, M. (2012). *Comportamiento tribológico de las ruedas y rieles de los ferrocarriles sometidos a recargue por soldadura eléctrica en la empresa ferrocarriles del ecuador*. [Tesis de Ingeniería de Mantenimiento, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].

Smith, A., & Johnson, R. (2018). Revitalizing old railways for tourism. *Journal of Travel Research*, 57(8), 1020-1035.

Vázquez, R. (2019). Heritage conservation through tourism railways. *Cultural Heritage Journal*, 16(3), 280-295.

## GLOSARIO

**Rieles.** - Componentes longitudinales de acero que forman las vías del ferrocarril, proporcionando un camino continuo y estable para las ruedas del tren.

**Durmientes.** - Elementos transversales colocados bajo los rieles, que distribuyen la carga del tren y mantienen el ancho de la vía constante.

**Balasto.** - Material granular, como grava, colocado debajo y alrededor de los durmientes para proporcionar estabilidad y drenaje a la vía ferroviaria.

**Cambiovía.** - Dispositivo mecánico que permite desviar los trenes de una vía a otra, asegurando la continuidad de la operación ferroviaria.

**Placa base.** - Componente que sostiene los rieles y las fijaciones, distribuyendo la carga y manteniendo la estabilidad estructural de la vía.

**Fijaciones.** - Elementos que aseguran los rieles a los durmientes, permitiendo la transmisión de cargas y garantizando la alineación correcta de la vía.

**Peralte.** - Elevación del riel exterior en una curva para contrarrestar las fuerzas centrífugas y mejorar la estabilidad del tren en movimiento.

**Contrapuntas.** - Rieles fijos que trabajan en conjunto con las puntas de aguja para guiar las ruedas del tren durante el cambio de vía.

**Sistema de accionamiento.** - Mecanismo que mueve las agujas del cambiavía, pudiendo ser manual, eléctrico o hidráulico.

**Corazón de cruzamiento.** - Punto donde se cruzan los rieles en un cambiavía, permitiendo que las ruedas del tren pasen de una vía a otra sin interrupciones.

**Pendiente longitudinal.** - Inclinación de la vía a lo largo de su longitud, medida en porcentaje, que afecta la capacidad del tren para subir o bajar.

**Curva vertical.** - Conexión suave entre diferentes pendientes longitudinales, que puede ser cóncava o convexa, utilizada para mejorar la comodidad y la estabilidad del tren.

**Sistema de drenaje.** - Conjunto de estructuras y técnicas utilizadas para evacuar el agua de la plataforma ferroviaria, evitando la acumulación que puede comprometer la estabilidad de la vía.

**Alineación horizontal.** - Disposición de la vía en el plano horizontal, incluyendo tramos rectos y curvos, diseñada para manejar las fuerzas laterales y asegurar una operación segura del tren.

**Alineación vertical.** - Perfil de la vía en el plano vertical, que incluye pendientes y curvas verticales, diseñado para garantizar una transición suave y segura entre diferentes niveles de la vía.