



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS DEL DISEÑO GEOMÉTRICO Y EVALUACIÓN DE LOS  
ELEMENTOS DE LA SUPERESTRUCTURA DE LA VÍA FÉRREA SEGÚN LA  
NORMATIVA AMERICANA “AREMA” EN EL TRAMO LATACUNGA –  
COTOPAXI, SECTOR “EL CHASQUI”, EN LAS ABSCISAS 375+900 – 377+600**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniero Civil

AUTORES: Roberth Fabricio Hernández López  
William Santiago Machay Tocte

TUTOR: Hugo Patricio Carrión Latorre

Quito, Ecuador  
2023

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

Nosotros, Roberth Fabricio Hernández López con documento de identificación N°0401584115 y William Santiago Machay Tocte con documento de identificación N°0550202931 manifiesto que:

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

Quito, 14 de junio del 2023

Atentamente,



---

Roberth Fabricio Hernández López

0401584115



---

William Santiago Machay Tocte

0550202931

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

Nosotros, Roberth Fabricio Hernández López con documento de identificación N°0401584115 y William Santiago Machay Tocte con documento de identificación N°0550202931, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Análisis del diseño geométrico y evaluación de los Elementos de la Superestructura de la Vía Férrea según la Normativa americana “AREMA” en el tramo Latacunga – Cotopaxi, Sector “El Chasqui”, en las abscisas 375+900 – 377+600”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 14 de junio del 2023

Atentamente,



---

Roberth Fabricio Hernández López

0401584115



---

William Santiago Machay Tocte

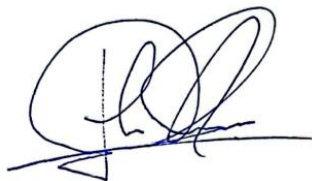
0550202931

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

Yo, Hugo Patricio Carrión Latorre con documento de identificación N° 0603015728, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DEL DISEÑO GEOMÉTRICO Y EVALUACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA SUPERESTRUCTURA DE LA VÍA FÉRREA SEGÚN LA NORMATIVA AMERICANA “AREMA” EN EL TRAMO LATACUNGA – COTOPAXI, SECTOR “EL CHASQUI”, EN LAS ABSCISAS 375+900 – 377+600, realizado Roberth Fabricio Hernández López con documento de identificación N°0401584115 y por William Santiago Machay Tocte con documento de identificación N°0550202931, 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 junio del 2023

Atentamente,



---

Ing. Hugo Patricio Carrión Latorre, MSc.

0603015728

## **DEDICATORIA**

Dedicado a mis padres Rodrigo y Amparito quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mi esposa Janneth por brindarme su amor y su apoyo incondicional en todo el desarrollo de este proyecto porque, sin su comprensión esto no se hubiera realizado de la mejor manera.

De igual manera a todos mis queridos hermanos por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

*Roberth Fabricio Hernández López*

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres, mamá gracias por apoyarme, por tu gran esfuerzo para poder cumplir mis sueños, papá gracias por tus consejos para salir adelante, por tus grandes ideas que fueron de gran ayuda que cuando uno lo desea lograr algo se puede hacer con mucha constancia y esfuerzo, gracias por siempre estar cuando más lo necesitamos.

A mis hermanos, Oscar gracias por cada palabra de aliento, que me brindaste cada vez que quise rendirme, te agradezco por todo tu cariño. Silvia gracias por ser un ejemplo de estudio, por apoyarme cada semestre que ha sido un escalón muy difícil y sobre todo por tu compañía todos estos años.

A mi compañero Roberth por el esfuerzo, dedicación y colaboración para culminar el presente trabajo de titulación.

A mi tutor, Ing. Hugo Carrión por su constante apoyo en el desarrollo del proyecto de titulación.

A la Universidad Politécnica Salesiana, especialmente a la carrera de Ingeniería Civil por permitirme estudiar en su institución, que con su cuerpo docente formado con los mejores profesionales me han permitido adquirir los conocimientos y valores necesarios para ser una buena profesional.

*Roberth Fabricio Hernández López*

## **DEDICATORIA**

Quiero expresar mi gratitud a Dios y mis padres, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.

Mi más profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal que hacen la Universidad Politécnica Salesiana, por confiar en mí, abrirme las puertas y permitirme realizar todo el proceso educativo.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Ing. Hugo Carrión, principal colaborador durante todo este proceso, quien, con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo de titulación.

*William Santiago Machay Tocte*

## AGRADECIMIENTO

A mis padres, mamá gracias por apoyarme, por tu gran esfuerzo para poder cumplir mis sueños, papá gracias por tus consejos para salir adelante, por tus grandes ideas que fueron de gran ayuda que cuando uno lo desea lograr algo se puede hacer con mucha constancia y esfuerzo, gracias por siempre estar cuando más lo necesitamos.

A mis hermanos, Oscar gracias por cada palabra de aliento, que me brindaste cada vez que quise rendirme, te agradezco por todo tu cariño. Silvia gracias por ser un ejemplo de estudio, por apoyarme cada semestre que ha sido un escalón muy difícil y sobre todo por tu compañía todos estos años.

A mi compañero Roberth por el esfuerzo, dedicación y colaboración para culminar el presente trabajo de titulación.

A mi tutor, Ing. Hugo Carrión por su constante apoyo en el desarrollo del proyecto de titulación.

A la Universidad Politécnica Salesiana, especialmente a la carrera de Ingeniería Civil por permitirme estudiar en su institución, que con su cuerpo docente formado con los mejores profesionales me han permitido adquirir los conocimientos y valores necesarios para ser una buena profesional.

*William Santiago Machay Tocte*



## INDICE DE CONTENIDOS

<b>CAPÍTULO I</b> .....	1
<b>ANTECEDENTE Y GENERALIDADES</b> .....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Descripción del problema.....	1
1.2.1 Antecedentes.....	1
1.2.2 Importancia y alcance del problema .....	2
1.2.3 Delimitación .....	2
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos .....	4
<b>CAPÍTULO II</b> .....	6
<b>MARCO TEORICO</b> .....	6
2.1 Ferrocarril .....	6
2.2 Topografía .....	8
2.3 Componentes de la línea ferroviaria.....	9
2.4 Clasificación de las líneas ferroviarias .....	10
2.4.1 Líneas Principales y Secundarias .....	10
2.4.2 Líneas de vía Angosta y de vía Ancha .....	10
2.4.3 Líneas de tránsito general, líneas suburbanas y líneas urbanas .....	10
2.5 Peralte .....	11
2.5.1 Peralte teórico .....	13
2.6 Construcción de la vía .....	17
2.7 El riel .....	17
2.8 Sobreebanco de vía.....	18
2.9 Balasto .....	19
2.10 Durmientes .....	19
2.11 Desempeño de las traviesas .....	21
2.12 Tratamiento preservativo de la madera .....	22
2.13 Placa para durmientes .....	23
2.14 Tipos de sección para ferrocarriles .....	23
2.14.1 Plataforma.....	23
2.14.2 Curvas espirales de transición .....	23

2.14.3 Radio de curvas .....	25
2.14.4 Reposición de la espiral por desplazamiento.....	26
2.14.5 Locomotoras Diesel – Eléctricas .....	26
2.15 Fuerza tractiva-velocidad en las locomotoras .....	26
2.16 Distancia de visibilidad .....	27
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>29</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>29</b>
3.1 Tipos de investigación.....	29
3.2 Métodos .....	29
3.3 Técnicas para recoger información.....	30
3.4 Proceso técnico de Ingeniería Civil .....	30
3.4.1 Inspección visual técnica del sitio .....	31
3.4.2 Inspección visual de los elementos de la superestructura.....	31
3.4.3 Levantamiento topográfico.....	32
3.4.4 Trabajo de gabinete .....	32
3.4.5 Obtención y análisis de resultados .....	33
3.4.6 Diseño y presentación de planos .....	33
3.5 Procesamiento y análisis de datos .....	34
3.5.1 Diseño geométrico vial.....	34
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>36</b>
<b>DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>36</b>
4.1 Revisión de la normativa AREMA.....	36
4.2 Levantamiento topográfico.....	37
4.3 Alineamiento horizontal .....	54
4.3.1 Tangentes mínimas .....	57
4.3.1.1 Determinación de la longitud de la espiral .....	59
4.3.1.2 Cálculos Grado de curvatura .....	60
4.3.1.3 Determinación de la longitud de la espiral .....	64
4.3.1.4 Cálculos Grado de curvatura .....	64
4.3.1.5 Determinación de la longitud de la espiral .....	68
4.3.1.6 Cálculos Grado de curvatura .....	68
4.3.3 Ángulos de deflexión.....	73
4.3.4 Distancia de visibilidad .....	75
4.3.5 Sobreechancho de la vía.....	76
4.4 Alineamiento vertical .....	83

4.4.1 Curvas cóncavas .....	84
4.4.2 Curvas convexas .....	85
4.4.3 Pendientes máximas y mínimas.....	86
4.5 Sección típica.....	87
4.6 Señalización ferroviaria.....	91
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>93</b>
<b>ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS FERROVIARIOS DE LA SUPERESTRUCTURA .....</b>	<b>93</b>
5.1 Balasto .....	93
5.1.1 Cálculos para la determinación del balasto .....	93
5.2 Durmientes .....	95
5.2.1 Durmientes de madera .....	96
5.2.2 Durmientes de hormigón .....	98
5.3. Elementos de un sistema se sujeción del carril.....	100
5.4 Rieles .....	101
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>103</b>
<b>PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>103</b>
6.1 Determinación del estado actual.....	103
6.1.1 Determinación del riel .....	103
6.1.2 Determinación de los elementos de sujeción.....	104
6.1.3 Determinación de los durmientes .....	105
6.1.4 Determinación del balasto .....	106
6.1.5 Determinación del alineamiento horizontal y vertical.....	107
6.1.5.1 Radios mínimos .....	107
6.1.5.2 Peralte .....	108
6.1.5.3 Sobreanchos.....	109
6.2 Interpretación de resultados.....	110
6.2.1 Radios mínimos .....	110
6.2.2 Curvas espirales.....	111
6.2.3 Peralte .....	112
6.2.4 Sobreanchos.....	113
6.2.5 Pendientes.....	113
6.3 Resultado de la investigación .....	114
6.3.1 Peralte .....	114
6.3.2 Sobreancho .....	114

6.3.3 Pendientes.....	114
6.3.4 Curvas.....	115
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>116</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>118</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>119</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>122</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>123</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Coordenadas (UTM WGS-84) de la zona 17M Sur. ....	3
<b>Tabla 2</b>	Peralte, velocidad y grados de curva – “AREMA”. ....	16
<b>Tabla 3</b>	Conformidad de sobreeanchos y radios de curvaturas. ....	19
<b>Tabla 4</b>	Dimensiones básicas de un durmiente metálico. ....	22
<b>Tabla 5</b>	Coordenadas de levantamiento topográfico. ....	37
<b>Tabla 6</b>	Análisis del peralte curva 1. ....	58
<b>Tabla 7</b>	Curvas inversas y longitud de tangentes. ....	59
<b>Tabla 8</b>	Análisis de peralte curva 2. ....	63
<b>Tabla 9</b>	Análisis del peralte curva 3. ....	67
<b>Tabla 10</b>	Sobreeanchos del carril ferroviaria curva 1. ....	79
<b>Tabla 11</b>	Sobreeanchos del carril ferroviario curva 2. ....	80
<b>Tabla 12</b>	Sobreeanchos de carril ferroviario curva 3. ....	81
<b>Tabla 13</b>	Pendientes máximas y mínimas según los estudios de FEED. ....	86
<b>Tabla 14</b>	Análisis de radios mínimos entre la norma y determinado ....	110
<b>Tabla 15</b>	Análisis comparativo del peralte. ....	112
<b>Tabla 16</b>	Análisis comparativo del sobreeancho. ....	113

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Ubicación del proyecto. ....	3
<b>Figura 2</b> Longitud del durmiente. ....	10
<b>Figura 3</b> Análisis del peralte. ....	13
<b>Figura 4</b> Análisis del peralte teórico. ....	14
<b>Figura 5</b> Sección típica de vía férrea. ....	17
<b>Figura 6</b> Antiguos rieles de vientre de pez, sobre dados de piedra. ....	18
<b>Figura 7</b> Tipos de secciones transversales de durmiente de madera en RENFE. ....	21
<b>Figura 8</b> Vía ferroviaria con durmientes de madera. ....	21
<b>Figura 9</b> Curva de transición o espiral. ....	24
<b>Figura 10</b> Distancia de visibilidad de un cruce ferroviario. ....	28
<b>Figura 11</b> Levantamiento topográfico. ....	54
<b>Figura 12</b> Representación de las curvas Espirales. ....	57
<b>Figura 13</b> Longitud de la curva espiral. ....	60
<b>Figura 14</b> Representación de las curvas espiral. ....	62
<b>Figura 15</b> Longitud de la espiral. ....	64
<b>Figura 16</b> Representación de las curvas circulares. ....	66
<b>Figura 17</b> Longitud de la espiral. ....	68
<b>Figura 18</b> Radio mínimo de curvatura curva 1. ....	70
<b>Figura 19</b> Radio mínimo de curvatura curva 2. ....	71
<b>Figura 20</b> Radio mínimo de curvatura curva 3. ....	72
<b>Figura 21</b> Angulo de deflexión curva 1. ....	73
<b>Figura 22</b> Angulo de deflexión curva 2. ....	74
<b>Figura 23</b> Angulo de deflexión curva 3. ....	75
<b>Figura 24</b> Sección tipa del diseño un riel con durmiente de madera. ....	77
<b>Figura 25</b> Elementos del alineamiento vertical. ....	83
<b>Figura 26</b> Curvas simétricas cóncavas. ....	84
<b>Figura 27</b> Cuevas asimétricas convexas o verticales. ....	85
<b>Figura 28</b> Sección típica conformada por la plataforma línea férrea. ....	89
<b>Figura 29</b> Perfil longitudinal del tramo estudiado. ....	90
<b>Figura 30</b> Paso a Nivel con radares de detención de Tren. ....	91
<b>Figura 31</b> Distribución del balasto en la línea ferroviaria. ....	95
<b>Figura 32</b> Durmientes de madera. ....	97
<b>Figura 33</b> Esquema del durmiente de madera. ....	98
<b>Figura 34</b> Esquema del durmiente de hormigón. ....	99
<b>Figura 35</b> Durmientes de hormigón. ....	100
<b>Figura 36</b> Tipos de sujeción en los rieles. ....	101
<b>Figura 37</b> Sección típica del riel. ....	102
<b>Figura 38</b> Levantamiento topográfico y estado del riel. ....	103
<b>Figura 39</b> Elementos de sujeción en tramo de estudio. ....	104
<b>Figura 40</b> Estado actual de la ubicación de los durmientes. ....	105
<b>Figura 41</b> Estado actual de los durmientes. ....	106
<b>Figura 42</b> Distribución del balasto. ....	107
<b>Figura 43</b> Medición de la curva mediante topografía. ....	108

<b>Figura 44</b>	Toma de puntos para la determinación de peralte.....	109
<b>Figura 45</b>	Toma de puntos del sobreaño entre rieles. ....	110

## RESUMEN

El presente proyecto consiste en verificar el diseño geométrico y el análisis de los elementos de la superestructura de una longitud de 1.7 Km, de línea férrea en el tramo Latacunga–Quito sector el Chasqui. Analizando los parámetros de construcción y diseño según la Normativa Americana “AREMA”, identificando cada uno de los aspectos constructivos realizados en esta obra vial.

Se realizaron varias inspecciones en campo, para el levantamiento topográfico georreferenciado para conocer el acceso y relieve del terreno como la colocación de puntos estratégicos que ayudaran con la topografía, del mismo modo se realizó un recorrido por todo el tramo buscando puntos de control ya existentes y varias partes limpieza de la maleza.

De acuerdo con el trabajo de investigación su principal objetivo fue analizar los criterios de diseño geométrico como el peralte, sobreelevaciones alineamientos horizontales y verticales basándose en las especificaciones técnicas que nos dice la Normativa América “AREMA”.

La importancia de esta investigación es dar a conocer el estado en el que se encuentra una parte de la infraestructura ferroviaria, detallando si existen anomalías en los rieles, durmientes y radio de curvatura que puedan ocasionar un descarrilamiento del tren por su paso.



## **ABSTRACT**

The present project consists of verifying the geometric design and the analysis of the elements of the superstructure of a 1.7 km long railway line in the Latacunga-Quito section of the Chasqui sector. Analyzing the construction and design parameters according to the American Standard "AREMA", identifying each of the construction aspects carried out in this road work.

Several field inspections were carried out, for the georeferenced topographic survey to know the access and relief of the land as well as the placement of strategic points that would help with the topography, in the same way a tour was made throughout the section looking for existing control points and several parts cleaning of the undergrowth.

According to the research work its main objective was to analyze the geometric design criteria such as superelevation, over-widths, horizontal and vertical alignments based on the technical specifications of the American Standard "AREMA".

The importance of this research is to make known the state in which a part of the railway infrastructure is, detailing if there are anomalies in the rails, sleepers and radius of curvature that can cause a derailment of the train by its passage.

# CAPÍTULO I

## ANTECEDENTE Y GENERALIDADES

### 1.1. Introducción

El desarrollo de la presente investigación se formula el análisis comparativo de los diseños geométricos de la línea férreas, tanto como alineamientos horizontales, alineamientos verticales, sobre anchos y curvas espirales rigiéndonos en las normativas de diseño de Ferrocarriles. Basándonos en la normativa americana “Arema”, desglosando su diseño constructivo.

El proyecto técnico tiene como objetivo analizar el cumplimiento constructivo de la línea férrea, en base a documento como: “Normas, especificaciones técnicas y tesis para el diseño de vías férreas”. Para un análisis comparativo que permita analizar criterios constructivos.

### 1.2. Descripción del problema

#### 1.2.1. Antecedentes

El Diseño Geométrico de vías ha jugado un papel muy importante en área de vías. Se encarga de llevar un modelamiento horizontal y vertical de una vía basándose en normas y programas computacionales, que harán posible el análisis, verificación de diseños viales.

En la actualidad, no existe un departamento de la Empresa Pública de Ferrocarriles en el Ecuador, especializada en el área de mantenimiento técnico de las líneas férreas. De tal manera, que el sector Latacunga – Cotopaxi está completamente abandonado además este medio de transporte, ha dejado de dar servicio a la población. Encontrándose en un deterioro casi total ya que no ha existido proyectos de rehabilitación de la red férrea (MTO, 2019).

### **1.2.2. Importancia y alcance del problema**

Al no contar con una base de datos actualizada de diseño geométrico de la vía férrea se desconoce el estado actual, esto provoca que la infraestructura férrea sufra un gran deterioro debido a que no existe un proyecto de mantenimiento. Lo cual causa que exista desplazamientos de los carriles, cubrimiento de maleza, deterioro de los durmientes, deterioro del transporte (locomotoras y Vagones) lo que causaría grandes accidentes. Al no existir un proyecto de rehabilitación generara pérdidas de plazas de trabajo, perdidas de los sectores turísticos, económicos y financieros.

El presente trabajo demostrara la importancia que tías las vías como medio de comunicación a nivel del país, permitiendo juntar poblaciones del sector productivo y turístico. Los estudios de diseño geométrico de líneas férreas ayudaran a verificar defectos constructivos que componen la estructura de la línea férrea.

La información obtenida servirá también como base para posibles estudios técnicos a futuro que permitan mejorar la infraestructura de la línea férrea y logra así el impulso turístico y económico del sector y el país. La importancia del desarrollo de este estudio tiene como propósito dar a conocer el cumplimiento de normativa América “AREMA”.

### **1.2.3. Delimitación**

El presente estudio del proyecto está localizado en la Provincia de Cotopaxi en **“EL TRAMO QUITO – LATACUNGA EN LAS ABSCISAS 375+900 – 377+600** sector El Chasqui”. Indicado en la Figura 1, con una longitud de 1.7 Km, delimitando al Norte con Aglomerados Cotopaxi Bike Park, al Sur Ingreso Parque Nacional Cotopaxi, al Este Parque Nacional Cotopaxi, al Oeste Panamericana Troncal de la Sierra.

**Tabla 1**

*Coordenadas (UTM WGS-84) de la zona 17M Sur.*

<b>COORDENADAS UTM</b>	<b>INICIAL</b>	<b>FINAL</b>
<b>Latitud</b>	768363.300 m	769477.5914 m
<b>Longitud</b>	9922748.726 m	9923916.170 m

*Nota.* En la presente tabla se visualiza las coordenadas referenciales del inicio y fin del proyecto. Fuente: (Los Autores)

Para latitud y longitud las unidades de medida serán coordenadas (UTM WGS-84) de la zona 17M Sur donde se realizará el estudio del proyecto.

**Figura 1**

*Ubicación del proyecto.*



*Nota.* La línea roja representa el tramo de análisis de este proyecto. Elaborado por: Los autores, con Google Earth.

### **1.3. Justificación**

En la actualidad la verificación de un diseño geométrico de una vía férrea toma una gran importancia para los distintos sectores del Ecuador. Esto permite ayudar a

adquirir nuevos conocimientos para los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Civil. Por tal razón, se propone este diseño para informar sobre la situación en la que se encuentra en la actualidad la Vía Férrea.

Se estudiará el área de influencia del proyecto en su estado natural determinado el estado constructivo para brindar una rehabilitación de la línea férrea. Por lo tanto, permitirá abrir el campo del turismo a escala nacional e internacional, debido a los atractivos turísticos que tiene el sector de análisis.

Este proyecto ayudará con un aporte para el estudio de prefactibilidad de la Vía Férrea en el tramo Latacunga - Cotopaxi para que las empresas encargadas brinden una posible rehabilitación puedan tomarlo como referencia este estudio desarrollado.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Verificar el diseño geométrico y el análisis de los elementos de la superestructura de 1.7 km de línea férrea, aplicando la Norma Americana "AREMA" para conocer las dimensiones y elementos de la línea férrea.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

Realizar el levantamiento topográfico de la línea férrea, con el uso de Equipos Topográficos (Estación Total y GPS), para identificar las dimensiones y características de los elementos constructivos de la línea férrea.

Realizar el diseño geométrico de la línea férrea en el tramo Latacunga – Cotopaxi, sector "El Chasqui" desde la abscisa 375+900 hasta la 377+600, mediante la aplicación de la norma americana "AREMA", con el fin de compararlo con el diseño existente de la línea férrea.

Generar una memoria de cálculo, mediante Softwares educativos (AutoCAD, Civil3D, Excel), para obtener una base de información de la línea férrea del sector el “El Chasqui”.

Evaluar cada uno de los elementos que conforman la superestructura con un levantamiento topográfico a detalle para determinar si están cumpliendo con los parámetros establecidos en la normativa “AREMA”.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEORICO

En el desarrollo de esta investigación es importante tomar en cuenta todos los factores que están dentro del análisis constructivo en líneas ferroviarias. Mirando la factibilidad de realizar un estudio profundo que muestre como está diseñando dicha infraestructura, puesto que hoy en día se encuentra inhabilitada. Siendo este un sistema de transporte que brinde seguridad y tranquilidad a los usuarios durante los recorridos.

#### 2.1. Ferrocarril

La construcción del ferrocarril ecuatoriano surge en 1860 durante la presidencia de Gabriel García Moreno, sin embargo, el ferrocarril llega a la ciudad de la Latacunga el 22 de junio de 1907, y en 1908 termina la construcción del ferrocarril del sur hasta la estación Chimbacalle.

En 1982 debido al mal estado de los rieles los viajes, en ferrocarril de Quito a Guayaquil se interrumpieron; así también en el año 2005 en la ciudad de Latacunga después de 5 años sin funcionamiento del ferrocarril este se descarrilo. En 2007 se inició la rehabilitación de las líneas férreas para recuperar el patrimonio cultural del país, no obstante, la empresa de ferrocarril ecuatoriana fue cerrada debido a una crisis financiera.

Ferrocarriles del Ecuador Empresa Pública (FEEP) desapareció y junto con ella información importante para la rehabilitación de la línea férrea provocando así un deterioro constante a la infraestructura férrea, este deterioro influye directamente en la economía turística del país y sobre todo en el sector aledaño al tramo Latacunga - Cotopaxi mismo que no se encuentra operativo en 39.2 km de línea férrea por falta de rehabilitación.

En los años de 1875 – 1880 con la presidencia del General Ignacio de Veintimilla el avance de la construcción de la línea ferra fue decretado con un avance gradual en lo

cual se complementaron 70 km de construcción concretando la obra hasta el río Chimbo; y en 1888 entre Yaguachi, generando un tramo de funcionamiento de 90 km.

De acuerdo con las condiciones climáticas que presenta el país, en el invierno de 1900 tuvo un percance la una parte de 10 km las obras ejecutadas de vías y 12 terraplenes en los tramos de Chimbo a Sibambe, y por lo tanto en año de 1901 el diseñador John Harman concluye el tramo Nariz de Diablo cerca de parroquia de Alausí.

La construcción del ferrocarril del Ecuador en los años de 1908 termina su construcción vial conectando a cinco provincias, considerando como una obra de mayor impacto en la historia del país. Estudios realizados han catalogado la construcción del ferrocarril del Ecuador una de las obras más difíciles del mundo no solo en temas constructivos sino otro factor muy imparcial los temas económicos, políticos e ingeniería.

Las complicaciones generadas en el campo fueron adversas teniendo que superar grandes alturas, desafío de caudales, terrenos pantanosos, transporte del material, perforaciones de roca natural y climas extremos. Sin dudar el extenso número de mano de obra que fue necesario para la construcción de la línea férrea.

Al finalizar con la construcción de la línea Ferrocarriles del Ecuador se vio en la necesidad de vender una parte de las acciones "THE GUAYAQUIL AND QUITO RAILWAY COMPANY" debido a la crisis económica el presidente Velasco Ibarra en su gobierno paga por los derechos y acciones de la gran obra de construcción pasando a ser (ENFE).

Durante el siglo XX la implementación de carreteras con capa asfáltica genera un gran impacto en el declive del transporte del ferrocarril; no obstante en años de 1982 con el fenómeno del Niño arrastró con 17 puentes y 4 km de vía, generando grandes rehabilitaciones de la vía férrea al final de la década de los 80 en el gobierno del



Presidente Rodrigo Borja fue uno de los más crítico intentando realizar rehabilitaciones con fondos de Francia, España y aportes nacionales de la recaudación de impuestos.

En los siguientes gobiernos la vía férrea fue de poca importancia considerando casi olvidada, funcionando como parte turística en los diferentes tramos del país, con el abandono de la infraestructura férrea lleva casi a su deteriora total. La operación con fines turísticos se desarrollaba en los tramos Quito-Latacunga y Riobamba-Alausí-Sibambe en grandes dificultades en generar un servicio de primera.

En la actualidad el sistema de Ferrocarriles del Ecuador Empresas Pública mediante un acuerdo ministerial, el 1 de abril del 2008, el presidente Rafael Correa Delgado declaro patrimonio Cultural del Estado a la línea férrea del Ecuador iniciando un proyecto de rehabilitación y mantenimiento del distrito ferroviario del país.

## **2.2. Topografía**

El estudio topográfico permitirá medir grandes áreas de un terrero para la representación gráfica de un plano a escala especificando sus relieves y coordenadas georreferenciales sin mencionar sus distancias horizontales como verticales, distancias de visibilidad. Por lo que, permite obtener buenos resultados en un área de estudio determinando puntos de control y la representación de un plano llamado levantamiento topográfico.

El trabajo de un levantamiento topográfico comprende; el trabajo de campo y el trabajo de gabinete que corresponde a toma de datos como: puntos georreferenciales y medición de ángulos, para representarlos en un dibujo mediante la ayuda de un software especificando a detalle las características necesarias de un plano. Teniendo como responsabilidad marcar linderos, medir superficies, proyectar obras de construcción desde mismo modo para el diseño vial como; líneas ferrocarriles, autopista, líneas de transición y acueductos.

### **2.3. Componentes de la línea ferroviaria**

Un ferrocarril se define como el camino provisto de perfiles paralelos denominados rieles, sobre los que se deslizan una serie de vehículos movidos por tracción eléctrica, motores eléctricos o motores Diesel - eléctricos (Crespo, 2010, p. 568).

La línea férrea se define como parte de una infraestructura que integran distintos elementos: plataforma de vía, superestructura, carriles, traviesas y materiales de obra civiles tales como: puentes, túneles y viaductos. Por lo cual dichos elementos de la superestructuras soportaran cargas estáticas y dinámicas tanto vertical como lateral.

En diseño de curvas para el ferrocarril debe ser más amplias que en las carreteras por razones que los vehículos de trenes, son “Vagones” normalmente más largos que los vehículos de carretera requiriendo mayores radios de curvatura horizontal. (Chocontá, 2011, p. 25). Esto indica que se debe considerar que tipo de vialidad se va a construir cual será uso diaria.

En cuanto a las pendientes es el factor que más se debe tener en cuenta en un ferrocarril. Por qué se puede decir que la resistencia por pendiente es de 10 kg por tonelada por el peso del vehículo y por cada 1% de pendiente. (Chocontá, 2011, p. 26). Siendo un factor que se debe tomar en cuenta ya que el tren tendrá un arrastre de carga a lo largo de su viaje sabiendo cual es la capacidad de arrastre del tren.

La resistencia por curva aumenta cuando disminuye el radio de curva. Para los vehículos que marchen normalmente no es conveniente que haya variaciones frecuentes por lo que se recomienda una compensación de 0.05% por cada grado de curvatura de una cuerda de 20m. (Chocontá, 2011, p. 27). Mientras más grande sean los radios de curvatura será mucho más fácil el paso del tren y el diseño de una curva espiral.

## 2.4. Clasificación de las líneas ferroviarias

### 2.4.1. Líneas Principales y Secundarias

Para conformar un sistema completo de líneas férreas debe estar compuesto. “las grandes líneas tróncales, y las líneas secundarias las que complementan la red formada por las anteriores dando así un sistema completo de líneas férreas” (Crespo, 2010, p. 568). Tiene como propósito la unión de ciudades y pueblos del país incentivando la economía productora.

### 2.4.2. Líneas de vía Angosta y de vía Ancha

El diseño constructivo de una infraestructura férrea depende de un factor demanda capacidad. “Es decir que una línea principal no necesariamente debe ser de línea ancha o que una secundaria sea de línea angosta, ya que ello dependerá de los aspectos económicos relativos a la construcción” (Crespo, 2010, p. 569). Por lo tanto, el diseño constructivo se basa en normas del diseño vial.

#### Figura 2

*Longitud del durmiente.*



*Nota.* La longitud del riel es de 2.60 m. Fuente: (AREMA, 1921)

### 2.4.3. Líneas de tránsito general, líneas suburbanas y líneas urbanas

Las vías están unidas entre si porque todas pertenecen al mismo sistema vial pero cada una está diseñada para un diferente tipo de servicio. Línea de tránsito general corresponde al servicio nacional o internacional de larga distancia, líneas suburbanas son

aquellas que ligan una población con sus zonas de influencia cercanas, líneas urbanas son las que prestan servicio dentro de las poblaciones, ya sean estos servicios efectuados sobre la superficie como los tranvías o subterráneos o elevados como los metropolitanos (Crespo, 2010, p. 569). Por lo cual cada una de estas vías férreas tienen una dimensión diferente.

La importancia de realizar un reconocimiento para la selección de rutas con lleva a recopilar información detallada de las posibles alternativas de por donde se llevará a cabo la construcción de una ruta vial o ferroviaria dependiendo de la necesidad de la obra. Por ende, se debería realizar fotografías aéreas del relieve del terreno, mapas y planos topográficos de sector o región, estudios de tránsito que circula por el sector y datos meteorológicos.

Para esto la información se puede obtener de diferentes instituciones que como: el IGM, el INAMHI, el MAE “las diferentes oficinas de planeación departamental o municipal. Luego basado en esta información se procede a hacer un reconocimiento general sobre el área con el fin de tener una idea sobre aspectos tan importantes como la topografía predominante, la geología general, hidrografía y usos del suelo” (Agudelo, 2002, p. 90). Con toda esta información se puede realizar reconociendo de los diferentes extractos, como fallas geológicas o más que se debe tener en cuenta antes del realizar una obra civil.

## **2.5. 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). Por lo tanto, el peralta permitirá tener una buena estabilidad al rato de entrar en la curva.

El peralte será aumentado o disminuido progresivamente “A lo largo de una distancia determinada antes, durante y después de una curva de forma justificada por un técnico especialista, teniendo en cuenta la cantidad de peralte y la velocidad y estructura del material rodante” (MNF PARTE 1 2013, p. 8). Para que no exista la posibilidad de intromisión en la operación segura de la unidad. La principal importancia del peralte se determina mediante:

- Distribución de carga en ambos rieles.
- Impedir la degradación y desgaste en los rieles como del material rodante.
- Confort de los usuarios en los viajes.
- Controlar la evacuación del agua hacia el exterior.

Para el caso de este elemento, se copia lo descrito por la AREMA, entonces, el peralte de equilibrio será dado por la ecuación 1.

$$h = \frac{axv^2}{gxR} \quad (1)$$

*Dónde*

h: peralte de equilibrio en (m).

a: distancia entre eje de los rieles (m).

v: velocidad (m/s).

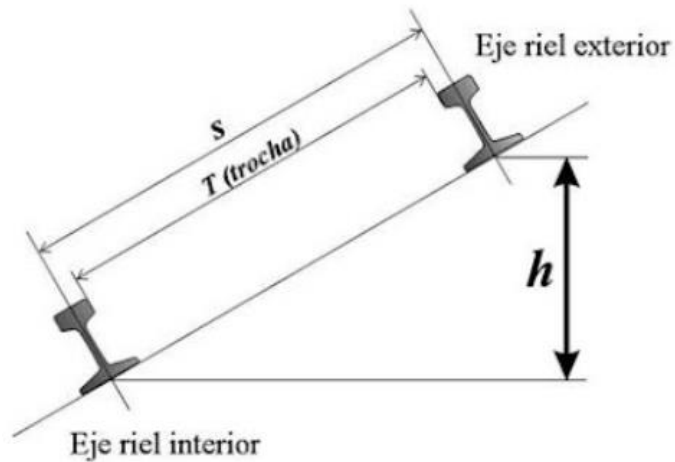
g: gravedad ( $m/s^2$ ).

R: radio de la curva (m).

El peralte en las curvas circulares se lo debe diseñar a 2/3 del peralte teórico que corresponde a trenes de alta velocidad. Dado que la diferencia que existe de la cota y el carril y la velocidad máxima permitida ayudaran a evitar los esfuerzos excesivos en la vía.

### Figura 3

*Análisis del peralte.*



*Nota.* Análisis del peralte. Fuente: (VIAS FERREAS, 2010)

#### 2.5.1. Peralte teórico

El peralte teórico se considera solo como teórico y no es aplicable en la construcción de ferrocarriles para el estudio. Según (VIAS FERREAS, 2010):

Este peralte debe considerarse solo como teórico, ya que en la práctica el peralte que se puede dar a la vía se encuentra limitado por la coexistencia de trenes rápidos y trenes lentos; en estos últimos, que se encuentran con exceso de peralte, el apoyo de las pestañas con el riel interior, agravado por la resultante de las fuerzas de tracción, origina el desgaste de tales elementos y, sobre todo, aumenta notablemente la resistencia a la rodadura, hasta el punto de hacer difícil el arranque en caso de parada imprevista en curva. (p.39). Debe observarse que, por efecto del peralte, la presión del vehículo sobre los rieles aumenta dado el análisis en la ecuación 2.

$$h = \frac{V^2 x s}{127 x R} \quad (2)$$

*Dónde*

h: peralte de equilibrio en (m).

v: velocidad (m/s).

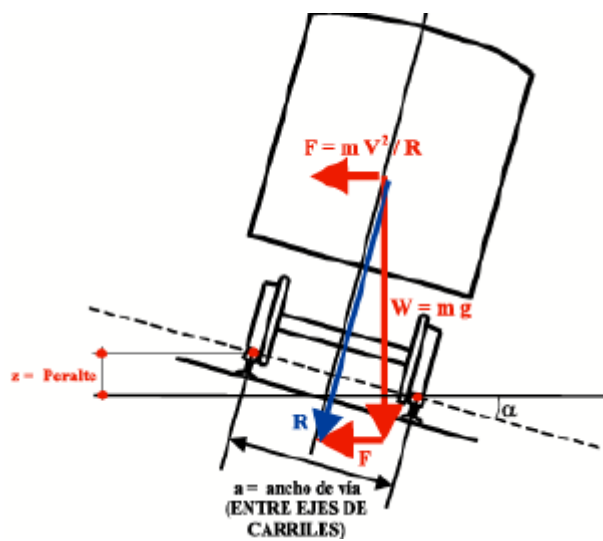
R: radio de la curva (m).

S: sobreancho de la vía (m)

Se define como la tangente del ángulo de inclinación en la calzada teniendo en cuenta que. “Debe equilibrar totalmente a la fuerza centrífuga y la resultante de ésta con el peso deberá ser normal al plano inclinado de la vía” (Gonzales, 2010, p, 274). Por lo tanto, si existiera excesiva carga podría darse el descarrilamiento.

#### **Figura 4**

*Análisis del peralte teórico.*



*Nota.* Ancho de vía entre eje de rieles. Fuente: (GONZALES, 2010)

Donde se deduce que la ecuación 3:

$$\tan \alpha = \frac{F_c}{P} = \frac{m \frac{V^2}{R}}{m x g} = \frac{V^2}{g x R} \quad (3)$$

*Donde:*

$\alpha$ : ángulo de inclinación del peralte (°).

P: peso del ferrocarril (N).

z: altura del peralte (m).

a: distancia entre ejes de los rieles (m).

m: masa (kg).

v: velocidad (m/s)

Al determinar el análisis del peralte el nivel de tangentes entre las curvas puede lograr un equilibrio a una velocidad constante de diseño. Según la normativa AREMA capítulo 6 estable los siguiente:

El peralte se debe aplicar en incrementos de 1/4 de pulgada en la mayoría de las situaciones. En algunas situaciones, los incrementos pueden reducirse a 1/8 de pulgada si se puede determinar que los equipos de construcción y mantenimiento pueden establecer y mantener dicha tolerancia. Incluso si se determina que no se requiere peralte para una curva, en la práctica generalmente se acepta superelevar todas las curvas una cantidad mínima (1/2 a 3/4 de pulgada). Cada ferrocarril tendrá sus propios estándares de peralte y bajo balance, que deben usarse a menos que se indique lo contrario. (p. 1010)

Este peralte se debe considerar en líneas de trenes de una circulación rápida, donde el peralte será considerado entre el riel del interior. Donde un tren que entra en la curva las fuerzas que actúan deberá provocar una tendencia al giro contrarrestando las fuerzas que lo ayuden a mantener.



**Tabla 2**

*Peralte, velocidad y grados de curva – “AREMA”.*

Radio (m)	Grados (°)	Velocidad (km/h)																	
		15	30	45	55	60	70	80	85	95	100	110	120	125	135	140	150	160	
3490	0°30'	1	3	7	11	13	17	22	25	32	35	42	50	55	64	69	79	90	
1745	1°00'	2	6	14	21	25	34	45	51	63	70	85	101	109	128	137	158	179	
1160	1°30'	2	9	21	32	38	51	67	76	95	105	127	151	164	191	206	236	269	
870	2°00'	3	13	28	42	50	69	90	101	126	140	169	202	219	255	274	315		
695	2°30'	4	16	35	53	63	86	112	126	158	175	212	252	273					
580	3°00'	5	19	43	64	76	103	134	152	190	210	254	302						
495	3°30'	6	22	50	74	88	120	157	177	221	245								
435	4°00'	6	25	57	85	101	137	179	202	253									
345	5°00'	8	32	71	106	126	172	224	253										
290	6°00'	9	38	85	127	151	206	269											
245	7°00'	11	44	99	148	176	240												
215	8°00'	13	50	113	169	202	274												
190	9°00'	14	57	128	191	227													
170	10°00'	16	63	142	212	252				$z=0.007 \times \theta \times V^2$									
155	11°00'	17	69	156	233														
145	12°00'	19	76	170	254														

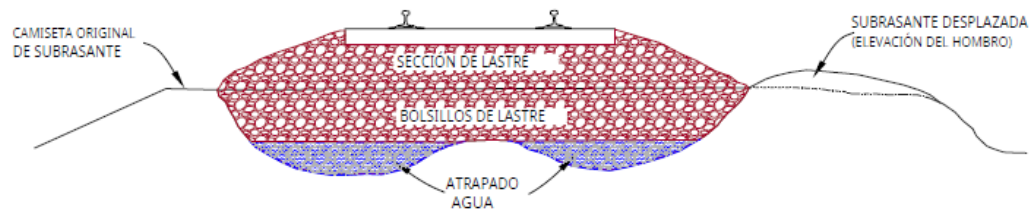
*Nota.* En la presente tabla se visualiza el peralte, velocidad de diseño y radios. Fuente: (AREMA, 1999)

## 2.6. Construcción de la vía

En la ejecución de una vía férrea se debe tener a disposición material piroclástico, de la zona mismo que cumpla con los estándares requeridos por las normas constructivas. Los materiales de mejoramiento como el basalto serán destinados como subbase dando apoyo y estabilidad a los durmientes que sujetarán a los rieles. Los accesorios de la vida tales como placas metálicas que serán sujetas con tronillos ante los durmientes adquiriendo seguridad.

### Figura 5

*Sección típica de vía férrea.*



*Nota.* En la presente imagen se observa la sección típica de construcción de vía.

Fuente: (AREMA, 1921)

## 2.7. El riel

De acuerdo con la normativa estadounidense determina ciertos parámetros que debe tomar en cuenta ante el diseño geométrico. Según AREMA (1918):

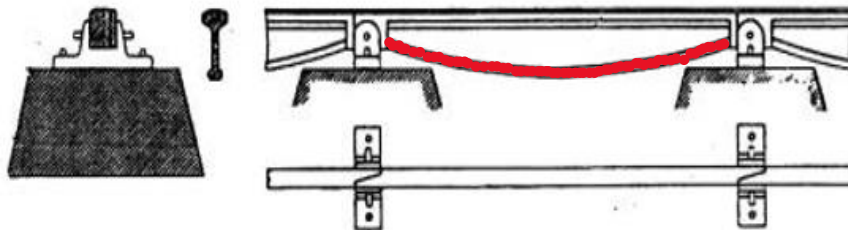
Las desviaciones geométricas de las vías y el desgaste de los rieles se reconocieron como problemas importantes de mantenimiento en los primeros años de la adolescencia. Esto resultó en la organización de un comité conjunto especial patrocinado por "AREMA" y ASCE para estudiar la tensión en la estructura de las vías del tren bajo la presidencia del profesor "AN Talbot". El comité

inmediatamente comenzó su estudio del soporte de la superestructura de la vía, es decir, rieles, traviesas y fijaciones. (p.87). El estudio produjo el valor  $u$  como una medida de la rigidez de la vía vertical como se define en el Boletín de “AREMA”, Volumen 19, Número 205, marzo de 1918.

Para la creación de una vía férrea se deben colocar dos barras de hierro paralelas entre sí. “A la vía, cuando en España se empezó a tratar de ferrocarriles, se le llamo camino de fierro o riel de hierro. Se daba este nombre de camino, porque el riel es el perfil de hierro que sirve de huella a las ruedas de un carro.” (Altamirano, 2016, p. 10). Sobre esta vía se puede transitar una locomotora conectada de vagones que transporte personas, alimentos, materiales de construcción, etc.

### Figura 6

*Antiguos rieles de vientre de pez, sobre dados de piedra.*



*Nota.* Con color rojo se puede divisar el vientre de pez. Fuente: (AREMA, 1921)

### 2.8. Sobreancho de vía

Para analizar el sobre ancho de la vía se debe puntualizar las distancias existentes entre los ejes, por lo general estas distancias de los tramos rectos son de 10 a 25 mm. Tomando en cuenta los radios de curvatura que existen que no perjudiquen las operaciones de los vehículos ferroviarios. Tomando en cuenta la distancia entre ejes y el material rodante.

**Tabla 3**

*Conformidad de sobreanchos y radios de curvaturas.*

<b>SOBREANCHO DE CURVAS</b>	
R > 250 m	S = 0 mm
250 m > R > 150 m	S = 6 mm
150 m > R > 110 m	S = 12 mm
R > 110 m	S = 18 mm

*Nota.* Radios de curvatura y sobre anchos de conformidad. Fuente: (Norma NTVO N.º 14)

## **2.9. Balasto**

El material que sirve de base para dar una estabilidad y drenaje adecuado a los durmientes que sostendrán a los rieles. “Cierta clase de material escogido, tal como piedra triturada, grava, escoria, ceniza, etc., que se coloca sobre las terracerías compactadas para dar apoyo y estabilidad a los durmientes” (Crespo, 2010, p. 576). Por lo tanto, este material se debe colocar con un espesor adecuado para que tenga una buena función.

El balasto encuentra colocado a lo largo de la vía con alturas promedio de 20 cm, siendo su rendimiento del 0.9 m<sup>3</sup> a 1.10 m<sup>3</sup> por metro lineal de acuerdo con el perfil de la vía. Tiene como función fijar los durmientes para evitar el desplazamiento de los rieles, tanto en el sentido longitudinal como transversal, producidos por las diferentes fuerzas a las que están expuestos por el simple hecho del movimiento del equipo tractivo y rodante.

## **2.10. Durmientes**

Para la colocación de los rieles de acero se necesita tener un elemento que sirva de base y soporte para poder ser utilizado como carril de transporte. “La transmisión desde

el riel hasta el balasto se hace teniendo intermedio a los durmientes que se colocan en la longitud de la vía férrea a intervalos regulares. También cumplen la función de dar peso al emparrillado de la vía” (Guerrero, 2017, p. 233). También pueden ser contruidos de madera, metálicos o de hormigón que se capases de soportar grandes cargas.

La consideración de las dimensiones para traviesas se determina mediante el tipo de durmiente a colocar siendo estos de madera o hormigón Según SIGETRAS (2018):

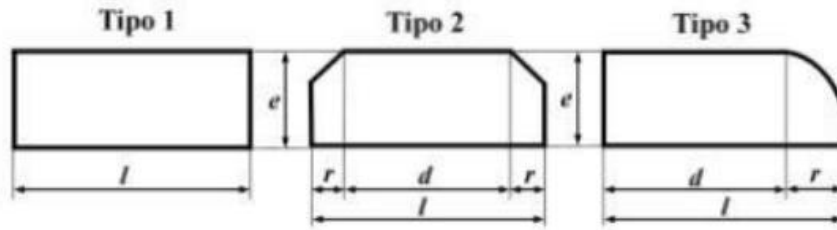
La sección típica de la vía está conformada por la plataforma vial o subestructura construida sobre tierra y material de relleno o sub-balasto. La super-estructura de la vía se encuentra conformada por materiales ferroviarios. Los elementos transversales llamados durmientes, asegurados uno al otro por vinchas y placas como anclaje. Bajo los durmientes se encuentra colocado el material pétreo llamado balasto o balastro.

Los dos tipos de durmientes son similares en su largo (2.00 m) y en su ancho (20 cm); varía en su altura o espesor, siendo el espesor para los durmientes de concreto 20 cm y para los de madera varía entre 16 a 29 cm. Los durmientes de hormigón se encuentran colocados en las tangentes y los de madera en curvas de radios menores a los 200 m y también en los patios de maniobras del trazado vial férreo. (p. 242)

La distribución de los durmientes de madera se los colocará sobre la capa de balasto y la separación existente entre estos durmientes será cada 60 cm, lo cual permitirá la correcta distribución los esfuerzos ejercidos por el paso del tren.

## Figura 7

*Tipos de secciones transversales de durmiente de madera en RENFE.*



*Nota.* Se presenta las secciones típicas de los durmientes categoría 1.

Fuente:(R.E.N.F. E)

### 2.11. Desempeño de las traviesas

El funcionamiento que debe cumplir las traviesas son diversas a lo largo del eje de vía siendo una estructura de apoyo entre el riel y el balasto.

- Sirviendo de soporte de los carriles.
- Distribución de carga verticales y horizontales por los carriles.
- Estabilidad frente a los esfuerzos estáticos del peso propio, los dinámicos debido al paso del tren y procedente por la variación de temperaturas.

## Figura 8

*Vía ferroviaria con durmientes de madera.*



*Nota.* Se observa una línea férrea con durmientes de madera. Fuente: (AREMA,

1921)

**Tabla 4***Dimensiones básicas de un durmiente metálico.*

<i>Durmientes</i>	<i>h mm</i>	<i>d1 mm</i>	<i>d2 mm</i>	<i>b1 mm</i>	<i>b2 mm</i>	<i>b mm</i>
<i>Irani</i>	91	11	7	40	231	212
<i>CFFEI</i>	90	11	7	130	240	218
<i>Turca</i>	85	11	8	130	242	225
<i>SNCF(Norte)</i>	80	13	8	140	266	240
<i>Griega</i>	95	12.5	8	130	260	244
<i>UIC28</i>	90	12	7	150	260	236
<i>DB SW7</i>	100	9	9	135	272	251
<i>DB SW 1</i>	100	11	8	130	272	251
<i>SNCF (A1)</i>	90	12	7	130	263	238

*Nota.* Dimensiones de las secciones de los durmientes. Fuente: (AREMA, 1921)

La implementación de los durmientes compuestos por hormigón armado fue desarrollada en Inglaterra, pasando a ser más aprovechado que los de madera. Dichos durmientes no solo se utilizarán en vías comerciales a diferencia de madera ayudara a reducir la tala de árboles.

## **2.12. Tratamiento preservativo de la madera**

Los durmientes que serán utilizados para colocar las rieles necesitan ser resistentes y duraderos. “La madera que será utilizada se la debe secar al aire, procedimiento natural y primitivo, por estufa produciendo un vapor. Después se impregna una sustancia antiséptica llamada creosota. Este procedimiento se lo realiza mediante presión de aire” (León, 2016, p. 10). Por lo tanto, se realiza este proceso de secado de la madera caso contrario su deteriorará es rápidamente y perderá sus propiedades físicas y mecánicas ocasionando inestabilidad a los rieles.

### **2.13. Placa para durmientes**

Para que exista una adecuada conexión de los rieles con los durmientes se necesita un elemento que permita asentar de manera firme a riel. “las placas para durmientes son elementos que dan estabilidad a la vía, también alargan la vida útil de los durmientes de madera. Estas placas van fijadas al durmiente y transmiten el esfuerzo a los durmientes” (Carbajal, 2022). Por lo tanto, al diseñarse con un acero de alta resistente permitirá soportar cargas de gran esfuerzo que el tren produzca.

### **2.14. Tipos de sección para ferrocarriles**

#### **2.14.1. Plataforma**

La superficie del terreno debe ser muy estable o darle un mejoramiento para que cumpla los parámetros de esfuerzo deformación. “Esta superficie de plataforma tiene cierta inclinación transversal, a una o dos aguas para el debido saneamiento, es decir con inclinación para el drenaje, respectivamente la inclinación que suele ser de 3%. En caso de terrenos muy húmedos y arcillosos” (Crespo, 2010, p. 596). Por lo tanto, la superficie del terreno debe estar nivelada y darle un mejoramiento para no existan un de fisis constructivo.

#### **2.14.2. Curvas espirales de transición**

Las curvas de transición enlazan un tramo entre tangentes de las curvas circulares. Según Norma (2003):

La característica principal es que, a lo largo de la curva de transición, se efectúa de manera continua, el cambio en el valor del radio de curvatura, desde infinito en la tangente hasta llegar al radio de la curva circular. Este cambio será función de la longitud de la espiral, siendo más repentino cuando su longitud sea más corta. Las curvas de transición empalman la alineación recta con la parte circular,

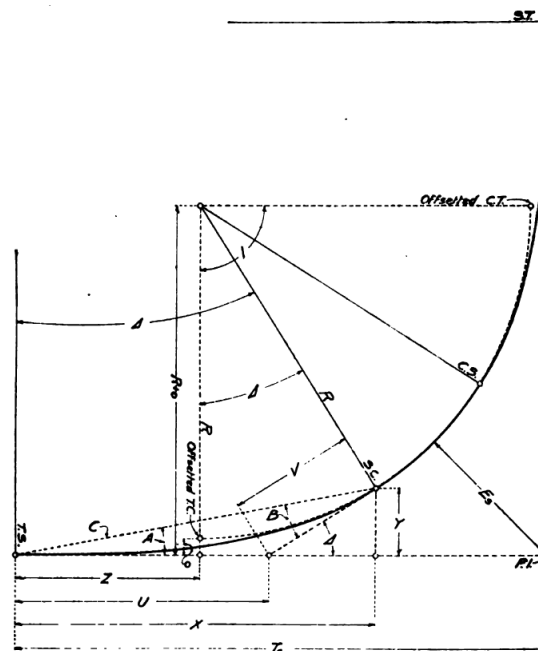


aumentando la seguridad, al favorecer la maniobra de entrada en la curva y la permanencia de los vehículos en su propio carril. (p.41)

Por lo tanto, estabilidad de los vehículos tanto en entra como al salir de una curva transición evitaran cambios bruscos debido al cambio entre tangentes entre las curvas horizontales.

### Figura 9

*Curva de transición o espiral.*



*Nota.* En la presente imagen se observa el diseño de curva espiral. Fuente:

(AREMA, 1921)

Al diseñar los elementos de las curvas espirales se va a tomar en consideración lo siguiente. Según Norma (2003):

Se compone de dos arcos de espiral con un mismo radio de curvatura y tangente común en el punto de contacto. En este caso, la longitud del arco circular está en el orden de  $\pm 10m$  y se puede calcular el radio en función de la longitud de la espiral y el valor de la deflexión  $\alpha$  (Alfa), aplicando la fórmula. (p.44). Con la

finalidad de tener radios de curvaturas mínimos y existas una distancia adecuada entre tangentes de curvas.

### **2.14.3. Radio de curvas**

Depende de los radios de curvaturas el riel “Quito-Cuenca. 425 km con pendiente máxima del 2.5%. Los radios mínimos de curvatura en este tramo son de 1000 m. Sube a Tambillo con curvas de radio no menor a 750 m. Pasa por Machachi hasta alcanzar el paso del Cotopaxi, con curvas de radio no inferior a los 500 m”. (p.35)

Sin embargo, cuando en la superficie de rodadura es plana se produce una variación considerando un defecto crítico.

La distancia de visibilidad de las curvas horizontales depende entre ejes de las ruedas o equipos rodantes, por él se considera un radio mínimo de 60 m y una velocidad de diseño de 35 km/h que toma como referencia la normativa “AREMA”. “La curvatura de la Espiral de Euler e indica que el radio de curvatura  $R$  es inversamente proporcional a la distancia  $L$  recorrida a lo largo de la curva desde su origen” (Agudelo, 2002, p. 210).

De otra manera, es un punto cualquiera que comprende el radio de curvatura  $R$  y la distancia  $L$  es constante denominadas tangentes de la curva este parámetro de la espiral y permite hallar el radio de la curva en un punto cualquiera.

Con el análisis de las curvas se determinará acciones definitivas sobre las magnitudes de los radios por lo que. “Las curvas espirales, curvas múltiples y clotoides, las cuales son una sucesión de arcos con parámetros distintos, curvaturas dirigidas y crecientes en el mismo sentido, tangentes comunes y la misma curvatura para cada dos arcos sucesivos reduciendo así la curvatura” (Sigetrans, 2018, p. 239). Por lo tanto, puede generar un mayor desarrollo en su trayectoria.

#### **2.14.4. Reposición de la espiral por desplazamiento**

Los factores que afectan el desplazamiento de las curvas espirales no solo pueden ser causado según el peso del ferrocarril si no también puede ser por. Según la Norma AREMA (1999):

La espiral puede ser replanteada por compensaciones, siendo la mitad compensada con la tangente y la otra mitad con la curva circular, haciendo que las compensaciones varíen directamente como el cubo de la distancia desde el T. S. y el S. C. Esto debe hacerse ya sea usando la derecha desplazamientos angulares y normales, haciendo que el ángulo recto o el desplazamiento normal para el punto medio y espiral e igual a la mitad de o; o bien midiendo la mitad de la longitud total de la espiral a lo largo de la tangente, bisecando la distancia al desfase T. C. para el desfase al punto medio de la espiral y utilizando desfases oblicuos entre los puntos equidistantes de la curva tangente o circular los puntos equidistantes de la espiral.

#### **2.14.5. Locomotoras Diesel – Eléctricas**

El Diesel y gasolina que al ser comprimidos en un cámara de presión a grandes temperaturas producen una gran explosión que generan empujes en los pistos. “El generador trifásico que se lo acopla al motor de combustión y que generan corriente eléctrica para los motores eléctricos o también llamados motores de tracción, los mismo que comunican el movimiento a las ruedas mediante un mecanismo de engranajes” (Baño y Saquipay, 2014, p.6). Esto quiere decir que genera la fuerza necesaria para poder poner en marchas un vehículo de combustión.

#### **2.15. Fuerza tractiva-velocidad en las locomotoras**

La velocidad optima en que una locomotora debe circular dependerá. “De velocidad máxima impuesta a los trenes será 70 u 80 km/h. En curva, la velocidad máxima

será de 10 o 20 Km/h, tomando en cuenta el peralte local, los vagones circulando a esta velocidad” (Tenelanda y Zúñiga, 2012, p. 12). Por lo tanto, logrando que no exista descarrilamiento de los vagones siendo su desaceleración constante, evitando mayor fricción del desgaste de ruedas y rieles.

## **2.16. Distancia de visibilidad**

La distancia en que un operador o conductor tiene para reaccionar ante eventos imprevistos. “La visibilidad es como la capacidad del conductor para poder mirar hacia adelante y al estar este bajo el control de la trayectoria y velocidad del vehículo automotor, de su experticia y formación depende directamente una operación segura y eficiente” (Carlos, 2013, p.18). Permitiendo controlar el vehículo y evitar accidentes en cualquiera intersección de la vía.

La distancia de visibilidad en para se considera la velocidad de los vehículos entre sus paradas estimando un a precisión de 2.5 segundos estimando una desaceleración 4 metros por segundos, permitiendo el cruce libremente de los vehículos con seguridad antes de llegar al tren considerando una distancia de 7 metros a 6 metros.

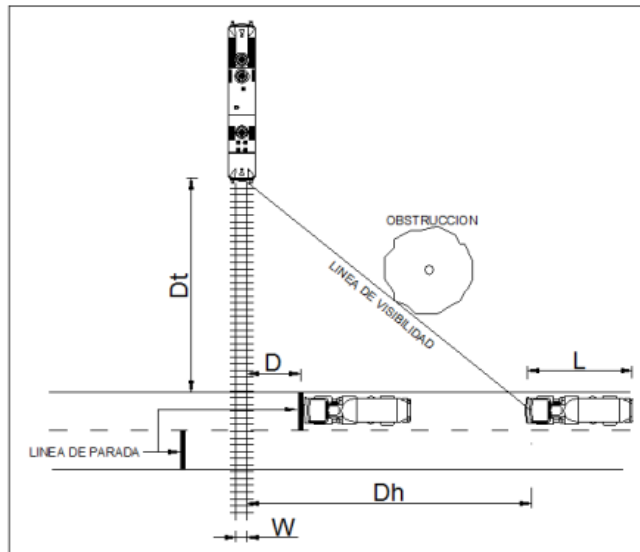
Al considerar que la velocidad de circulación en los caminos dentro de la línea férrea debe estar en los parámetros de diseño cumpliendo con dichas especificaciones. “La velocidad permitida, en ésta se refleja la incidencia de factores geométricos, como el número de carriles, distancias de visibilidad, alineaciones verticales y horizontales, que afectan a la probabilidad de incidencia de colisiones en los cruces a nivel” (Carlos, 2013, p.13). Evitando colisionar con vehículos que se encuentren circulando al su alrededor.

La distancia de visibilidad tiene que ver mucho como el tramo de carretera para ellos se estudiaran las distancias que existente entre la parada. Esta debe garantizar a lo largo de toda la vía siendo necesario estimar las distancias del frenado del auto motor y luego realizar el estudio de con tiempo de frenado y distancia de visibilidad.

La distancia de visibilidad depende mucho del número de vagones al cual este sometido el tren, por otra parte, hay que considerar la pendiente a la cual tendrá que ser expuesto.

**Figura 10**

*Distancia de visibilidad de un cruce ferroviario.*



*Nota.* En la presente imagen se observa el triángulo de visibilidad de un cruce ferroviario. Fuente: (CABASCANGO, 2013)

Se considera la distancia requerida para que el conductor pueda detenerse en un punto de la vía. Para llevar a análisis se toma como referencia la Figura 11 de distancia de visibilidad de un cruce ferroviario donde la longitud de la vía que recorre el tren está compuesta por dos distancias  $D_t$ , se detalla la distancia recorrida durante la maniobra de reacción,  $D_h$  la distancia de frenado de los vehiculos ante el cruce del tren.

En terrenos planos los alineamientos, horizontal y vertical, de modo que “Las distancias de visibilidad que dependen tanto de las restricciones horizontales como las verticales, son generalmente largas o puede obtenerse, sin dificultades constructivas o sin mayores costos” (Agudelo, 2002, p. 96). Es fácil obtener tangentes largas y radios de giros amplios incrementando el Angulo de visibilidad durante la trayectoria.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipos de investigación**

Para el desarrollo del presente proyecto se aplicará la investigación cualitativa – cuantitativa basándonos en la información bibliográfica cuyo contenido está sujeta al diseño geométrico vial. Se recolectará toda la información necesaria para identificar el análisis de interés requerido, fijándonos en parámetros de cumplimiento detallados en la normativa. Analizar el sistema constructivo y dar las conclusiones de diseño de las vías ferroviarias.

Se busco información bibliográfica detallada tan en manuales y normativas referentes al tema propuesto, para el diseño geométrico de ferrocarriles. Para pasar a la toma de datos en campo y realizar el estudio comparativo con una evaluación más detalla de acuerdo con las especificaciones técnicas. Este tipo de investigación servirá como base para futuros estudios de análisis de diseño ferroviario.

#### **3.2. Métodos**

Para el desarrollo del estudio se ha identificado la aplicación del método analítico acuerdo con propuesta. “El análisis como un procedimiento para llegar a la comprensión mediante la descomposición de un fenómeno en sus elementos constitutivos” (Lopera, 2010, p. 46). Para realizar la identificación de las partes que caracterizan al proyecto y la relación causa y efecto de los componentes.

Como parte deductiva se explicará a detalles la comparación de resultados obtenidos del análisis de estudio. “Consiste en la totalidad de reglas y procesos, con cuya ayuda es posible deducir conclusiones a partir de enunciados supuestos llamados premisas de una hipótesis” (Gómez, 2004, p. 17). Con el propósito de empleará acerca de las

características de modelos y diseños generales en proyectos similares, particularmente en la Norma “AREMA” que se utilizará en el proyecto que se pretende desarrollar.

### **3.3. Técnicas para recoger información**

Una de las fuentes de información, es la observación directa que se realizará en el sector para definir el estado actual en la que se encuentra la infraestructura férrea, lo cual permitirá establecer términos y condiciones que debemos tomar para el levantamiento topográfico.

Al iniciar la investigación se formuló si existe información, sobre el diseño y construcción de la línea férrea del Ecuador sector el “Chasqui”, siendo esta información necesaria para tener un punto de partida claro y determinate que facilite la investigación. Las Normativas ayudarán a entender los datos obtenidos una vez realizado el levantamiento topográfico con toda la información necesaria.

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

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

Para realizar análisis de la investigación, se recopilará información necesaria de documentos (Normas, tesis, libros, planos) que ayudaran con las referencias necesarias para dar inicio el estudio.

Los parámetros más relevantes para analizar de una infraestructura 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

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

Para preceder al levantamiento topográfico se necesita tener despejada el área de análisis para la obtención de una buena visibilidad lo cual se lo debe realizar un previo desbroce. Otro de los factores a tomar en cuenta son los factores climáticos ya que impiden realizar un buen estudio topográfico.

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

El primer parámetro que se necesita para realizar un levantamiento topográfico claro, detallado y con su debida limitación es el reconocimiento del lugar donde se ejecutara el proyecto en mención. Esto ayudará a estimar el tiempo necesario para la realización de la medición y saber qué información relevante nos puede servir como base de nuestro proyecto (puntos de control, abscisa do, referencias, etc.).

Una adecuada inspección del lugar ayuda a elaborar un cronograma de trabajo que estime el costo, la mano de obra, equipos y maquinaria necesaria para la ejecución de este proyecto.

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

Para saber de qué elementos está conformada la superestructura y si esto están puesto en obra conforme a lo que se estipula en la normativa “AREMA”. “La infraestructura ferroviaria que está compuesta mediante el 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 cual es de suma importancia saber si estos están cumpliendo con los parámetros requeridos.

### **3.4.3. Levantamiento topográfico**

La recopilación de información precisa y detallada de un sitio de estudio para la ejecución de un proyecto se le llama Levantamiento Topográfico. “se entiende por levantamiento topográfico al conjunto de operaciones que se ejecutan en el campo y de los medios puesto en práctica, para fijar las posiciones de puntos, así como su representación en el plano” (Zamarripa, 2010, p. 6). Por lo cual es de suma importancia realizar un levantamiento topográfico a detalle para así poder realizar un proyecto que sea sustentable y sostenible para la comunidad y el medio ambiente.

El levantamiento topográfico es de suma importancia para el ámbito de la construcción como: edificaciones, carreteras, puentes, sistemas hidráulicos, etc. Por tal motivo es la base principal para el inicio de un proyecto, ya que este nos brinda una información detallada sobre un plano a escala del sitio que se desea estudiar.

La medición se la realizara con un equipo topográfico que consta de: estación total, trípode y prismas, estos calibrados correctamente y en perfecto estado.

Esta información nos servirá para el diseño, planificación y ejecución del proyecto que se va a realizar.

### **3.4.4. Trabajo de gabinete**

Luego del trabajo en campo se procede a la depuración de los datos y poder ser utilizados para el diseño. “El dibujo topográfico, además del dibujo de la planta, el perfil, y las secciones trasversales, hay necesidad de realizar cálculos gráficos, luego la precisión en la localización de los puntos y líneas sobre un plano es factor muy importante” (Torres, 2000, p. 70). Estos planos serán utilizados para el análisis correspondiente de la vía férrea.

Mediante toda esta información se procederá al trabajo en gabinete el cual comprende, el postproceso de los datos para ser expórtalos al programa Civil 3D y proceder a realizar el diseño geométrico vial. Donde finalmente compararemos todos los parámetros obtenidos predispuestos por la Normativa América “AREMA”.

#### **3.4.5. Obtención y análisis de resultados**

Cuando se ha terminado de realizar el plano del levantamiento topográfico se procede con el análisis y verificación técnica en campo y así determinar si está cumpliendo con las medidas exactas en el sitio de ejecución del proyecto. Una vez realizado esta verificación se procede con la creación de las láminas necesarias para entregar a la entidad que se encargara de realizar cualquier análisis.

La presentación del análisis desarrollo se lo detallara en el Capítulo 6 del presente proyecto. Donde de manera resumida y didáctica se detallará todos los resultados obtenidos mediatinta tablas comparativas.

#### **3.4.6. Diseño y presentación de planos**

En diseño se pretende representa la línea ferroviaria de una manera virtual que simule todos los aspectos de una vía férrea, que plasme todo lo que se realizado el trabajo en campo. Para logra este diseño no ayudaremos del programa Civil 3D, el no facilita todas las herramientas necesarias para realizar dicha simulación de la vía.

Los planos obtenidos después de realizar todo este procedimiento serán imprimidos en formato (A1), con sus puntas bien definidas y a una escala adecuada que facilite al lector una comprensión más fácil al momento de la ejecución de la obra. Estos planos deben ser información de carácter reservados de la entidad que se encargue de realizar el trabajo de campo y no se permite su venta.

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

Las técnicas de investigación permitirán comparar contenidos reglamentados que especifican en las normas y manuales para el diseño de líneas ferroviarias. Siendo fundamental las fórmulas empleadas que se ajusten a lo más cercano de la realidad del diseño geométrico. Y desarrollo de esquemas que demuestren los resultados del criterio del análisis tomando en cuenta el diseño geométrico desarrollado.

Para el diseño geométrico 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 determinar toda la información necesaria de la recolección de datos siendo necesario establecer puntos de control para georreferenciar.

La determinación de los datos obtenido se ampliará la información en base a las especificaciones técnicas de la norma, con lo cual se procesará un diseño vial. Siendo de referencia principal la normativa “AREMA” que dará como conocimiento los parámetros que debe cumplir, el Capítulo 5 Track menciona todo lo relacionado al alineamiento horizontal y vertical de la sección típica de la línea ferroviaria.

#### **3.5.1 Diseño geométrico vial**

El diseño geométrico del proyecto estable un diseño iterativo a través del cual muestra en base a un modelo todas las características que comprende la línea férrea. Se pretende estimar que tipo de vía se diseñara para realizar las estimaciones de acuerdo con los reglamentos especificados en normas como: velocidad de diseño, radios de curvatura, peraltes donde se implementara el desarrollo de las curvas circulares, según sus necesidades de diseño.

La velocidad de diseño corresponde a una referencia inicial del proyecto que sirve como guía para determinar las especificaciones mínimas reglamentadas por la Norma. La

velocidad de diseño se puede implementar durante todo el tramo de la vía o parte del tramo de este dependiendo la mayor parte del relieve del terreno, que se van dando considerando una velocidad máxima a cuál se puede transitar de una manera segura durante el tramo de vía.

Analizando los parámetros del diseño geométrico se debe tomar en cuenta, los alineamientos horizontales como vertical y la velocidad de diseño que está sujeta al radio de curvatura, por otra parte, la distancia de visibilidad comprende los factores de diseño. Mientras los alineamientos verticales se debe considerar las pendientes máximas siendo los factores que más afectan en un diseño vial.

El diseño horizontal comprenderá el ancho de la calzada, bermas, peralte y sobreelevaciones. Todos estos parámetros se debe considerar que tipo de vía vamos a construir cuál será su utilidad para el bienestar de la población. Por ello se realizará un estudio preliminar teniendo en cuenta los siguientes criterios: Importancia y categoría de la vía, volúmenes esperados, disponibilidad de recursos económicos, quienes serán los más favorecidos, tiempo de ejecución de la obra, afectaciones durante el proceso constructivo.

Por ello se debe tener en cuenta las características de los vehículos que circularán por la vía por ello se requiere realizar estudios previos que determinen los tipos de vehículos. Y clasificar el tipo de vía de acuerdo con el TPDA que nos indica que tipo de vía será de acuerdo con el estudio preliminar realizado.

## CAPÍTULO IV

### DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 4.1 Revisión de la normativa AREMA

El capítulo 5 de la normativa AREMA hace referencia a las pistas abarcando los temas de investigación del presente proyecto. Por lo tanto, la elección de normas, artículos, manuales opta como referencia al diseño de ferrocarriles que determinan la velocidad de diseño, alineamientos horizontales y verticales, curvas espirales, construcción de vías.

Este capítulo abarca todas las prácticas recomendadas por la Asociación bajo el título específico de "Vía", excepto aquellas relacionadas con el diseño, los detalles, los materiales y la mano de obra para las ranas, los cambios, los cruces y otros trabajos de vías especiales, que están cubiertos en el Portafolio de Planes de Vías de AREMA, que abarca más de 100 hojas.

El material de este y otros capítulos del AREMA Manual de Ingeniería Ferroviaria se publica como práctica recomendada para ferrocarriles y otros relacionados con el diseño de ingeniería y la construcción de propiedades fijas de ferrocarriles (excepto señales y comunicaciones) y servicios e instalaciones afines. A los efectos de este Manual, PRÁCTICA RECOMENDADA se define como un material, dispositivo, diseño, plan, especificación, principio o práctica recomendada a los ferrocarriles para su uso según sea necesario, ya sea exactamente como se presenta o con las modificaciones que sean necesarias o deseables para satisfacer las necesidades de los ferrocarriles individuales, pero en cualquier caso, con miras a promover la eficiencia y la economía en la ubicación, construcción, operación o mantenimiento de los ferrocarriles.

## 4.2. Levantamiento topográfico

Para el presente desarrollo de proyecto se inició con el levantamiento topográfico el cual indica toda la red existente en este tramo. Levantado toda su estructura ferroviaria para realizar un diseño geométrico y poder analizar si esta cumple con los parámetros establecidos en la normativa AREMA.

El levantamiento topográfico ayudara analizar todos los elementos que componen la superestructura de la red ferroviaria. Se debe tener en cuenta los límites de la trocha a lo largo del tramo y sus intenciones viales.

El procesamiento de datos se lo debe realizar depurando la información que no es válida generando una nube de puntos que tenga similitud de la vía férrea. Esto se lo verificara con la ayuda del programa Civil 3D, tiene la capacidad de diseñar y simular toda esta red ferroviaria.

**Tabla 5**

*Coordenadas de levantamiento topográfico.*

<b>Point</b>	<b>Name</b>	<b>Northing (m)</b>	<b>Easting (m)</b>	<b>Elevation (m)</b>	<b>Description</b>
1		9922769.86	768374.702	3152.986	NA
2		9922699.77	768375.167	3152.418	GPS2
3		9922702.77	768389.5	3152.155	V
4		9922711.85	768372.647	3152.395	V
5		9922714.52	768387.076	3152.21	V
6		9922723.88	768370.17	3152.383	V
7		9922727.95	768384.322	3152.181	V
8		9922733.09	768368.228	3152.341	V
9		9922739.75	768381.861	3152.222	V
10		9922744	768365.844	3152.35	V
11		9922748.21	768380.13	3152.365	V
12		9922751.71	768363.08	3152.358	V
13		9922749.75	768379.775	3152.348	V
14		9922758.52	768378.011	3152.572	V
15		9922756.63	768354.276	3152.416	V
16		9922764.58	768376.836	3152.703	V
17		9922759.24	768368.04	3152.684	V
18		9922759.88	768368.783	3152.625	V
19		9922764.65	768356.038	3152.914	V
20		9922780.82	768364.061	3153.429	V

21	9922780.02	768372.509	3153.325	V
22	9922779.76	768372.976	3153.324	PST
23	9922741.76	768381.536	3152.264	PST
24	9922745.21	768380.861	3152.369	BR
25	9922748.41	768363.787	3152	R
26	9922749.07	768362.799	3151.98	R
27	9922750.18	768364.932	3152.062	R
28	9922751.06	768364.071	3152.068	R
29	9922754.17	768367.526	3152.224	R
30	9922754.98	768366.542	3152.23	R
31	9922758.64	768368.913	3152.364	R
32	9922764.13	768373.915	3152.592	R
33	9922764.82	768372.951	3152.568	R
34	9922770.44	768377.955	3152.845	R
35	9922771.21	768377.054	3152.827	R
36	9922769.65	768379.499	3152.859	T
37	9922773.2	768376.871	3152.992	T
38	9922771.6	768381.081	3152.675	PR
39	9922772.2	768381.216	3152.614	K
40	9922772.69	768380.45	3152.668	K
41	9922771.47	768380.564	3152.629	K
42	9922783.45	768384.876	3153.288	R
43	9922782.82	768385.859	3153.303	R
44	9922784.64	768383.706	3152.693	R
45	9922781.41	768387.963	3152.382	T
46	9922794.73	768392.118	3153.699	R
47	9922794.11	768393.076	3153.715	R
48	9922795.7	768390.594	3153.088	T
49	9922792.01	768395.991	3152.575	T
50	9922806.76	768399.768	3154.099	R
51	9922806.18	768400.789	3154.12	R
52	9922807.49	768398.396	3153.51	T
53	9922804.22	768403.032	3153.514	T
54	9922817.63	768406.758	3154.42	R
55	9922817.01	768407.768	3154.453	R
56	9922816.27	768408.956	3153.96	T
57	9922818.67	768405.359	3153.863	T
58	9922826.46	768413.787	3154.712	R
59	9922825.81	768414.716	3154.336	T
60	9922827.04	768412.767	3154.701	R
61	9922827.93	768411.331	3154.26	T
62	9922834.08	768418.625	3154.941	R
63	9922834.67	768417.662	3154.898	R
64	9922833.38	768419.7	3154.471	T
65	9922835.66	768416.151	3154.472	T
66	9922843.44	768424.615	3155.149	R
67	9922844.03	768423.624	3155.139	R
68	9922842.71	768425.534	3154.779	T
69	9922844.91	768422.262	3154.774	T
70	9922851.43	768429.712	3155.315	R

71	9922852.02	768428.711	3155.303	R
72	9922850.85	768430.686	3155.226	T
73	9922852.67	768427.539	3155.141	T
74	9922861.2	768435.998	3155.502	R
75	9922861.8	768435.011	3155.502	R
76	9922860.5	768437.22	3155.241	T
77	9922862.52	768433.734	3155.143	T
78	9922869.99	768441.632	3155.663	R
79	9922870.61	768440.646	3155.662	R
80	9922869.15	768442.756	3155.261	T
81	9922871.29	768439.169	3155.218	T
82	9922859.93	768439.898	3156.917	AE22
83	9922879.46	768447.737	3155.831	R
84	9922880.09	768446.779	3155.811	R
85	9922878.78	768448.943	3155.467	T
86	9922881.04	768445.421	3155.298	T
87	9922889.02	768453.82	3155.989	R
88	9922889.58	768452.833	3155.984	R
89	9922888.41	768454.895	3155.534	T
90	9922890.23	768451.569	3155.582	T
91	9922900.66	768461.276	3156.164	R
92	9922901.33	768460.347	3156.152	R
93	9922899.96	768462.432	3155.692	T
94	9922902.18	768458.937	3155.723	T
95	9922911.97	768468.537	3156.27	R
96	9922912.54	768467.567	3156.264	R
97	9922911.34	768469.585	3155.782	T
98	9922913.48	768466.339	3155.849	T
99	9922923.77	768476.14	3156.437	R
100	9922924.4	768475.142	3156.411	R
101	9922923.05	768477.162	3156.008	T
102	9922925.12	768474.04	3156.031	T
103	9922935.11	768483.419	3156.583	R
104	9922935.71	768482.401	3156.566	R
105	9922934.65	768484.591	3156.146	T
106	9922936.48	768481.158	3156.121	T
107	9922946.39	768490.613	3156.759	R
108	9922947.02	768489.663	3156.727	R
109	9922945.62	768491.702	3156.316	T
110	9922947.89	768488.465	3156.241	T
111	9922954.6	768495.863	3156.864	R
112	9922955.17	768494.891	3156.856	R
113	9922953.47	768496.555	3156.493	T
114	9922955.94	768493.938	3156.237	T
115	9922962.46	768500.332	3156.842	E1
116	9922961	768503.199	3156.693	376
117	9922973.57	768508.073	3157.128	R
118	9922974.2	768507.123	3157.106	R
119	9922972.69	768509.428	3156.597	T
120	9922974.96	768505.912	3156.637	T



121	9922984.23	768514.964	3157.326	R
122	9922984.86	768513.942	3157.31	R
123	9922983.26	768516.313	3156.773	T
124	9922985.89	768512.42	3157.047	T
125	9922995.82	768522.344	3157.509	R
126	9922996.44	768521.371	3157.496	R
127	9922994.97	768523.745	3156.83	T
128	9922997.36	768520.004	3157.326	T
129	9923007.28	768529.698	3157.722	R
130	9923007.86	768528.695	3157.691	R
131	9923006.45	768531.034	3157.154	T
132	9923008.8	768527.563	3157.507	T
133	9923018.95	768537.196	3157.955	R
134	9923019.57	768536.235	3157.925	R
135	9923018.13	768538.313	3157.374	T
136	9923020.41	768534.692	3157.643	T
137	9923030.96	768544.897	3158.191	R
138	9923031.63	768543.935	3158.18	R
139	9923030.25	768546.251	3157.503	T
140	9923032.53	768542.467	3157.82	T
141	9923042.37	768552.211	3158.471	R
142	9923042.99	768551.23	3158.452	R
143	9923041.48	768553.647	3157.874	T
144	9923044.04	768549.821	3158.076	T
145	9923054.19	768559.774	3158.817	R
146	9923054.78	768558.786	3158.793	R
147	9923053.15	768561.13	3158.077	T
148	9923055.51	768557.466	3158.437	T
149	9923065.59	768567.07	3159.15	R
150	9923066.1	768566.056	3159.119	R
151	9923064.76	768568.504	3158.471	T
152	9923066.88	768564.761	3158.641	T
153	9923077.9	768574.962	3159.528	R
154	9923078.53	768574.03	3159.498	R
155	9923077.25	768576.172	3159.122	T
156	9923079.17	768572.807	3159.02	T
157	9923089.91	768582.697	3159.946	R
158	9923090.44	768581.682	3159.915	R
159	9923089.22	768583.938	3159.212	T
160	9923091.06	768580.867	3159.621	T
161	9923101.79	768590.291	3160.362	R
162	9923102.33	768589.29	3160.349	R
163	9923100.87	768591.757	3159.654	T
164	9923103.11	768588.078	3159.95	T
165	9923113.22	768597.619	3160.8	R
166	9923113.83	768596.622	3160.789	R
167	9923112.69	768598.873	3160.233	T
168	9923114.75	768595.447	3160.295	T
169	9923124.69	768605.016	3161.221	R
170	9923125.16	768603.99	3161.221	R

171	9923124.04	768606.069	3160.741	T
172	9923126.13	768602.62	3160.738	T
173	9923136.37	768612.498	3161.656	R
174	9923136.94	768611.543	3161.654	R
175	9923135.89	768613.534	3161.194	T
176	9923137.86	768610.216	3161.19	T
177	9923148.66	768620.409	3162.098	R
178	9923149.25	768619.462	3162.125	R
179	9923148.18	768621.874	3161.588	T
180	9923150.41	768618.247	3161.645	T
181	9923159.67	768627.787	3162.514	R
182	9923160.32	768626.833	3162.549	R
183	9923159.04	768628.985	3161.862	T
184	9923161.27	768625.669	3162.061	T
185	9923170.11	768635.443	3162.88	R
186	9923170.82	768634.523	3162.924	R
187	9923169.53	768636.586	3162.392	T
188	9923171.74	768633.417	3162.51	T
189	9923180.03	768643.665	3163.297	R
190	9923180.71	768642.774	3163.351	R
191	9923188.03	768649.264	3163.584	E2
192	9923010.76	768504.692	3158.066	V
193	9923024.61	768504.961	3158.26	V
194	9922968.86	768505.835	3156.901	B
195	9922969.5	768503.043	3156.971	B
196	9923190.97	768645.966	3163.258	M22
197	9923176.49	768642.88	3162.49	T
198	9923177.79	768641.78	3163.172	R
199	9923178.52	768640.954	3163.241	R
200	9923179.35	768639.978	3162.99	T
201	9923190.84	768652.396	3163.785	R
202	9923190.04	768653.189	3163.707	R
203	9923189.16	768654.139	3163.267	T
204	9923187.28	768656.227	3163.006	T
205	9923191.54	768651.962	3163.562	T
206	9923193.86	768649.292	3163.567	T
207	9923197.37	768659.444	3164.113	R
208	9923196.49	768660.191	3164.046	R
209	9923195.51	768661.25	3163.587	T
210	9923193.76	768663.224	3163.656	T
211	9923198.23	768659.225	3163.896	T
212	9923200.47	768656.433	3163.911	T
213	9923203.07	768666.118	3164.417	R
214	9923202.16	768666.802	3164.379	R
215	9923203.81	768665.586	3164.154	T
216	9923200.99	768667.776	3163.829	T
217	9923205.54	768664.124	3164.348	T
218	9923199.49	768669.528	3163.99	T
219	9923208.42	768672.895	3164.731	R
220	9923207.49	768673.584	3164.68	R

221	9923209.28	768672.372	3164.441	T
222	9923205.99	768674.589	3164.063	T
223	9923210.95	768671.315	3164.569	T
224	9923214	768680.733	3165.114	R
225	9923213.05	768681.358	3165.079	R
226	9923214.94	768680.099	3164.759	T
227	9923211.74	768681.914	3164.547	T
228	9923217.47	768677.833	3164.806	T
229	9923210.78	768682.671	3164.729	T
230	9923218.13	768686.873	3165.4	R
231	9923217.16	768687.486	3165.371	R
232	9923218.95	768686.298	3165.11	T
233	9923215.88	768687.956	3164.868	T
234	9923222.73	768684.037	3165.417	T
235	9923215.23	768688.934	3165.076	T
236	9923222.11	768692.975	3165.673	R
237	9923221.18	768693.657	3165.668	R
238	9923223	768692.405	3165.427	T
239	9923219.79	768694.198	3165.042	T
240	9923219.27	768694.949	3165.547	T
241	9923227.01	768689.804	3166.086	T
242	9923228.59	768704.11	3166.052	E3
243	9923229.67	768704.663	3166.197	R
244	9923230.4	768704.164	3166.142	T
245	9923232.03	768702.884	3166.506	T
246	9923229	768705.752	3166.199	R
247	9923227.91	768706.382	3165.784	T
248	9923227.48	768706.931	3165.722	T
249	9923236.89	768715.858	3166.698	R
250	9923235.99	768716.45	3166.699	R
251	9923237.75	768715.042	3166.59	T
252	9923235.02	768717.001	3166.344	T
253	9923238.73	768714.361	3166.639	T
254	9923234.34	768717.7	3166.466	T
255	9923244.35	768727.461	3167.222	R
256	9923243.42	768728.052	3167.243	R
257	9923245.15	768726.845	3167.059	T
258	9923242.49	768728.577	3167.028	T
259	9923245.84	768726.428	3167.138	T
260	9923241.88	768729.125	3166.958	T
261	9923251.11	768739.934	3167.813	R
262	9923252.02	768739.345	3167.802	R
263	9923252.9	768738.824	3167.62	T
264	9923250.05	768740.441	3167.421	T
265	9923253.66	768738.442	3167.531	T
266	9923249.9	768741.316	3167.375	T
267	9923258.96	768750.071	3168.303	R
268	9923258.06	768750.746	3168.323	R
269	9923259.63	768749.422	3168.237	T
270	9923257.26	768751.313	3168.07	T

271	9923260.58	768748.795	3168.185	T
272	9923256.68	768751.87	3167.931	T
273	9923264.77	768761.199	3168.813	R
274	9923265.79	768760.618	3168.812	R
275	9923266.61	768760.139	3168.754	T
276	9923264	768761.95	3168.561	T
277	9923267.54	768759.628	3168.812	T
278	9923263.52	768762.549	3168.558	T
279	9923272.79	768771.447	3169.35	R
280	9923271.9	768772.192	3169.373	R
281	9923273.69	768770.975	3169.157	T
282	9923271.16	768772.733	3169.068	T
283	9923274.59	768770.427	3169.171	T
284	9923270.45	768773.039	3168.953	T
285	9923279.4	768781.705	3169.885	R
286	9923278.47	768782.376	3169.912	R
287	9923280.24	768781.189	3169.718	T
288	9923281.24	768780.594	3169.69	T
289	9923277.76	768782.95	3169.569	T
290	9923285.89	768791.726	3170.397	R
291	9923284.94	768792.367	3170.411	R
292	9923286.72	768791.216	3170.344	T
293	9923287.7	768790.64	3170.322	T
294	9923284.52	768793.131	3170.114	T
295	9923287.22	768789.781	3170.208	PR
296	9923289.32	768799.199	3170.741	R
297	9923290.3	768798.59	3170.733	R
298	9923288.81	768799.916	3170.541	T
299	9923291.19	768797.952	3170.657	T
300	9923292.18	768797.247	3170.701	T
301	9923295.3	768808.439	3171.214	R
302	9923296.25	768807.795	3171.204	R
303	9923294.58	768808.994	3170.89	T
304	9923297.02	768807.277	3171.148	T
305	9923297.93	768806.609	3171.119	T
306	9923301.75	768818.287	3171.734	R
307	9923302.65	768817.596	3171.731	R
308	9923303.37	768817.091	3171.688	T
309	9923301.1	768818.706	3171.672	T
310	9923304.47	768816.221	3171.695	T
311	9923309.25	768829.929	3172.383	R
312	9923310.05	768829.139	3172.37	R
313	9923311	768828.787	3172.398	T
314	9923313.77	768836.052	3172.64	E4
315	9923317.19	768842.523	3173.082	V
316	9923307.92	768844.864	3171.398	V
317	9923308.41	768850.281	3171.57	V
318	9923320.66	768848.239	3173.37	V
319	9923319.24	768851.027	3173.282	PST
320	9923326.01	768839.934	3173.404	V

321	9923328.58	768847.115	3173.558	V
322	9923314.58	768840.315	3172.766	T
323	9923316.52	768839.357	3172.954	R
324	9923317.56	768838.788	3172.831	T
325	9923316.58	768841.494	3173.018	R
326	9923317.59	768841.361	3173.047	R
327	9923315.54	768842.118	3172.712	T
328	9923319.34	768845.931	3173.258	R
329	9923320.56	768845.782	3173.387	R
330	9923318.59	768846.61	3173.018	R
331	9923321.72	768845.58	3173.428	T
332	9923321.56	768849.507	3173.425	R
333	9923322.61	768849.028	3173.484	R
334	9923320.67	768850.159	3173.006	T
335	9923324.25	768849.043	3173.434	T
336	9923319.95	768850.781	3172.818	T
337	9923325.6	768849.383	3173.431	T
338	9923325.46	768855.9	3173.727	R
339	9923326.48	768855.25	3173.799	R
340	9923324.35	768856.49	3173.17	T
341	9923327.48	768854.657	3173.308	T
342	9923323.69	768856.852	3173.209	T
343	9923328.09	768854.281	3173.257	T
344	9923329.53	768862.51	3174.037	R
345	9923330.55	768862.038	3174.117	R
346	9923328.38	768863.237	3173.462	T
347	9923331.56	768861.304	3173.62	T
348	9923332.15	768860.948	3173.593	T
349	9923327.75	768863.605	3173.323	T
350	9923333.07	768868.637	3174.323	R
351	9923333.98	768868.062	3174.39	R
352	9923335.06	768867.462	3173.914	T
353	9923335.54	768867.204	3173.876	T
354	9923332.03	768869.26	3173.731	T
355	9923331.16	768869.616	3173.595	T
356	9923337.03	768876.473	3174.656	R
357	9923338.07	768875.878	3174.712	R
358	9923339.07	768875.367	3174.402	T
359	9923335.93	768877.144	3174.093	T
360	9923335.27	768877.675	3173.897	T
361	9923339.78	768875.558	3174.382	T
362	9923340.69	768884.1	3174.97	R
363	9923341.7	768883.599	3175.031	R
364	9923339.83	768884.481	3174.543	T
365	9923339.23	768885.25	3174.178	T
366	9923343.47	768882.769	3174.628	T
367	9923345.96	768892.923	3175.327	E5
368	9923344.91	768890.957	3175.324	R
369	9923343.85	768891.427	3175.277	R
370	9923346.09	768890.562	3174.909	T

371	9923342.46	768891.911	3174.592	T
372	9923346.69	768890.296	3174.839	T
373	9923341.7	768892.052	3174.499	T
374	9923347.72	768898.546	3175.66	R
375	9923346.68	768899.016	3175.604	R
376	9923349.21	768898.087	3175.101	T
377	9923345.68	768899.309	3175.028	T
378	9923349.66	768898.019	3175.068	T
379	9923344.77	768899.91	3174.769	T
380	9923350.32	768906.442	3175.972	R
381	9923349.17	768906.748	3175.917	R
382	9923351.54	768906.075	3175.609	R
383	9923347.74	768907.043	3175.251	T
384	9923352.36	768905.959	3175.594	T
385	9923347.05	768907.322	3175.261	T
386	9923352.68	768914.563	3176.267	R
387	9923351.57	768914.966	3176.2	R
388	9923353.9	768914.368	3175.885	T
389	9923350.49	768915.152	3175.711	T
390	9923354.52	768914.189	3175.778	T
391	9923349.67	768915.207	3175.537	T
392	9923354.61	768922.455	3176.558	R
393	9923353.48	768922.621	3176.498	R
394	9923355.84	768922.177	3176.145	T
395	9923352.42	768922.845	3175.994	T
396	9923356.49	768922.023	3176.038	T
397	9923351.74	768923.112	3175.835	T
398	9923356.31	768930.783	3176.871	R
399	9923355.12	768931.038	3176.818	R
400	9923357.7	768930.66	3176.322	T
401	9923353.68	768931.383	3176.163	T
402	9923358.21	768930.576	3176.277	T
403	9923353.18	768931.426	3176.159	T
404	9923357.73	768940.661	3177.233	R
405	9923356.61	768940.806	3177.173	R
406	9923358.92	768940.591	3176.779	T
407	9923355.22	768940.982	3176.499	T
408	9923359.68	768940.521	3176.596	T
409	9923354.75	768941.151	3176.457	T
410	9923358.69	768949.957	3177.581	R
411	9923357.53	768950.051	3177.538	R
412	9923359.95	768949.879	3177.282	T
413	9923356.21	768949.9	3176.953	T
414	9923360.53	768949.719	3177.192	T
415	9923359.53	768957.414	3177.815	E6
416	9923355.55	768949.815	3176.664	T
417	9923359.28	768958.574	3177.921	R
418	9923358.14	768958.774	3177.889	R
419	9923360.74	768958.663	3177.319	T
420	9923356.88	768959.045	3177.259	T

421	9923361.06	768958.668	3177.29	T
422	9923355.7	768959.335	3177.423	T
423	9923359.61	768967.371	3178.244	R
424	9923358.44	768967.502	3178.237	R
425	9923360.65	768967.34	3177.746	T
426	9923356.94	768967.476	3177.598	T
427	9923361.5	768967.191	3177.73	T
428	9923355.98	768967.725	3177.646	T
429	9923359.77	768978.241	3178.666	R
430	9923358.58	768978.299	3178.654	R
431	9923361.07	768978.336	3178.04	T
432	9923357.08	768978.202	3178.069	T
433	9923361.71	768978.262	3178.034	T
434	9923356.16	768978.494	3177.984	T
435	9923359.83	768988.569	3179.049	R
436	9923358.64	768988.579	3179.073	R
437	9923361.17	768988.576	3178.403	T
438	9923357.28	768988.536	3178.406	T
439	9923361.82	768988.469	3178.322	T
440	9923356.68	768988.508	3178.284	T
441	9923359.83	768996.373	3179.359	R
442	9923358.72	768996.447	3179.394	R
443	9923361.18	768996.484	3178.897	T
444	9923357.31	768996.387	3178.729	T
445	9923362.08	768996.424	3178.921	T
446	9923356.27	768996.391	3178.718	T
447	9923359.92	769003.98	3179.757	V
448	9923358.18	769004.115	3179.741	V
449	9923367.54	769001.318	3179.706	V
450	9923355.48	769004.294	3179.601	V
451	9923369.8	769004.42	3179.62	V
452	9923355.45	769007.384	3179.659	V
453	9923364.84	769007.413	3179.742	V
454	9923357.84	769007.401	3179.77	V
455	9923353.13	769001.947	3179.93	PST
456	9923358.77	769004.321	3179.783	R
457	9923359.84	769004.239	3179.765	R
458	9923357.59	769004.663	3179.708	T
459	9923361.11	769003.723	3179.756	T
460	9923362.48	769003.468	3179.722	T
461	9923358.79	769013.526	3180.113	R
462	9923359.96	769013.629	3180.064	R
463	9923357.44	769013.612	3179.587	T
464	9923360.55	769013.716	3179.825	T
465	9923356.75	769013.738	3179.547	T
466	9923361.59	769013.63	3179.883	T
467	9923358.87	769026.133	3180.653	R
468	9923360.01	769026.135	3180.585	R
469	9923356.95	769025.946	3179.967	T
470	9923361.11	769026.2	3180.18	T

471	9923361.78	769026.117	3180.248	T
472	9923358.96	769039.118	3181.223	R
473	9923360.11	769039.069	3181.135	R
474	9923357.63	769038.972	3180.684	T
475	9923361.29	769038.984	3180.598	T
476	9923357.03	769038.92	3180.534	T
477	9923361.86	769038.947	3180.705	T
478	9923359.17	769051.846	3181.764	R
479	9923360.32	769051.886	3181.652	R
480	9923357.84	769051.838	3181.261	T
481	9923357.3	769051.869	3181.092	T
482	9923361.63	769051.664	3181.106	T
483	9923362.11	769051.734	3181.015	T
484	9923359.7	769065.212	3182.352	R
485	9923360.87	769065.042	3182.21	R
486	9923358.35	769065.124	3181.788	T
487	9923361.94	769065.009	3181.779	T
488	9923357.33	769065.228	3181.643	T
489	9923362.85	769064.833	3181.564	T
490	9923360.27	769072.896	3182.644	R
491	9923361.44	769072.684	3182.482	R
492	9923358.71	769072.599	3182.004	T
493	9923362.47	769072.604	3182.002	T
494	9923357.55	769072.555	3181.797	T
495	9923363.28	769072.035	3181.885	T
496	9923361.31	769077.122	3182.652	E7
497	9923362.23	769079.89	3182.805	R
498	9923361.11	769079.985	3182.911	R
499	9923359.3	769079.985	3182.289	T
500	9923358.04	769080.258	3181.991	T
501	9923363.25	769079.833	3182.404	T
502	9923363.82	769079.879	3182.073	T
503	9923363.63	769088.406	3183.126	R
504	9923362.48	769088.639	3183.209	R
505	9923364.77	769088.158	3182.669	T
506	9923365.31	769088.105	3182.426	T
507	9923361.12	769088.803	3182.8	T
508	9923359.83	769088.9	3182.601	T
509	9923365.49	769096.706	3183.422	R
510	9923364.4	769096.946	3183.516	R
511	9923366.4	769096.425	3183.297	T
512	9923362.87	769097.113	3183.36	T
513	9923367.56	769096.022	3183.24	T
514	9923361.44	769097.282	3183.222	T
515	9923367.48	769103.847	3183.659	R
516	9923366.38	769104.275	3183.753	R
517	9923368.45	769103.648	3183.327	T
518	9923365.2	769104.602	3183.361	T
519	9923368.97	769103.517	3183.08	T
520	9923364.17	769104.679	3183.42	T



521	9923369.8	769110.637	3183.916	R
522	9923368.72	769111.033	3184.014	R
523	9923370.69	769110.204	3183.574	T
524	9923367.35	769111.432	3183.551	T
525	9923371.22	769110.082	3183.358	T
526	9923366.7	769111.682	3183.542	T
527	9923372.6	769117.816	3184.161	R
528	9923371.55	769118.378	3184.262	R
529	9923373.65	769117.25	3183.713	T
530	9923370.18	769118.848	3183.825	T
531	9923374.27	769116.811	3183.595	T
532	9923369.62	769119.161	3183.913	T
533	9923375.86	769124.781	3184.463	R
534	9923374.82	769125.298	3184.551	R
535	9923376.74	769124.324	3184.117	T
536	9923373.52	769125.896	3184.139	T
537	9923377.85	769124.063	3184.17	T
538	9923372.96	769126.369	3184.263	T
539	9923379.41	769131.333	3184.74	R
540	9923378.48	769132.056	3184.848	R
541	9923377.31	769132.832	3184.442	R
542	9923376.6	769133.206	3184.548	T
543	9923380.56	769131.295	3184.684	T
544	9923381.19	769130.964	3184.746	T
545	9923383.65	769140.266	3185.2	R
546	9923384.6	769139.608	3185.11	R
547	9923382.32	769140.958	3184.8	T
548	9923385.47	769138.993	3184.809	T
549	9923381.7	769141.299	3184.866	T
550	9923386.05	769138.347	3184.772	T
551	9923388.25	769146.3	3185.386	E8
552	9923390.15	769147.378	3185.492	R
553	9923389.3	769148.051	3185.595	R
554	9923391.21	769146.669	3185.074	T
555	9923388.1	769148.864	3185.105	T
556	9923391.64	769146.338	3184.874	T
557	9923387.59	769149.335	3185.155	T
558	9923394.57	769152.709	3185.771	R
559	9923393.78	769153.546	3185.859	R
560	9923395.55	769151.848	3185.295	T
561	9923392.68	769154.455	3185.349	T
562	9923396.02	769151.575	3185.115	T
563	9923392.24	769155	3185.409	T
564	9923399.9	769158.569	3186.042	R
565	9923399.02	769159.309	3186.127	R
566	9923400.74	769157.786	3185.632	T
567	9923397.85	769160.394	3185.608	T
568	9923401.28	769157.392	3185.408	T
569	9923397.62	769160.765	3185.6	T
570	9923405.83	769164.393	3186.327	R

571	9923405.09	769165.199	3186.429	R
572	9923406.74	769163.484	3185.919	T
573	9923403.87	769166.201	3185.976	T
574	9923407.25	769163.053	3185.781	T
575	9923403.39	769166.657	3186.105	T
576	9923412.29	769169.943	3186.632	R
577	9923411.58	769170.841	3186.748	R
578	9923412.89	769169.053	3186.245	T
579	9923410.58	769171.919	3186.366	T
580	9923413.36	769168.4	3186.156	T
581	9923410.18	769172.498	3186.456	T
582	9923418.69	769176.387	3187.091	R
583	9923419.43	769175.507	3187.004	R
584	9923417.83	769177.48	3186.723	T
585	9923420.1	769174.709	3186.63	T
586	9923417.44	769178.125	3186.764	T
587	9923420.53	769174.084	3186.531	T
588	9923426.19	769181.733	3187.452	R
589	9923426.88	769180.745	3187.368	R
590	9923425.3	769182.819	3187.061	T
591	9923427.27	769180.025	3186.987	T
592	9923424.91	769183.36	3187.007	T
593	9923427.81	769179.353	3187.08	T
594	9923433.05	769186.252	3187.751	R
595	9923433.67	769185.298	3187.677	R
596	9923432.15	769187.321	3187.33	T
597	9923434.17	769184.619	3187.2	T
598	9923431.85	769187.892	3187.251	T
599	9923434.44	769183.949	3187.196	T
600	9923440.77	769191.209	3188.058	R
601	9923441.41	769190.284	3187.996	R
602	9923439.98	769192.133	3187.685	T
603	9923441.92	769189.368	3187.533	T
604	9923439.43	769192.781	3187.609	T
605	9923442.42	769188.552	3187.779	T
606	9923448.71	769196.18	3188.373	R
607	9923449.32	769195.205	3188.343	R
608	9923448	769197.193	3188.002	T
609	9923449.88	769194.338	3187.867	T
610	9923447.78	769197.764	3188.012	T
611	9923450.23	769193.631	3187.974	T
612	9923457.72	769201.698	3188.711	R
613	9923458.32	769200.742	3188.691	R
614	9923457.07	769202.669	3188.274	T
615	9923458.79	769200.032	3188.312	T
616	9923456.52	769203.455	3188.278	T
617	9923459.09	769199.503	3188.293	T
618	9923465.97	769206.639	3189.012	R
619	9923466.53	769205.692	3189.007	R
620	9923465.3	769207.667	3188.664	T

621	9923466.98	769204.974	3188.7	T
622	9923464.99	769208.384	3188.664	T
623	9923467.31	769204.303	3188.728	T
624	9923474.36	769211.781	3189.318	R
625	9923474.92	769210.782	3189.303	R
626	9923473.56	769212.825	3188.816	T
627	9923475.13	769210.319	3189.174	T
628	9923473.15	769213.391	3188.805	T
629	9923475.45	769209.832	3189.141	T
630	9923483.56	769217.328	3189.65	R
631	9923484.18	769216.417	3189.648	R
632	9923482.74	769218.343	3189.153	T
633	9923484.65	769215.896	3189.369	T
634	9923482.37	769218.863	3189.139	T
635	9923489.23	769220.041	3189.738	E9
636	9923484.71	769215.445	3189.332	T
637	9923485.2	769214.759	3189.449	T
638	9923490.19	769221.231	3189.885	R
639	9923490.73	769220.295	3189.87	R
640	9923489.49	769222.415	3189.344	T
641	9923491.27	769219.445	3189.582	T
642	9923489.24	769223.034	3189.325	T
643	9923491.73	769218.825	3189.625	T
644	9923495.88	769224.716	3190.081	R
645	9923496.54	769223.798	3190.076	R
646	9923495.16	769225.741	3189.612	T
647	9923497	769222.954	3189.787	T
648	9923494.89	769226.359	3189.601	T
649	9923497.32	769222.419	3189.801	T
650	9923497.97	769227.86	3189.992	V
651	9923503.04	769227.056	3190.347	V
652	9923494.62	769227.908	3190.064	V
653	9923509.67	769226.206	3190.391	V
654	9923494.22	769231.97	3190.098	V
655	9923511.78	769230.48	3190.433	V
656	9923499.37	769231.233	3190.107	V
657	9923507.43	769230.045	3190.439	V
658	9923502.59	769230.874	3190.217	V
659	9923502.87	769228.902	3190.368	R
660	9923503.52	769228.008	3190.351	R
661	9923502.21	769229.534	3190.22	T
662	9923504.31	769227.525	3190.379	T
663	9923508.87	769232.585	3190.537	R
664	9923509.49	769231.555	3190.536	R
665	9923508.08	769233.668	3190.004	T
666	9923510.24	769230.757	3190.468	T
667	9923507.84	769234.263	3189.922	T
668	9923510.97	769230.267	3190.378	T
669	9923517.15	769237.61	3190.831	R
670	9923517.75	769236.671	3190.826	R

671	9923516.5	769238.517	3190.382	T
672	9923518.42	769235.589	3190.477	T
673	9923516.2	769239.385	3190.333	T
674	9923518.81	769234.774	3190.41	T
675	9923512.45	769238.932	3190.824	PST
676	9923525.94	769242.893	3191.168	R
677	9923526.49	769241.923	3191.148	R
678	9923525.24	769243.824	3190.687	T
679	9923527.15	769240.914	3190.844	T
680	9923524.74	769244.445	3190.516	T
681	9923527.49	769240.227	3190.517	T
682	9923535.16	769241.189	3191.411	21
683	9923535.39	769248.516	3191.509	R
684	9923536.01	769247.613	3191.489	R
685	9923534.65	769249.481	3191.049	T
686	9923536.75	769246.554	3191.033	T
687	9923537.13	769245.995	3190.921	T
688	9923550.68	769257.698	3192.06	R
689	9923550.03	769258.622	3191.64	T
690	9923551.25	769256.74	3192.05	R
691	9923551.89	769255.781	3191.75	T
692	9923552.34	769255.12	3191.556	T
693	9923564.91	769266.257	3192.608	R
694	9923564.26	769267.246	3192.096	T
695	9923565.4	769265.311	3192.585	R
696	9923566.05	769264.272	3192.278	T
697	9923566.54	769263.484	3192.073	T
698	9923579.55	769275.112	3193.139	R
699	9923578.98	769276.155	3192.582	T
700	9923580.16	769274.168	3193.135	R
701	9923580.76	769273.231	3192.719	T
702	9923581.22	769272.311	3192.563	T
703	9923594.16	769283.885	3193.705	R
704	9923593.55	769284.732	3193.271	T
705	9923594.69	769282.889	3193.688	R
706	9923595.2	769281.94	3193.267	T
707	9923595.8	769281.012	3193.166	T
708	9923608.93	769292.801	3194.242	R
709	9923608.27	769293.684	3193.724	T
710	9923609.43	769291.753	3194.242	R
711	9923609.92	769290.834	3193.857	T
712	9923610.33	769289.953	3193.706	T
713	9923621.49	769300.36	3194.696	R
714	9923620.87	769301.49	3194.206	T
715	9923622.12	769299.407	3194.707	R
716	9923622.7	769298.407	3194.407	T
717	9923623.13	769297.605	3194.316	T
718	9923633.92	769307.767	3195.172	R
719	9923633.31	769308.663	3194.716	T
720	9923632.81	769309.455	3194.642	T

721	9923634.51	769306.819	3195.162	R
722	9923635	769305.852	3194.775	T
723	9923635.45	769305.279	3194.598	T
724	9923649.6	769317.26	3195.755	R
725	9923650.15	769316.243	3195.724	R
726	9923648.94	769318.19	3195.303	T
727	9923648.57	769318.716	3195.042	T
728	9923650.71	769315.337	3195.383	T
729	9923651.02	769314.643	3195.186	T
730	9923664.34	769326.099	3196.238	R
731	9923663.8	769327.136	3195.905	T
732	9923663.57	769327.725	3195.689	T
733	9923664.82	769325.054	3196.224	R
734	9923665.3	769324.082	3195.915	T
735	9923665.65	769323.201	3195.945	T
736	9923679.89	769335.449	3196.744	R
737	9923679.36	769336.367	3196.376	T
738	9923680.53	769334.508	3196.728	R
739	9923681	769333.276	3196.308	T
740	9923681.36	769332.629	3196.296	T
741	9923693.34	769343.552	3197.212	R
742	9923692.79	769344.365	3196.86	T
743	9923693.86	769342.627	3197.159	R
744	9923694.49	769341.549	3196.856	T
745	9923694.81	769340.858	3196.8	T
746	9923707.72	769352.255	3197.663	R
747	9923707.12	769352.996	3197.25	T
748	9923708.11	769351.162	3197.648	R
749	9923708.65	769350.013	3197.213	T
750	9923709.04	769349.294	3197.075	T
751	9923721.5	769360.548	3198.072	R
752	9923720.88	769361.137	3197.754	T
753	9923722.55	769359.881	3198.073	R
754	9923722.53	769358.613	3197.709	T
755	9923723.04	769357.348	3197.676	T
756	9923734.68	769368.485	3198.411	R
757	9923735.17	769367.495	3198.365	R
758	9923734.19	769369.221	3198.001	T
759	9923735.71	769366.712	3197.996	T
760	9923736.16	769365.935	3198.458	T
761	9923747.31	769376.135	3198.741	R
762	9923746.85	769376.817	3198.402	T
763	9923747.93	769375.16	3198.716	R
764	9923748.39	769374.37	3198.23	T
765	9923762.46	769385.262	3199.15	R
766	9923761.84	769386.062	3198.97	T
767	9923763.3	769384.507	3199.132	R
768	9923763.62	769383.657	3198.879	T
769	9923776.13	769393.466	3199.542	R
770	9923775.57	769394.348	3199.459	T

771	9923776.72	769392.445	3199.5	R
772	9923777.1	769391.553	3199.304	T
773	9923788.07	769400.656	3199.869	R
774	9923787.63	769401.437	3199.814	T
775	9923788.58	769399.628	3199.848	R
776	9923788.96	769398.719	3199.776	T
777	9923799.62	769407.567	3200.202	R
778	9923799	769408.667	3200.157	T
779	9923800.2	769406.676	3200.153	R
780	9923800.65	769405.786	3200.036	T
781	9923813.42	769415.854	3200.607	R
782	9923812.85	769416.691	3200.492	T
783	9923813.87	769414.853	3200.576	R
784	9923814.19	769414.195	3200.324	T
785	9923825.76	769423.366	3200.999	R
786	9923825.35	769424.026	3200.89	T
787	9923826.41	769422.348	3200.944	R
788	9923826.82	769421.568	3200.809	T
789	9922748.41	768363.787	3152	P1
790	9923826.57	769422.505	3201	P2

Nota. Se muestra las coordenadas del levantamiento topográfico de la línea ferroviaria de 1.7 Km. Elaborado por: Los autores.

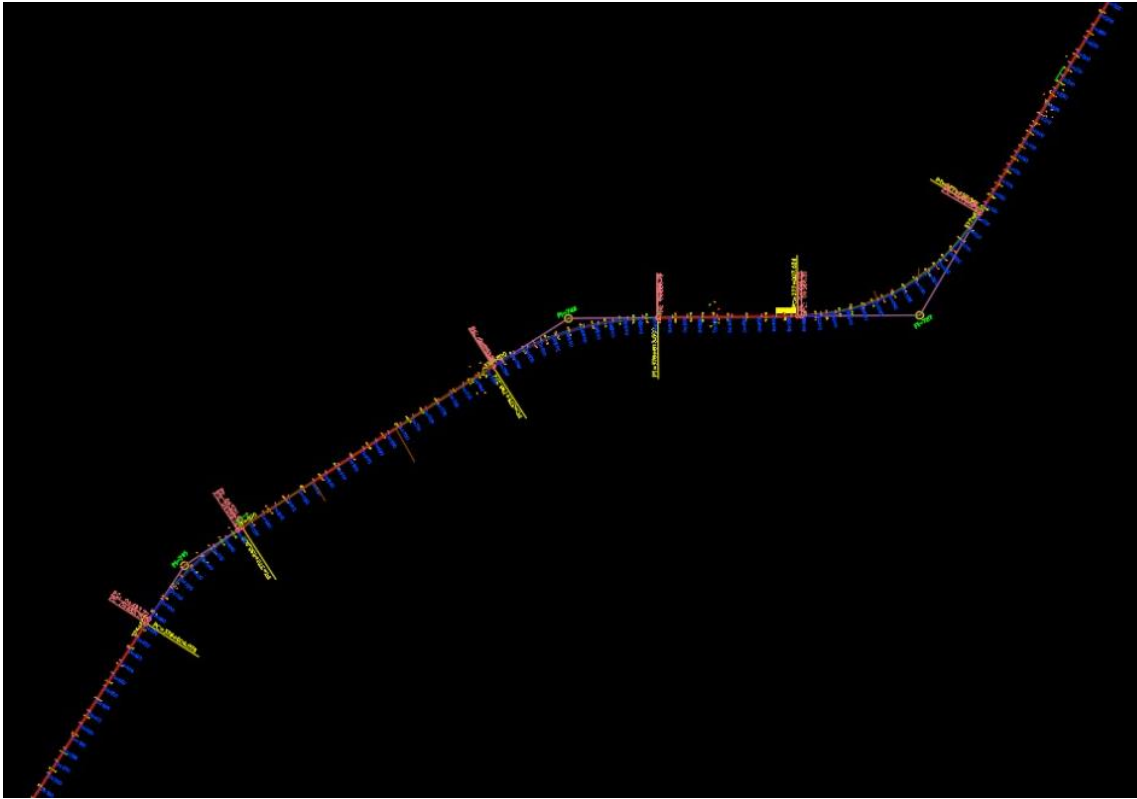
La toma de puntos mediante al levantamiento topográfico será procesada mediante el programa Civil 3D basado en el Rail, para la elaboración de alineamientos, radios de curvatura, tangente entre curvas y perfil longitudinal como se detalla en la Fig. 12.

Al concluir el levantamiento topográfico a detalle se procede a descargar toda la información almacenada en el equipo. Para transportarlos al programa Civil 3D, lo cual se representará todo el trabajo realizado en campo para realizar el dibujo basándonos en su relieve topográfico y desarrollar los alineamientos.

El plano topográfico a detalle está compuesto de todos los detalles existen ferroviarios que lo comprenden, también con una memoria de calculo que especifica distancia de trocha, distancia de transición y grados de curvatura datos que servirán para sustentar los parámetros de diseño geométrico.

## Figura 11

*Levantamiento topográfico.*



*Nota.* Se indica los puntos tomando en el levantamiento topográfico de la línea ferroviaria de 1.7 Km. Elaborado por: Los autores

### 4.3 Alineamiento horizontal

Ejecuta la proyección del eje del camino sobre un plano horizontal, integrando la proyección de sus tangentes, curvas y transición entre las curvas. Para ello se debe contar con la topografía y sus relieves, todo esto conlleva al cumplimiento de las normativas de diseño.

El diseño geométrico es parte del trazado que conforman las tangentes, de acuerdo con la intersección de dos rectas denominado PI, y en la prolongación de tangentes la formación del ángulo de deflexión. La longitud máxima entre tangentes dependerá del

radio de curvatura predispuesto en la normativa “AREMA”, logrando detallar en el estudio curvas circulares, que garantizan el sustento requerido.

La comparación del diseño constrictivo detallado por los estudiantes para obtención de su título de grado, concuerdan con el diseño existente que se realizó para la construcción de la red vial creadas por la Empresa Ferrocarriles del Ecuador Empresa Pública.

De acuerdo de los parámetros capítulo 5 Track de curvas espirales determina lo siguiente para el diseño ferrovía. Según a la AREMA (1999):

La longitud deseable de la espiral para las vías principales donde la alineación se está reconstruyendo por completo o donde el costo de la realineación de la vía existente no será excesivo debe ser tal que cuando se operen automóviles de pasajeros con una tendencia de balanceo promedio, la tasa de cambio de la aceleración lateral es equilibrada que actúa sobre un pasajero no excederá de 0,03gramo por segundo. Asimismo, la longitud deseable en este caso necesaria para limitar los posibles desgarros y esfuerzos de torsión producidos debe ser tal que la pendiente longitudinal del carril exterior con respecto al carril interior no supere 1/744, que se basa en un automóvil de 85 pies de largo.

Las fórmulas recomendadas para obtener los resultados anteriores en la ecuación 4:

$$L = 1,63 * Eu * V \quad (4)$$

*Dónde:*

L(min) = longitud deseable de la espiral en pies.

Eu = elevación desequilibrada en pulgadas.

V = velocidad máxima del tren en millas por hora.

Si la espiral se va a diseñar para equipos de pasajeros en los que el balanceo de la carrocería del automóvil con respecto a la vía está controlado por diseños especiales, la



longitud de la espiral para este ángulo de balanceo específico puede determinarse mediante el método y la fórmula proporcionados en las páginas 94, 516. y 517, vol. 65, procedimientos AREMA dado en la ecuación 5. (5)

$$L = 62 E_a$$

*Dónde:*

L(min) = longitud deseable de la espiral en pies.

E<sub>a</sub> = elevación real en pulgadas.

Al usar las fórmulas anteriores para determinar la longitud de las espirales que unen tangentes y curvas y que unen curvas de diferentes radios, se debe usar la longitud máxima de espiral producida por las dos fórmulas.

d. Se reconoce que, en el caso de realineación de vías existentes, ecualizador 1 puede producir una longitud de espiral cuya construcción resultaría en costos excesivos. Por lo tanto, en tales casos se considera que la longitud debe ser tal que, con la tendencia de balanceo promedio de los automóviles de pasajeros operados en la vía, la tasa de cambio de la aceleración lateral desequilibrada que actúa sobre un pasajero no exceda los 0,04 g por segundo, (p,753). En este caso la pendiente máxima debe ser retenido.

La fórmula recomendada para este caso en lugar de la ecuación 6:

$$L = 1,22 E_u * V \quad (6)$$

*Dónde:*

L(min) = longitud deseable de la espiral en pies

E<sub>u</sub> = elevación desequilibrada en pulgadas

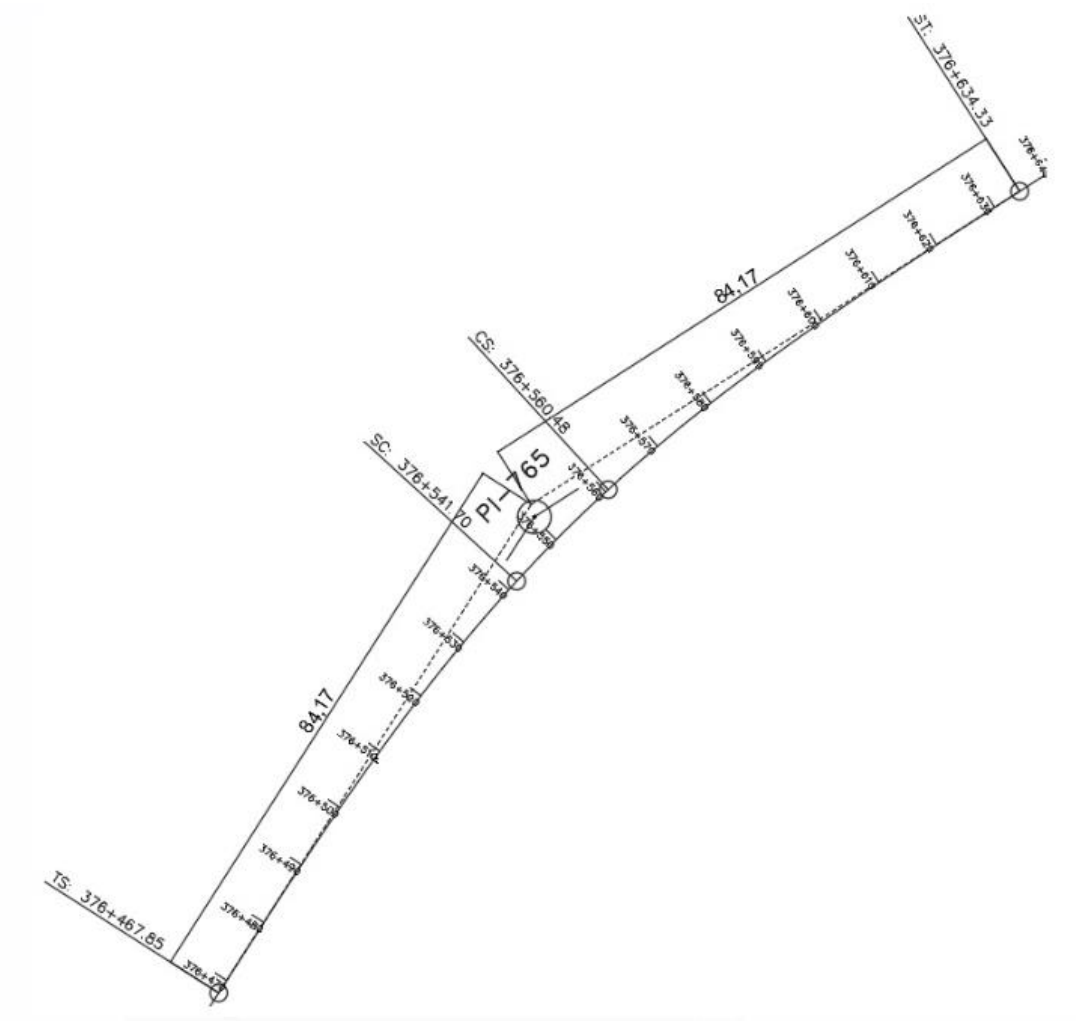
V = velocidad máxima del tren en millas por hora

Al usar las ecuaciones para determinar la longitud de las espirales que unen tangentes y curvas y que unen curvas de diferentes radios, se debe utilizar la longitud máxima de la espiral producida por las dos fórmulas. (p.753)

### 4.3.1. Tangentes mínimas

Figura 12

Representación de las curvas Espirales.



Nota. Se muestra las tangentes de la curvatura espiral. Elaborado por: Los autores

En las curvas espiral no se determina longitud de tangentes mínimas porque depende del grado de curvatura, lo que se especifica en la Tabla 7. La relación fundamental de que el grado de la espiral en cualquier punto aumenta en relación constante con las longitudes a lo largo de la espiral en estaciones.

**Tabla 6**

Análisis del peralte curva 1.

CURVA 1 DERECHA								
	ABS	RIEL DERC	RIELIZQ	PERALTE CALCULADO	RADIO	GRADO DE CURVATURA	VELOCIDAD DE DISEÑO	PERALTE NORMA
	msnm	COTA msnm	COTA msnm	h (cm)	m	°	Km/h	h (cm)
TS	376+467.850	3161.22	3161.22	0				
	376+484.570	3161.66	3161.65	1				
	376+499.210	3162.10	3162.12	2				
	376+512.520	3162.51	3162.55	4				
	376+525.510	3162.88	3162.92	4				
SC	<b>376+535.490</b>	3163.17	3163.24	7				
	376+552.170	3163.71	3163.78	7				
CS	<b>376+561.620</b>	3164.05	3164.11	6	214.47	5°20'34.91"	40	6.15
	376+570.220	3164.38	3164.42	4				
	376+578.640	3164.68	3164.73	5				
	376+597.960	3165.08	3165.11	3				
	376+595.100	3165.37	3165.4	3				
	376+602.140	3165.67	3165.67	0				
	376+615.650	3166.2	3166.2	0				
ST	376+628.630	3166.70	3166.70	0				

*Nota.* Se muestra los peraltes de la curva espiral mediante la diferencia de cotas y el peralte calculado según la Norma AREMA. Elaborado

por: Los autores

El grado de curvatura, y su valor debe seleccionarse de modo que la espiral alcance el grado de curvatura de la curva circular en una longitud no menor. Los parámetros de las curvas espirales de acuerdo con sus caracteres se la pueden identificar mediante la siguiente simbología:

*Dónde:*

**TS:** Punto de paso de la tangente a la espiral.

**SC:** Punto de paso de la espiral a la circular.

**CS:** Punto de paso de la curva circular a la espiral

**ST:** Punto de paso a la espiral de la tangente.

**PI:** Punto de intercesión de las tangentes.

Para curvas que tenga un grado de curvatura menor a 6° no existe tangentes intermedias, en cuanto a curvar mayores a 6° y menores que 13° los valores de las tangentes recomendadas se expresen en la Tabla 7.

**Tabla 7**

*Curvas inversas y longitud de tangentes.*

<b>Grado de curvas inversas</b>	<b>Longitud de tangente recomendada</b>
Menos 6°	0 pies
6° - 7°	10 pies
7° - 8°	20 pies
8° - 9°	25 pies
9° - 10°	30 pies
10° - 11°	40 pies
11° - 12°	50 pies
12° - 13°	60 pies

*Nota.* En la tabla se detalla los grados de curvatura de espiral. Elaborado por:

AREMA

#### **4.3.1.1. Determinación de la longitud de la espiral**

Para la determinación de la longitud de la espiral se empleará la siguiente ecuación.

$$L = 1.22 * EU * V \quad (7)$$

$$L = 1.22 * 2.42 \text{ plg} * 25 \text{ MPH}$$

$$L = 73.85 \text{ m}$$

*Dónde:*

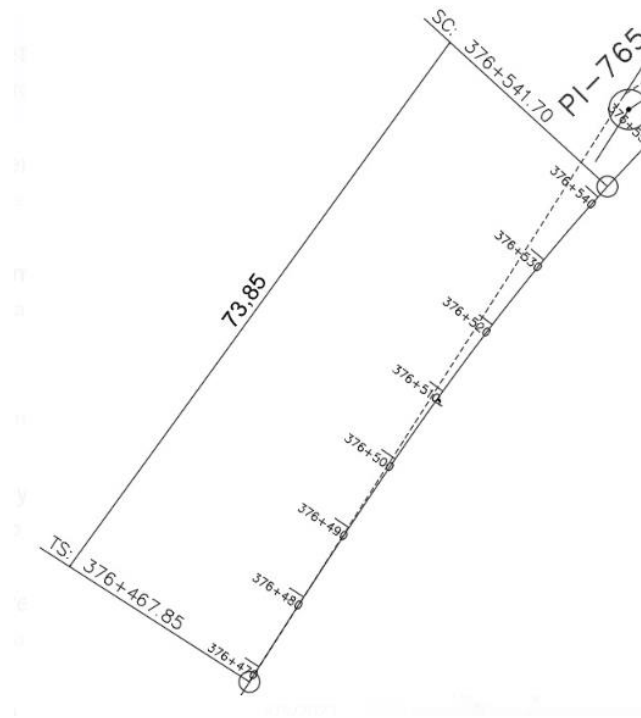
L(min) = longitud deseable de la espiral en pies

Eu = elevación desequilibrada en pulgadas

V = velocidad máxima del tren en millas por hora

### Figura 13

*Longitud de la curva espiral.*



*Nota.* Se presenta el acotado de la curva espiral. Elaborado por: Autores

#### 4.3.1.2. Cálculos Grado de curvatura

Para la determinación del grado de curvatura se empleará la siguiente ecuación.

$$G_c = \frac{1145.92}{R} \quad (8)$$

$$G_c = \frac{1145.92}{214.47 \text{ m}}$$

$$G_c = 5^{\circ}20'34.91''$$

El grado de curvatura se determina en función del de radio de curva permitiendo su valor máximo recorrer con seguridad. Por lo tanto, es importante considera un radio de curvatura máximo y mínimo para que el diseño vial sea garantizado y evitar accidentes de descarrilamiento. En peralte de la línea ferrovía se determina en base en Tabla 2 obtenidas de la normativa “AREMA” de elevaciones de velocidades.

En este caso se utilizó el método de interpolación para encontrar el valor exacto del peralte que especifica la normativa, ayudando a identificar los análisis respectivos de las curvas.

5 °0	2.25
5.20 °	x
5.30 °	2.5

$$x = \frac{x - 2.25}{5.20 - 5.0} = \frac{2.50 - 2.25}{5.30 - 5.0}$$

$$x = \frac{(5.20 - 5.0)(2.50 - 2.25)}{(5.30 - 5.0)} + 2.25$$

$$x = 2.4167 \text{ pulg}$$

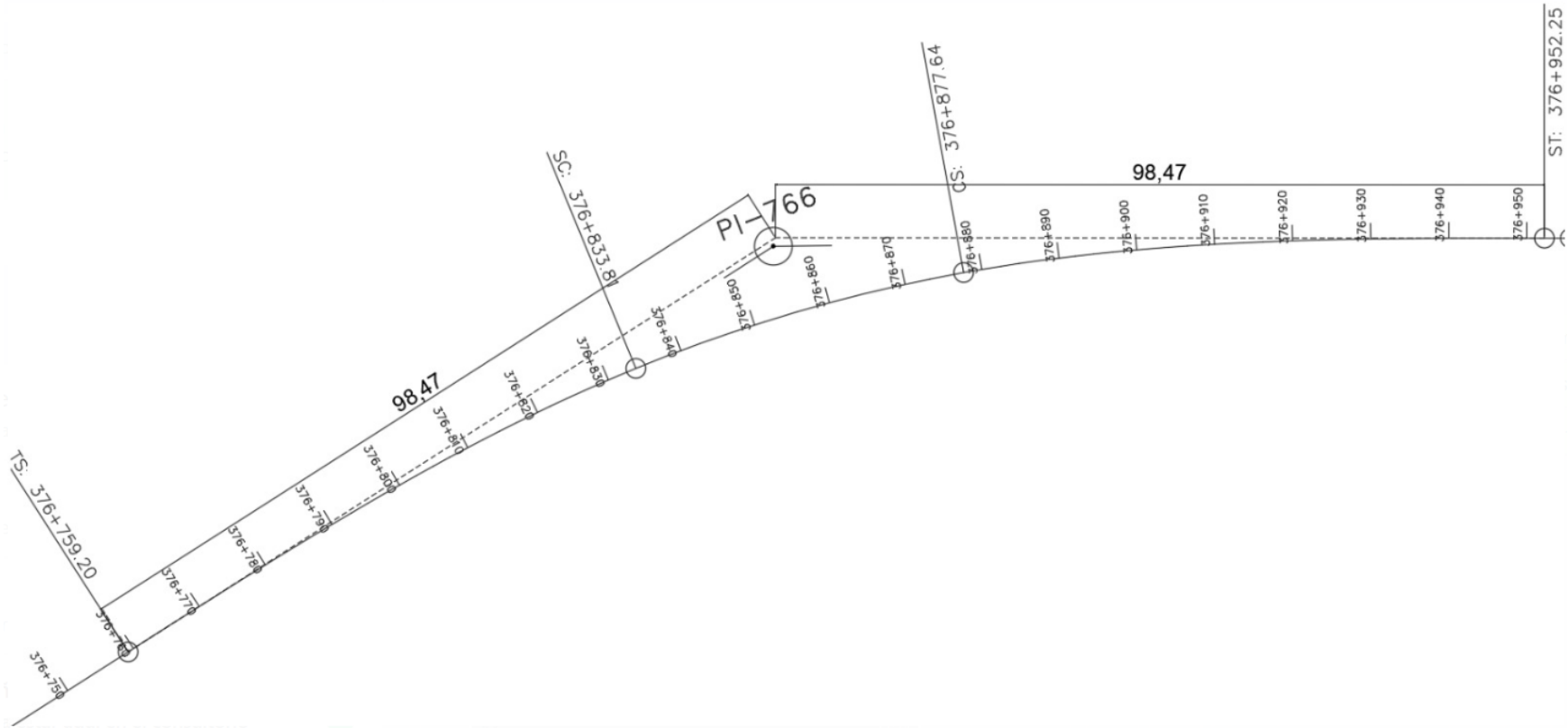
$$x = 2.4167 * 2.54 \text{ cm}$$

$$x = 6.15 \text{ cm}$$

El peralte calculado se lo detalla entre la diferencia de cotas del carril derecho e izquierdo llegando a encontrar que el riel izquierdo es más alto con un valor obtenido de 6.15 cm, lo que nos indica que la curva gira hacia la derecha.

**Figura 14**

*Representación de las curvas espiral.*



*Nota.* Se muestra las tangentes de la curva espiral. Elaborado por: Los autores

**Tabla 8**

*Análisis de peralte curva 2.*

CURVA 2 DERECHA								
	ABS	RIEL DERC	RIELIZQ	PERALTE CALCULADO	RADIO	GRADO DE CURVATURA	VELOCIDAD DE DISEÑO	PERALTE NORMA
		COTA msnm	COTA msnm	h (cm)	m	°	Km/h	h (cm)
TS	376+759.200	3171.73	3171.73	0				
	376+765.480	3172.38	3172.37	1				
	376+777.570	3173.02	3173.05	3				
	376+789.000	3173.42	3173.48	6				
	376+796.330	3173.73	3173.80	7				
	376+804.240	3174.04	3174.12	8				
	376+811.170	3174.32	3174.39	7				
	376+819.970	3174.66	3174.71	5				
	376+828.460	3174.97	3175.03	6				
SC	<b>376+833.810</b>	3175.28	3175.32	4				
	376+844.430	3175.60	3175.66	6				
	376+852.610	3175.92	3175.97	5	207.71	5°31'0.92"	40	6.38
	376+860.910	3176.20	3176.27	7				
	376+868.840	3176.50	3176.56	6				
CS	<b>376+877.640</b>	3176.82	3176.87	5				
	376+886.680	3177.17	3177.23	6				
	376+895.620	3177.54	3177.58	4				
	376+903.840	3177.89	3177.92	3				
	376+912.180	3178.24	3178.24	0				
	376+922.470	3178.65	3178.67	2				
	376+932.290	3179.07	3179.05	2				
	376+939.730	3179.39	3179.36	3				
ST	<b>376+952.250</b>	3179.78	3179.76	2				

*Nota.* Se muestra los peraltes de la curva espiral mediante la diferencia de cotas. Elaborado por: Los autores



### 4.3.1.3. Determinación de la longitud de la espiral

Para la determinación de la longitud de la espiral se empleará la siguiente ecuación.

$$L = 1.22 * EU * V \quad (9)$$

$$L = 1.22 * 2.42 \text{ plg} * 25 \text{ MPH}$$

$$L = 76.61 \text{ m}$$

*Dónde:*

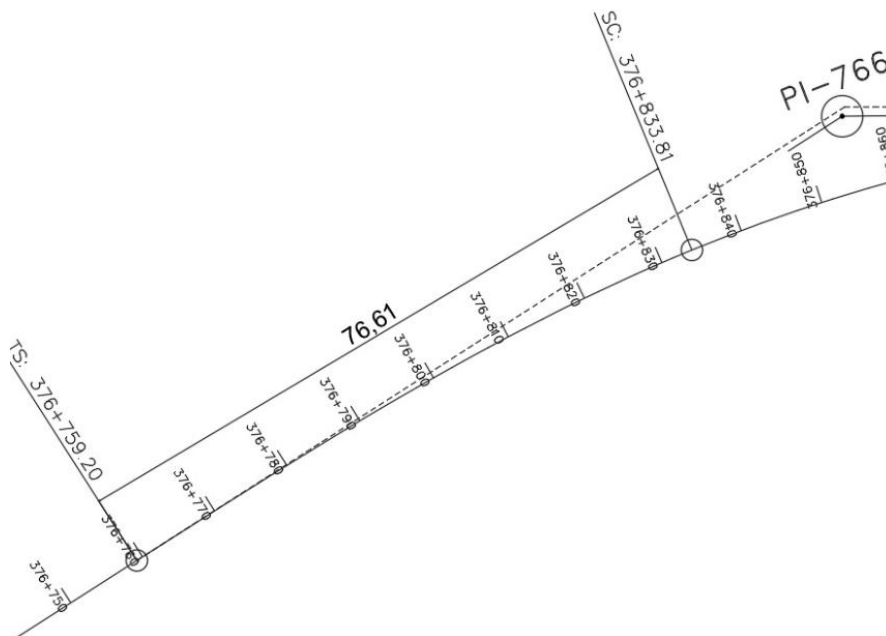
L(min) = longitud deseable de la espiral en pies

Eu = elevación desequilibrada en pulgadas

V = velocidad máxima del tren en millas por hora

### Figura 15

*Longitud de la espiral.*



*Nota.* Se presenta el acotado de la curva espiral. Elaborado por: Autores

### 4.3.1.4. Cálculos Grado de curvatura

Para la determinación del grado de curvatura se empleará la siguiente ecuación.

$$G_c = \frac{1145.92}{R} \quad (10)$$

$$G_c = \frac{1145.92}{207.71 \text{ m}}$$

$$G_c = 5^{\circ}31'0.92''$$

En este caso se utilizó el método de interpolación para encontrar el valor exacto del peralte que especifica la normativa, ayudando a identificar los análisis respectivos de las curvas.

5.30°	2.50
5.31°	x
6.00°	2.75

$$x = \frac{x - 2.50}{5.31 - 6} = \frac{2.75 - 2.50}{6 - 5.30}$$

$$x = \frac{(5.31 - 5.30)(2.75 - 2.50)}{(6 - 5.30)} + 2.50$$

$$x = 2.5035 \text{ pulg}$$

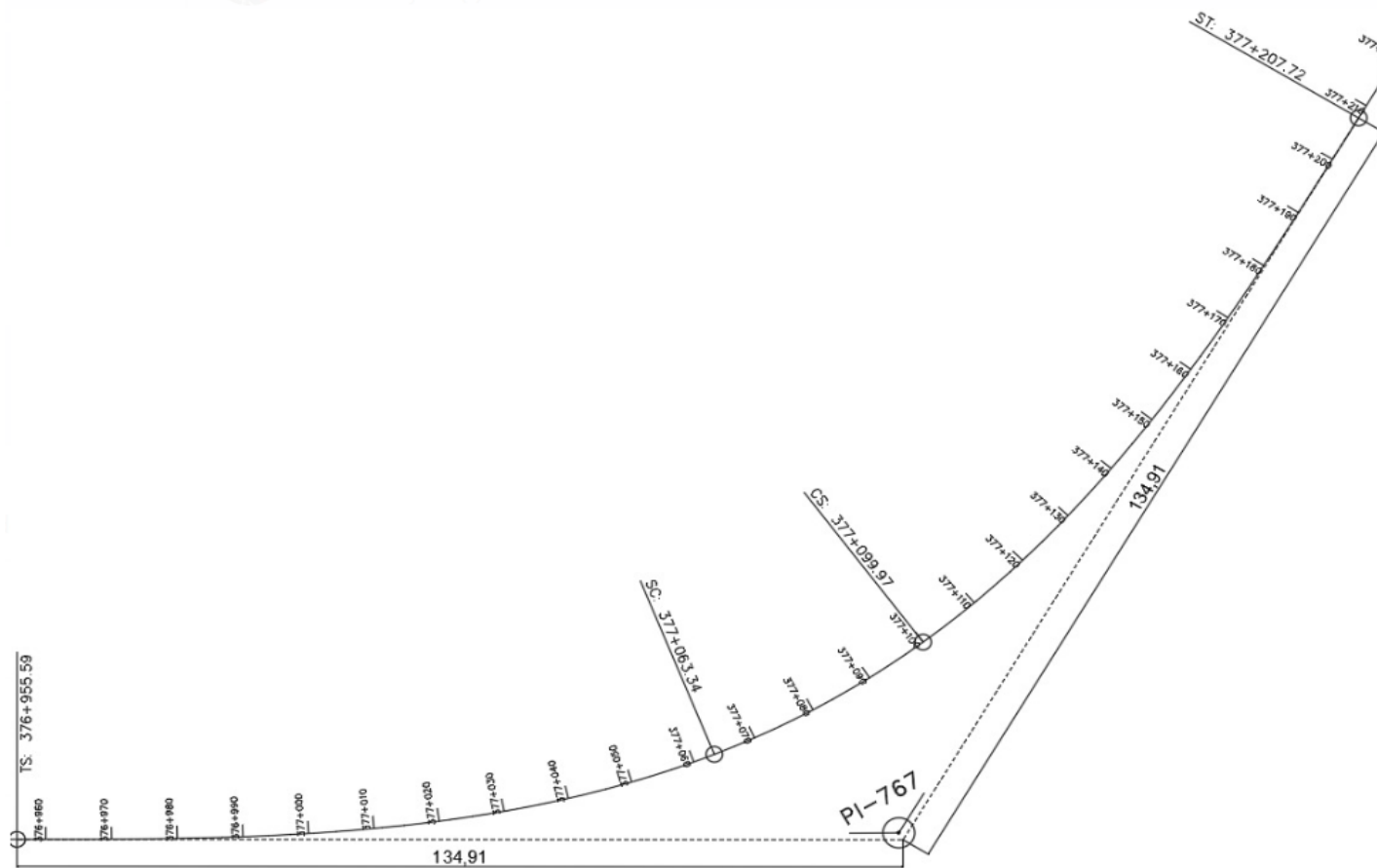
$$x = 2.5035 * 2.54 \text{ cm}$$

$$x = 6.38 \text{ cm}$$

El peralte calculado se lo detalla entre la diferencia de cotas del carril derecho e izquierdo llegando a encontrar que el riel izquierdo es más alto con un valor obtenido de 6.38 cm, lo que nos indica que la curva gira hacia la derecha.

**Figura 16**

*Representación de las curvas circulares.*



*Nota.* Se muestra las tangentes. Elaborado por: Los autores

**Tabla 9**

*Análisis del peralte curva 3.*

CURVA 3 IZQUIERDA									
	ABS	RIEL DERC	RIELIZQ	PERALTE CALCULADO	RADIO	GRADO DE CURVATURA	VELOCIDAD DE DISEÑO	PERALTE NORMA	
		COTA msnm	COTA msnm	h (cm)	m	°	Km/h	h (cm)	
TS	376+955.590	3179.78	3179.76	2	140	8°11'6.51"	40	9.14	
	376+960.520	3180.11	3180.06	5					
	376+973.030	3180.65	3180.58	7					
	376+985.960	3181.22	3181.14	8					
	376+998.780	3181.76	3181.65	11					
	377+011.940	3182.35	3182.21	14					
	377+019.590	3182.64	3182.48	16					
	377+026.820	3182.91	3182.80	11					
	377+035.380	3183.21	3183.13	8					
	377+043.770	3183.52	3183.42	10					
	377+051.040	3183.75	3183.66	9					
	377+058.010	3184.01	3183.92	9					
	SC	<b>377+063.340</b>	3184.26	3184.16					10
	377+072.760	3184.55	3184.46	9					
377+079.770	3184.85	3184.74	11						
377+088.810	3185.20	3185.11	9						
CS	<b>377+099.970</b>	3185.60	3185.49	11					
377+103.710	3185.86	3185.77	9						
377+110.700	3186.13	3186.04	9						
377+117.920	3186.43	3186.33	10						
377+125.130	3186.75	3186.63	12						
377+132.700	3187.09	3187.00	9						
377+140.210	3187.45	3187.37	8						
377+146.980	3187.75	3187.68	7						
377+154.630	3188.06	3188.00	6						
377+162.430	3188.37	3188.34	3						
377+171.380	3188.71	3188.69	2						
377+179.590	3189.01	3189.01	0						
ST	377+207.720	3189.32	3189.3	2					

*Nota.* Se muestra los peraltes de la curva espiral mediante la diferencia de cotas. Elaborado por: Los autores

#### 4.3.1.5. Determinación de la longitud de la espiral

Para la determinación de la longitud de la espiral se empleará la siguiente ecuación.

$$L = 1.22 * EU * V \quad (11)$$

$$L = 1.22 * 3.5984 \text{ plg} * 25 \text{ MPH}$$

$$L = 109.752 \text{ m}$$

Dónde:

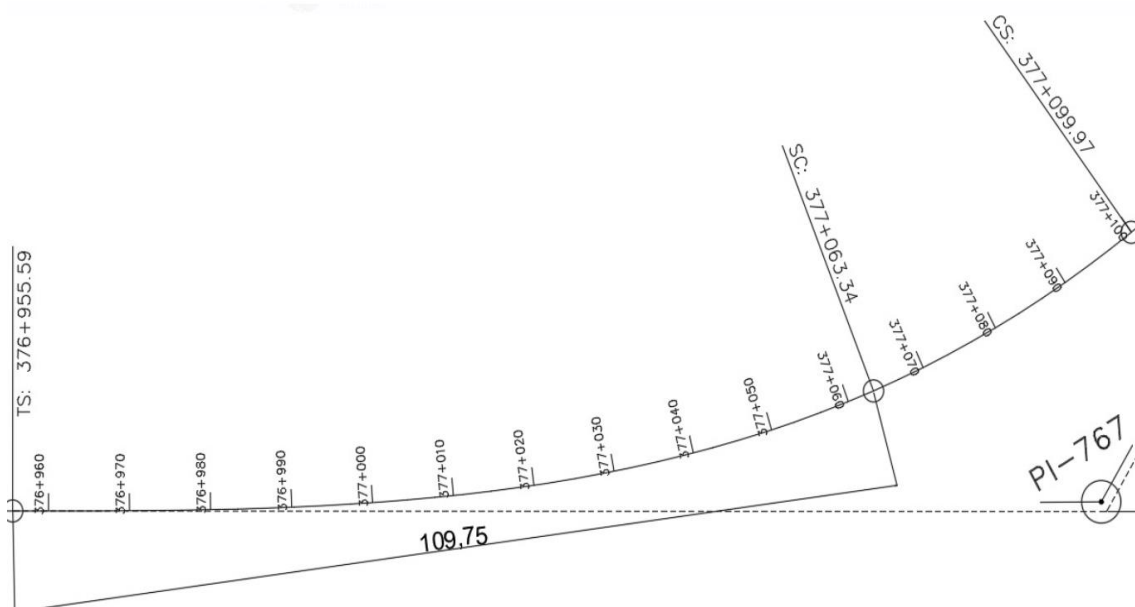
L(min) = longitud deseable de la espiral en pies

Eu = elevación desequilibrada en pulgadas

V = velocidad máxima del tren en millas por hora

**Figura 17**

*Longitud de la espiral.*



*Nota.* Se presenta el acotado de la curva espiral. Elaborado por: Autores

#### 4.3.1.6. Cálculos Grado de curvatura

Para la determinación del grado de curvatura se empleará la siguiente ecuación.

$$G_c = \frac{1145.92}{R} \quad (12)$$

$$G_c = \frac{1145.92}{140 \text{ m}}$$

$$G_c = 8^{\circ}11'6.51''$$

En este caso se utilizó el método de interpolación para encontrar el valor exacto del peralte que especifica la normativa, ayudando a identificar los análisis respectivos de las curvas.

8.0°	3.50
8.11°	x
9.0°	4

$$x = \frac{x - 3.50}{8.11 - 8} = \frac{4 - 3.50}{9 - 8}$$

$$x = \frac{(8.11 - 8)(4 - 3.50)}{(9 - 8)} + 3.50$$

$$x = 3.555 \text{ pulg}$$

$$x = 3.555 * 2.54 \text{ cm}$$

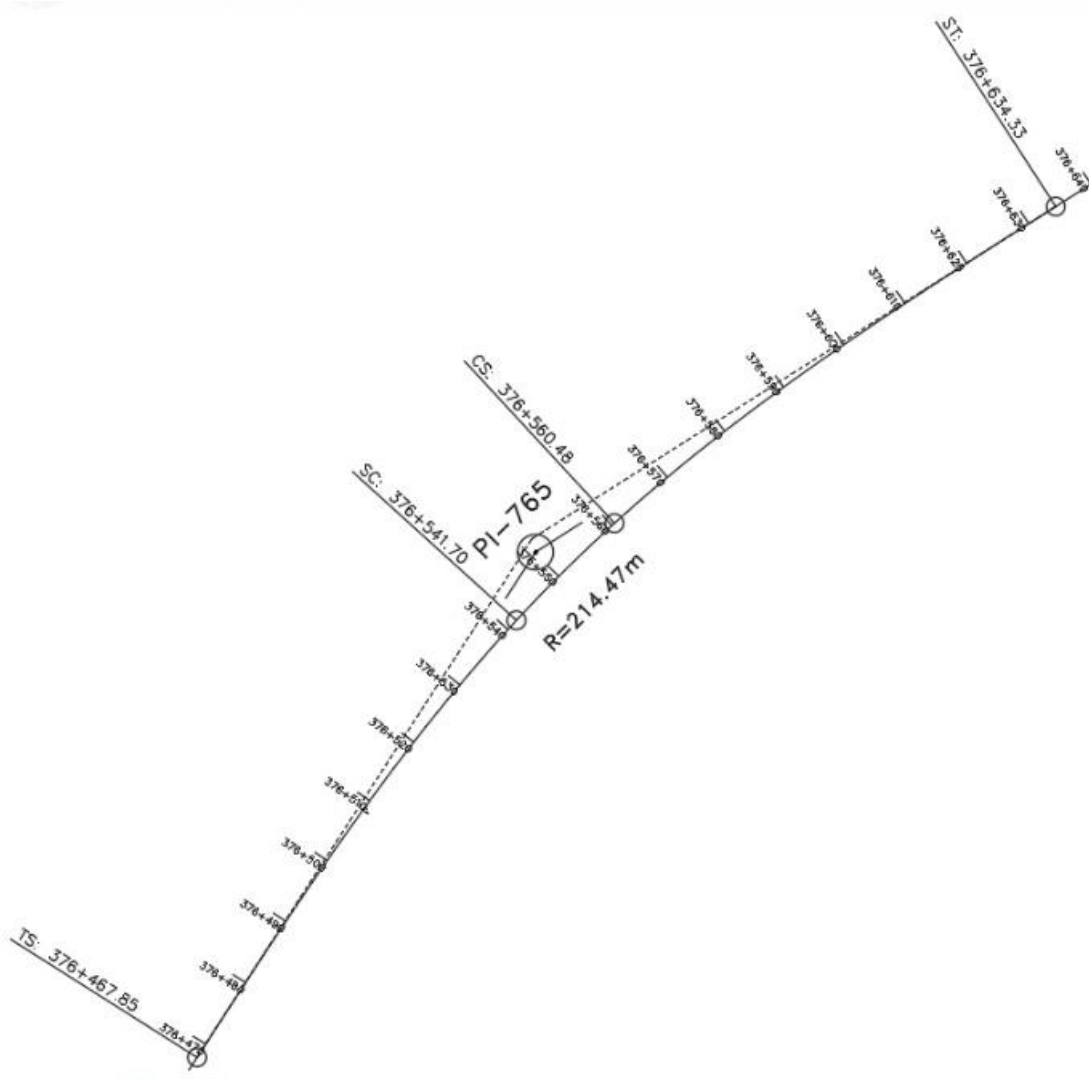
$$x = 9.14 \text{ cm}$$

El peralte calculado se lo detalla entre la diferencia de cotas del carril derecho e izquierdo llegando a encontrar que el riel izquierdo es más alto con un valor obtenido de 9.14 cm, lo que nos indica que la curva gira hacia la Izquierda.

### 4.3.2. Radios mínimos

Figura 18

Radio mínimo de curvatura curva 1.

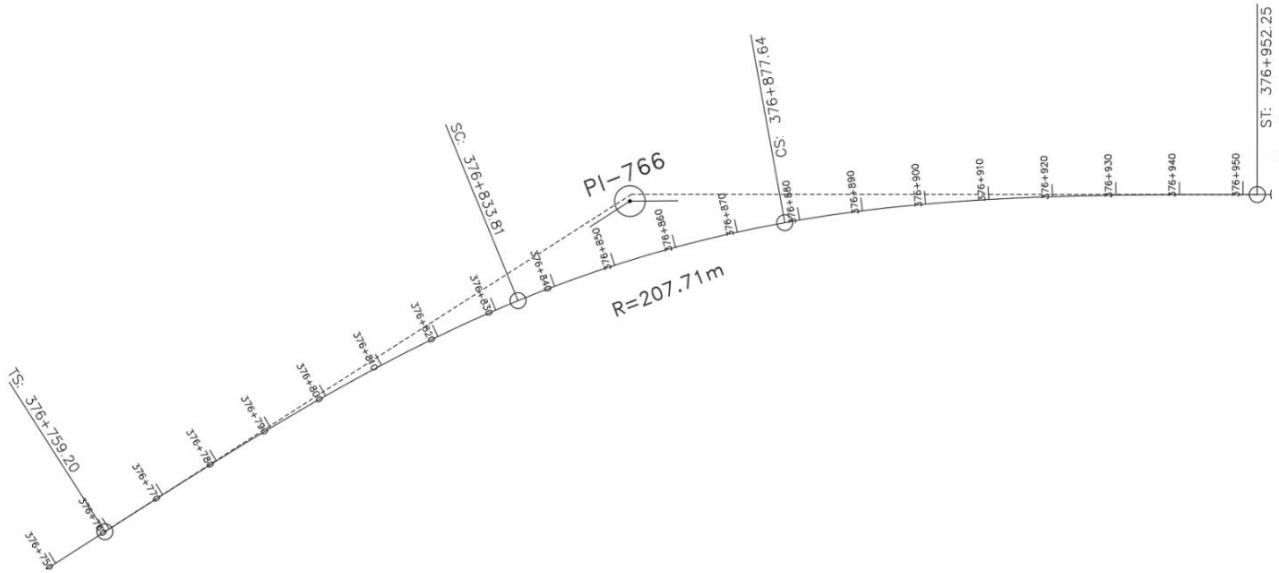


*Nota.* En la presente imagen se detalla el radio de curvatura. Elaborado por:  
Autores

Las condiciones de seguridad deben mantenerse a lo largo de la sección basándonos en las especificaciones técnicas de la Norma. En el presente diseño ferroviario se consideró una velocidad de 40 km/h, con la finalidad de hacer un análisis comparativo a lo especificado en la Norma “AREMA” al trabajo realizado en campo para ello se pretende estudiar una sección de la línea ferroviaria de 1.7 km.

**Figura 19**

*Radio mínimo de curvatura curva 2.*



*Nota.* En la presente imagen se detalla el radio de curvatura. Elaborado por:

Autores

Identificando sobreechamientos, peralte, radios mínimos donde las longitudes de las distancias dependerán de las dimensiones de los vagones. Para esto se realiza un trazado de acuerdo con el proyecto existencial en donde se considera un radio mínimo de curvatura. Según lo establecido por la norma “AREMA” el radio mínimo de curvatura es de 60 m, para terrenos montañosos con una velocidad de diseño de 25 Mph o 40 Km/h.

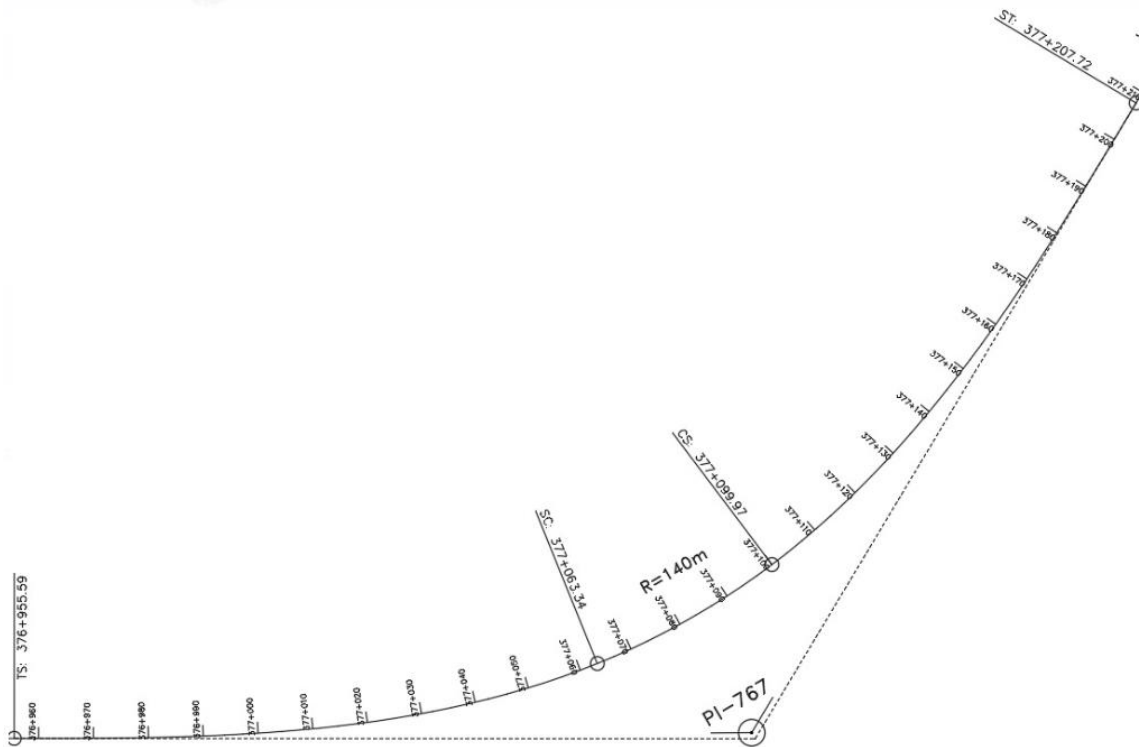
Según el análisis de diseño ferroviario para este tramo se detalla que se puede realizar curvas espirales ya que en la mayoría son circulares. Por lo tanto, las curvas espirales son diseñadas para evitar cambios bruscos a consecuencia del cambio de curvatura durante su trayectoria, siendo factible los diferentes grados de curvatura en una curva compuesta.

Tomando en consideración una de las ventajas en la implementación de las curvas espirales es que su trayectoria es más fácil circular. La fuerza centrífuga pasa a un valor de cero al comenzar la curva espiral, resulta mucho más fácil conservar la velocidad.



**Figura 20**

*Radio mínimo de curvatura curva 3.*



*Nota.* En la presente imagen se detalla el radio de curvatura. Elaborado por:  
Autores

Según el Manual de Normatividad Ferrera Parte 1, nos recalca las siguientes especificaciones técnicas basadas en la normativa “AREMA” sobre los radios mínimos de curvaturas para líneas ferroviarias:

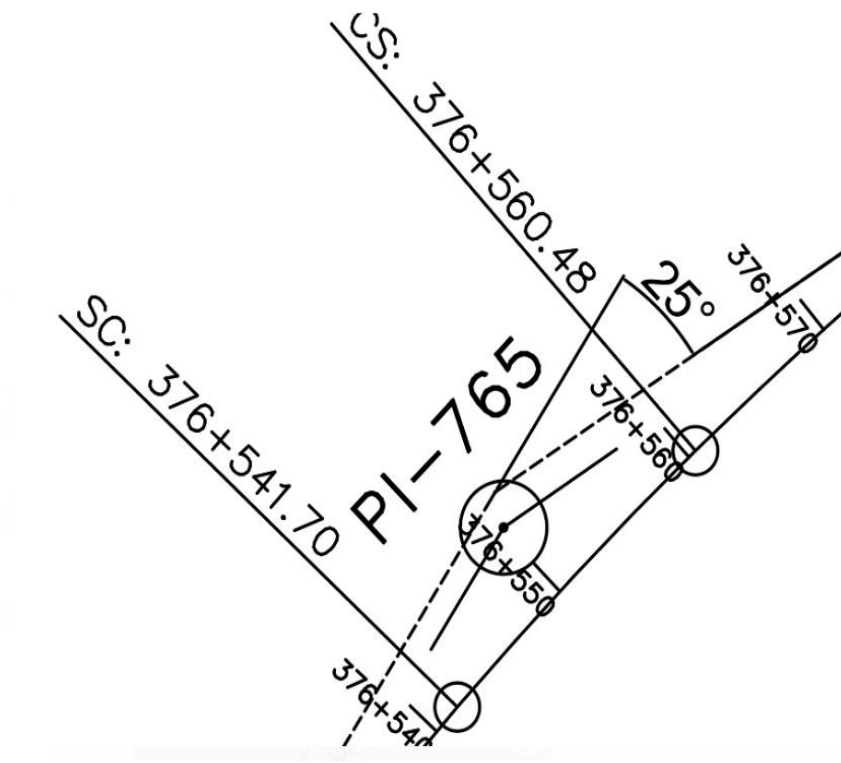
El radio de curva y la pendiente de la vía principal son determinantes para asegurar el rendimiento de alta capacidad y velocidad del transporte ferroviario, teniendo en cuenta el esfuerzo de tracción y la velocidad máxima de diseño. El radio de curvatura será fijado para no perjudicar la explotación segura, teniendo en cuenta

la capacidad de rendimiento del tren en curvas, la velocidad de la operación, y otros factores, (p, 6). Mientras más corto es el radio de curvatura el tren tendría que disminuir su velocidad debido a que existe una curva más cerrada siendo propensa al descarrilamiento por lo que su fuerza centrífuga no se contra resta.

### 4.3.3. Ángulos de deflexión

**Figura 21**

*Angulo de deflexión curva 1.*



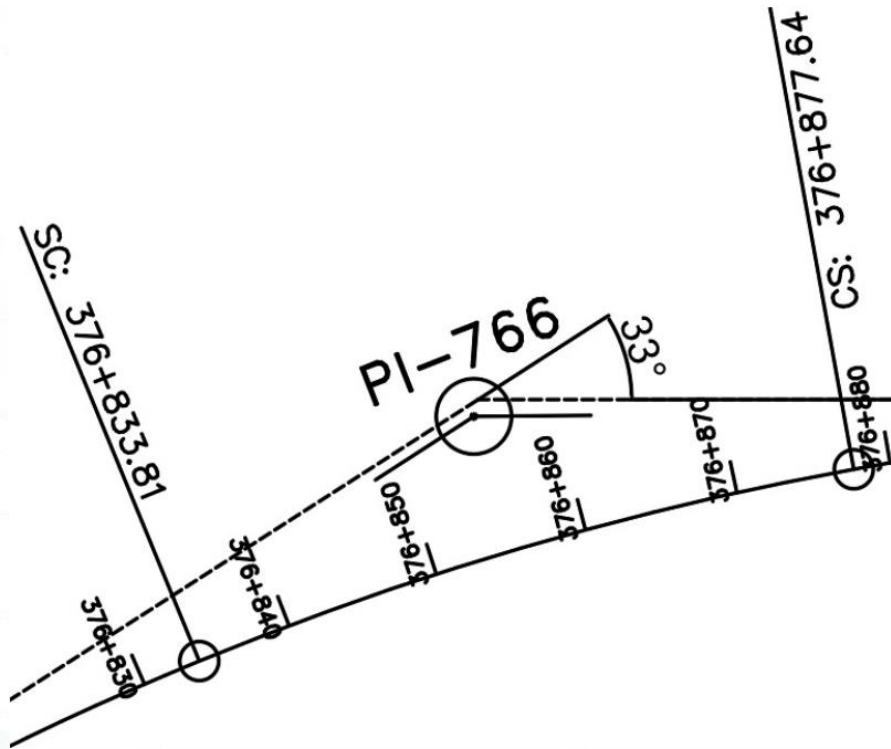
*Nota.* En la presente imagen se detalla la deflexión de la curva espiral. Elaborado por: Autores

La intersección de las tangentes que forman el ángulo de deflexión corresponde a cada velocidad independiente del radio mínimo, cuando este ángulo de deflexión es muy pequeño se debe asumir valores de radio mayores que cumplan con el requerimiento y satisfacer la longitud tangente siendo el caso de una curva circular mientras que en las curvas espirales, se considera el grado de curvatura que existe.

Los ángulos de deflexión son los que nos indica el sentido del avance en todo tipo de vía, esto dependerá de la topografía y de los accidentes geográficos que existente durante todo el tramo de la vía ferroviaria.

**Figura 22**

*Angulo de deflexión curva 2.*



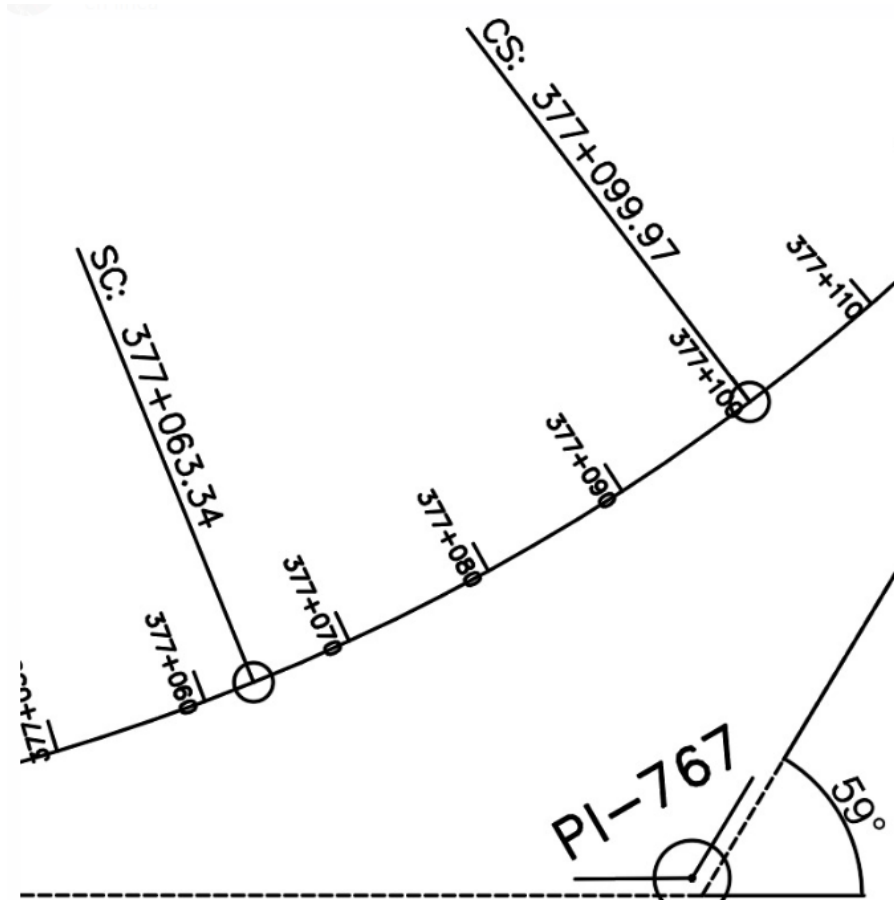
*Nota.* En la presente imagen se detalla la deflexión de la curva espiral. Elaborado por: Autores

Por lo tanto, los ángulos de deflexión deben ser menos a 180°, por lo que se debe especificar su sentido de giro derecho e izquierdo. Los ángulos de deflexión obtenidos en el diseño realizado durante todo el tramo se conforman de tres ángulos diferentes dándonos unas direcciones en sentido de avance, hacia el lado derecho dos de estos y uno hacia la izquierda.

Este sitio de análisis se puede observar unas curvas de radios que están dentro de los rangos permitidos, con lo cual los ángulos de deflexión son intermedios. Lo que conlleva a determinar que el diseño ferrovía es óptimo en base a la normativa.

**Figura 23**

*Angulo de deflexión curva 3.*



*Nota.* En la presente imagen se detalla la deflexión de la curva espiral. Elaborado por: Autores

#### **4.3.4. Distancia de visibilidad**

La distancia de visibilidad en trenes dependerá mucho del relieve del terreno por otra parte interfiere la velocidad de circulación, el tipo de carga a la que este expuesto el

tren. Las distancias dependerán de la altura de visibilidad del operador, sobre la superficie del camino la posición visual dentro de la camina del conductor.

Se considerará varias alternativas que ayudaran a realizar un frenado antes de llegar a una parada del tren. “Para seguridad en vías férreas, el proyectista debería proveer distancia de visibilidad de longitud suficiente como para que los operadores puedan controlar la operación del ferrocarril para evitar chocar con un objeto inesperado en la calzada” (Delpino, 2012, p. 1). El operador debe tener un tiempo de reacción para realizar el frenado en el cual reconocerá si existen obstáculos sobre la línea ferroviaria.

Las condiciones de frenado de trenes de gran capacidad de cargas detallan las distancias de frenado según la velocidad de circulación. Según Lendínez (1963):

Se analiza la normativa ferroviaria de aplicación, tanto a nivel nacional como, sobre todo, de interoperabilidad, determinándose los requisitos y prestaciones de frenado objetivo. Se define un caso de estudio, en base al cual se analizará la dinámica longitudinal, a partir del material rodante de Renfe Mercancías. Este caso consiste sendas composiciones de 750 y 1500 metros longitudinales, formados por un tándem de dos locomotoras de la serie 253 y un número determinado de vagones plataforma portacontenedores. En el caso de estudio se establece las diferentes hipótesis y cálculos empleados. (p. 7)

Por lo que los operadores deben tener un campo amplio para poder observar hacia el frente y poder realizar una maniobra adecuada ante cualquier situación.

#### **4.3.5. Sobreancho de la vía**

El sobreancho es la medida de separación entre sus caras internas inclinadas entre sus tangentes intermedias es una medida constante no variando a lo largo de su trayectoria, esta medida empieza a incrementar luego del punto (TS punto de paso de la

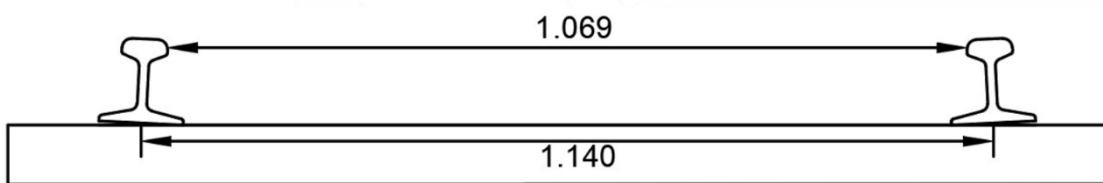
tangente a la espiral). Los rieles tienden a tener una inclinación hacia el centro de la vía de 1/20 de pendiente así evitando el descarrilamiento.

Las medidas obtenidas de los sobreaños en campo se las realizó con la ayuda de un flexómetro a intervalos de 5 m, dándonos una longitud de 1.14 m, de sobreaño entre los ejes de los rieles a lo largo de las tangentes intermedias. Las curvas espirales se encontró unas medidas que incrementa el sobreaño durante toda la curva espiral, y notando un incremento del sobreaño mayor en el centro de la curva circular como se muestra en las Tabla 10, 11, 12.

El análisis del sobreaño detallado según la Normativa “AREMA” especifica de debe ser de 1.067 cm, de sobreaño de los rieles a comparación con las medidas determinas en campo se detalla un sobreaño de 1.14 cm como se muestra en la Figura 25. Por ende, se detalla en las Tablas 10, 11, 12 las distancias de eje a eje, en cuento al sobre ancho en curva se resta 0.062 cm, siendo dicha medida de las dos cabezas de riel tomando en cuenta la inclinación 1/20 de los rieles.

#### Figura 24

*Sección típica del diseño un riel con durmiente de madera.*



*Nota.* En la presente imagen se detalla las distancias de la sección del sobreaño.

Elaborado por: Autores

El sobreaño calculado se lo determino restando, el sobreaño en curva menos en sobreaño en recta, como se muestras en las Tablas 10, 11, 12. Cumpliendo con las especificaciones técnicas de la Norma “AREMA” la cual no ser mayor a 25 mm del

sobreancho máximo con sientto dato fundamenta en la cual se puede evitar el descarrilamiento del tren.

Los sobreanchos de acuerdo con los parámetros técnicos se determinan. “El valor máximo del sobreancho será de 25 mm para trocha estándar y de 19 mm para trocha angosta, y la disminución del sobreancho se dará gradualmente por la curva de transición” (AREMA, 1999). Según el análisis realizado podemos afirmar que los valores del sobreancho de la línea ferrovía que se ubica en sector del Chasqui están dentro de los rangos establecidos según la normativa.

**Tabla 10**

*Sobreanchos del carril ferroviaria curva 1.*

	<b>ABS</b>	<b>RIEL DERC</b>	<b>RIELIZQ</b>	<b>RADIO DE CURVA</b>	<b>DISTANCIA DE EJE A EJE</b>	<b>SOBREANCHO EN CURVA</b>	<b>SOBREANCHO RECTA</b>	<b>SOBREANCHO CALCULADO</b>
	<b>msnm</b>	<b>COTA msnm</b>	<b>COTA msnm</b>	<b>m</b>	<b>m</b>	<b>m</b>	<b>m</b>	<b>mm</b>
<b>TS</b>	376+467.850	3161.22	3161.22		1.140	1.078	1.069	9
	376+484.570	3161.66	3161.65		1.141	1.079	1.069	10
	376+499.210	3162.10	3162.12		1.140	1.078	1.069	9
	376+512.520	3162.51	3162.55		1.140	1.078	1.069	9
	376+525.510	3162.88	3162.92		1.144	1.082	1.069	13
<b>SC</b>	<b>376+535.490</b>	3163.17	3163.24		1.148	1.086	1.069	17
	376+552.170	3163.71	3163.78		1.147	1.085	1.069	16
<b>CS</b>	<b>376+561.620</b>	3164.05	3164.11	214.47	1.145	1.083	1.069	14
	376+570.220	3164.38	3164.42		1.140	1.078	1.069	9
	376+578.640	3164.68	3164.73		1.136	1.074	1.069	5
	376+597.960	3165.08	3165.11		1.134	1.072	1.069	3
	376+595.100	3165.37	3165.4		1.140	1.078	1.069	9
	376+602.140	3165.67	3165.67		1.138	1.076	1.069	7
	376+615.650	3166.2	3166.2		1.140	1.078	1.069	9
<b>ST</b>	376+628.630	3166.70	3166.70		1.140	1.078	1.069	9

*Nota.* En la presente tabla se detalla los sobreanchos comparados en campo y de acuerdo con la Norma. Elaborado por: Autores



**Tabla 11**

*Sobreanchos del carril ferroviario curva 2.*

	<b>ABS</b>	<b>RIEL DERC</b>	<b>RIELIZQ</b>	<b>RADIO DE CURVA</b>	<b>DISTANCIA DE EJE A EJE</b>	<b>SOBREANCHO EN CURVA</b>	<b>SOBREANCHO RECTA</b>	<b>SOBREANCHO CALCULADO</b>
	<b>msnm</b>	<b>COTA msnm</b>	<b>COTA msnm</b>	<b>m</b>	<b>m</b>	<b>m</b>	<b>m</b>	<b>mm</b>
<b>TS</b>	376+759.200	3171.73	3171.73		1.140	1.078	1.069	9
	376+765.480	3172.38	3172.37		1.140	1.078	1.069	9
	376+777.570	3173.02	3173.05		1.139	1.077	1.069	8
	376+789.000	3173.42	3173.48		1.141	1.079	1.069	10
	376+796.330	3173.73	3173.80		1.140	1.078	1.069	9
	376+804.240	3174.04	3174.12		1.137	1.075	1.069	6
	376+811.170	3174.32	3174.39		1.142	1.08	1.069	11
	376+819.970	3174.66	3174.71		1.140	1.078	1.069	9
	376+828.460	3174.97	3175.03		1.140	1.078	1.069	9
	<b>376+833.810</b>	3175.28	3175.32		1.142	1.08	1.069	11
<b>SC</b>	376+844.430	3175.60	3175.66		1.144	1.082	1.069	13
	376+852.610	3175.92	3175.97		1.146	1.084	1.069	15
	376+860.910	3176.20	3176.27	207.71	1.146	1.084	1.069	15
	376+868.840	3176.50	3176.56		1.144	1.082	1.069	13
	<b>376+877.640</b>	3176.82	3176.87		1.142	1.08	1.069	11
<b>CS</b>	376+886.680	3177.17	3177.23		1.139	1.077	1.069	8
	376+895.620	3177.54	3177.58		1.140	1.078	1.069	9
	376+903.840	3177.89	3177.92		1.140	1.078	1.069	9

	376+912.180	3178.24	3178.24		1.140	1.078	1.069	9
	376+922.470	3178.65	3178.67		1.139	1.077	1.069	8
	376+932.290	3179.07	3179.05		1.141	1.079	1.069	10
	376+939.730	3179.39	3179.36		1.140	1.078	1.069	9
<b>ST</b>	<b>376+952.250</b>	3179.78	3179.76		1.139	1.077	1.069	8

*Nota.* En la presente tabla se detalla los sobreeanchos comparados en campo y de acuerdo con la Norma. Elaborado por: Autores

**Tabla 12**

*Sobreeanchos de carril ferroviario curva 3.*

	<b>ABS</b>	<b>RIEL DERC</b>	<b>RIELIZQ</b>	<b>RADIO DE CURVA</b>	<b>DISTANCIA DE EJE A EJE</b>	<b>SOBREEANCHO EN CURVA</b>	<b>SOBREEANCHO RECTA</b>	<b>SOBREEANCHO CALCULADO</b>
	<b>msnm</b>	<b>COTA msnm</b>	<b>COTA msnm</b>	<b>m</b>	<b>m</b>	<b>m</b>	<b>m</b>	<b>mm</b>
<b>TS</b>	376+955.590	3179.78	3179.76		1.140	1.078	1.069	9
	376+960.520	3180.11	3180.06		1.141	1.079	1.069	10
	376+973.030	3180.65	3180.58		1.150	1.088	1.069	19
	376+985.960	3181.22	3181.14		1.140	1.078	1.069	9
	376+998.780	3181.76	3181.65		1.149	1.087	1.069	18
	377+011.940	3182.35	3182.21		1.140	1.078	1.069	9
	377+019.590	3182.64	3182.48		1.143	1.081	1.069	12
	377+026.820	3182.91	3182.80		1.144	1.082	1.069	13
	377+035.380	3183.21	3183.13		1.140	1.078	1.069	9
	377+043.770	3183.52	3183.42		1.150	1.088	1.069	19

	377+051.040	3183.75	3183.66		1.146	1.084	1.069	15
	377+058.010	3184.01	3183.92		1.147	1.085	1.069	16
<b>SC</b>	<b>377+063.340</b>	3184.26	3184.16		1.147	1.085	1.069	16
	377+072.760	3184.55	3184.46		1.148	1.086	1.069	17
	377+079.770	3184.85	3184.74	140	1.149	1.087	1.069	18
	377+088.810	3185.20	3185.11		1.147	1.085	1.069	16
<b>CS</b>	<b>377+099.970</b>	3185.60	3185.49		1.146	1.084	1.069	15
	377+103.710	3185.86	3185.77		1.147	1.085	1.069	16
	377+110.700	3186.13	3186.04		1.150	1.088	1.069	19
	377+117.920	3186.43	3186.33		1.140	1.078	1.069	9
	377+125.130	3186.75	3186.63		1.144	1.082	1.069	13
	377+132.700	3187.09	3187.00		1.140	1.078	1.069	9
	377+140.210	3187.45	3187.37		1.140	1.078	1.069	9
	377+146.980	3187.75	3187.68		1.140	1.078	1.069	9
	377+154.630	3188.06	3188.00		1.140	1.078	1.069	9
	377+162.430	3188.37	3188.34		1.140	1.078	1.069	9
	377+171.380	3188.71	3188.69		1.140	1.078	1.069	9
	377+179.590	3189.01	3189.01		1.140	1.078	1.069	9
<b>ST</b>	377+207.720	3189.32	3189.3		1.140	1.078	1.069	9

*Nota.* En la presente tabla se detalla los sobreeanchos comparados en campo y de acuerdo con la Norma. Elaborado por: Autores

#### 4.4 Alineamiento vertical

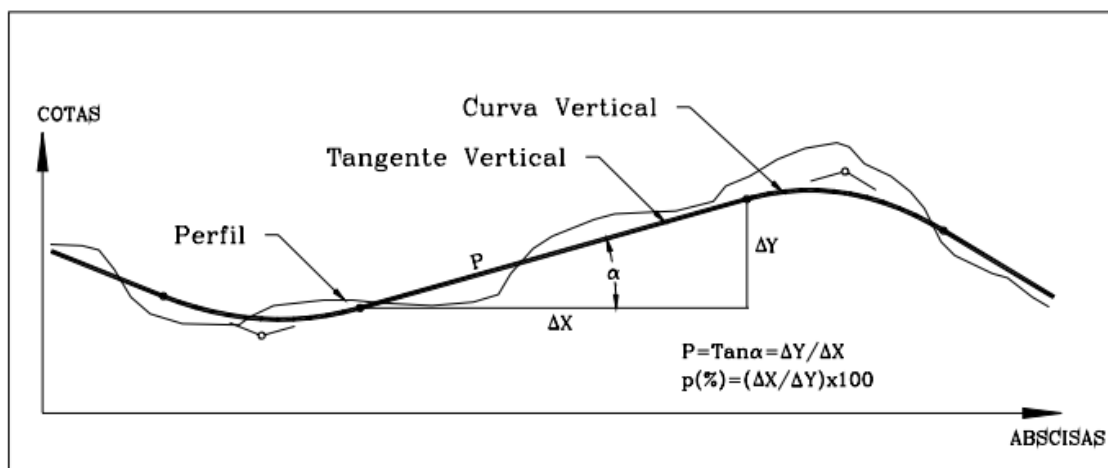
El alineamiento vertical es la es la proyección del eje sobre la superficie vertical donde su longitud real es el eje de la vía en su longitud. El diseño vertical se lo realiza conforme al perfil del terreno, llamado rasante o sub-rasante dependiendo del nivel de diseño del proyecto.

En alineamiento está compuesto por la rasante y perfil donde se identifica los tramos rectos, denominado tangentes seguidas por las curvas, donde todo este elemento se considera una proyección sobre el eje horizontal. El diseño del alineamiento vertical se presenta en escala diez veces menor que las cotas.

Los perfiles del alineamiento vertical representan el eje donde se puede representar un levantamiento topográfico. Para determinar mediante el diseño geométrico las características del perfil del terreno a la que está proyectada.

**Figura 25**

*Elementos del alineamiento vertical.*



*Nota.* Se muestra los elementos de alineamiento vertical. Elaborado por: (Agudelo, 2002)

Las Tangentes tienen su respectiva longitud, “la cual es tomada sobre la proyección horizontal ( $\Delta X$ ) y una pendiente ( $p$ ) definida. Dicha pendiente encuentra entre

un valor mínimo y máximo que depende principalmente del tipo de terreno, el tipo de vía, la velocidad de diseño y la composición vehicular que podría tener la vía” (Agudelo, 2002, p, 400).

#### 4.4.1. Curvas cóncavas

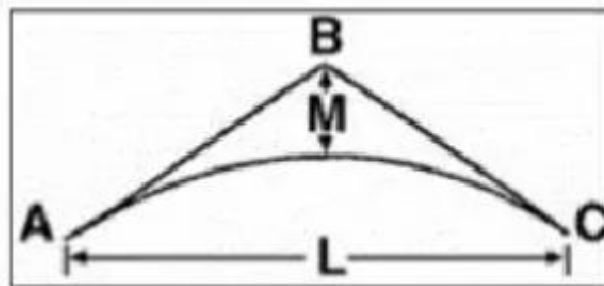
Son denominadas curvas verticales o cóncavas siendo aquellas donde la curva se ubica sobre la pendiente de entrada y salida. Cuando los dos lados de la curva son iguales la curva es denominada simétricas.

Por motivos de seguridad y diseño las curvas cóncavas de ser lo suficientemente largas, obteniendo una mayor visibilidad necesaria para un vehículo. Por lo cual se debe evitar curvas horizontales agudas, bajo las curvas verticales cóncavas pronunciadas.

Según la Normativa (AREMA,1999), para líneas de altas velocidades en curvas cóncavas hacia arriba, la variación de la pendiente cada 100 pies y no ser mayor del 0.5% y en curvas convexas hacia abajo, no debe ser mayor al 1.0%, en otras líneas los valores pueden duplicarse.

**Figura 26**

*Curvas simétricas cóncavas.*



*Nota.* Se muestra los elementos de alineamiento vertical. Elaborado por:  
(Agudelo, 2002)

*Donde:*

L: longitud de la cuerda o arco (m).

La ecuación de la longitud de la cuerda.

$$L = \frac{\text{Diferencia de pendiente de tangentes}}{\text{Variación de la pendiente}} \quad (13)$$

M: externa (m).

La ecuación de la curva cóncava hacia abajo.

$$M = \frac{(2xElevB) - (Elev + ElevB)}{4} \quad (14)$$

La ecuación de la curva cóncava hacia arriba.

$$M = \frac{(ElevA + ElevC) - (2xElevB)}{4} \quad (15)$$

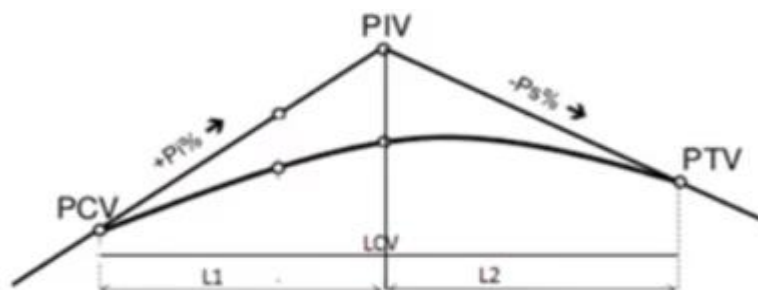
#### 4.4.2. Curvas convexas

Son denominadas curvas verticales o convexas siendo aquellas donde la curva se ubica bajo la pendiente de entrada y salida. Cuando los dos lados de la curva son diferentes la curva es denominada asimétrica.

En curvas verticales la longitud mínima se determina en la distancia de visibilidad considerando lo más pronunciado posible en una parda. “De igual modo, cuando entre pendientes continuas existe una diferencia superior al 2.5%, esta deberá acoplarse por medio de acuerdos verticales ya sean cóncavos o convexas” (Melisa y González, 2008).

**Figura 27**

*Cuevas asimétricas convexas o verticales.*



*Nota.* Se muestra los elementos de alineamiento vertical. Elaborado por:

(Agudelo, 2002)

Para el diseño geométrico ferrovía sean curvas convexas o cóncavas, debe realizar la curva lo más larga posible que ayude con los problemas de visibilidad durante la circulación. Donde la velocidad diseñada se expresa en kilómetros por hora, y las longitudes de las curvas verticales conforman una amplia distancia de visibilidad para nada parada.

#### 4.4.3. Pendientes máximas y mínimas

La pendiente será fijada de manera que el vehículo pueda ser puesto en marcha, operando continuamente a una velocidad determinada y frenar dentro de su distancia de frenado requerida, teniendo en cuenta consideraciones como el rendimiento del dispositivo motriz, dispositivos de frenado y velocidad de operación del vehículo.

**Tabla 13**

*Pendientes máximas y mínimas según los estudios de FEEP.*

Tramo	Longitud Tramo (km)	Longitud Pendiente Max (km)	Pendiente Max (%)
<b>Quito - Latacunga</b>	<b>97.90</b>	<b>7.70</b>	<b>3.50</b>
Latacunga - Ambato	44.00	10.30	1.00
Ambato - Riobamba	74.40	4.00	4.10
Riobamba - Palmira	64.50	5.90	3.98
Alausí - Palmira	23.50	5.50	5.20

*Nota.* Se muestra el texto de color rojo para identificar las pendientes máximas.

Elaborado por: Informe de parámetros técnicos vía férrea (2010).

Los valores de las pendientes de vía se ha determinado mediante la distancia que existe entre provincias por ello es necesario recalcar las existencias de tramos que en las cuales las pendientes pueden alcanzar hasta el 6.50 % datos que son extradidos de FEEP, con los cuales fueron diseñados en el país.

Las pendientes en ferrocarriles de alta velocidad no deben sobrepasar del 4 %, son los trenes que están diseñado para el transporte de pasajero de lo contrario de los trenes

de cargar que circulan a velocidades bajas las pendientes son entre 1.5 %, siendo los requerimientos mínimos que debe cumplir para garantizar la seguridad de los pasajeros y carga de transporte.

La trayectoria que deben recorrer los trenes se debe considerar las pendientes y el número de vagos que serán transitados siendo capaces los trenes de realizar todo su recorrido. Siendo “la pendiente máxima es de 4,5% con curvas de radio mínimo de 60 m Morfológicamente se ubica en el valle interandino y parte en la región montañosa de la Cordillera Occidental, estas secciones montañosas se encuentran entre altitudes de 2600 a 2800 msnm. Existen laderas cóncavas y en su gran parte zonas planas que recorre el valle interandino con pendientes entre el 5% al 7% en el valle interandino.” (Sigetrans, 2018, p. 227).

#### **4.5 Sección típica**

La sección típica es la que indica de que cuantas partes y capas está compuesta una vía férrea como son en nuestro caso, de la subrasante, el balasto, la trocha, los durmientes, los sujetadores del riel con su debida inclinación y los sobreanchos. Aquí se indica si la vía está compuesta de peralte o simplemente no tienen y los dos rieles están a la misma altura, esto nos sirve para determinar si la vía está siendo analizada en las tangentes intermedias o en las curvas ya sea circulares o espirales.

En cuanto a nuestra vía férrea analizada se encontró que está compuesta de una capa de balasto de aproximadamente 30 cm, la subrasante no es claro observas ya que por ser una vía existente se encuentra llena de muchos obstáculos como son basura, maleza y material orgánico. Además, se tiene los durmientes que son la base donde irán sujetos los durmientes mediante la ayuda de un perno porque no exista movimiento de este.

Es así como se analizó los componentes de la vía férrea existente en ese tramo. “Para la construcción de vía única, la medición BDD (profundidad del balasto), se realiza



debajo del Line Rail en la vía tangente, o debajo del carril interior en la vía curva, y se realiza con respecto a la parte superior del subbalasto en la línea central de la vía. En la construcción de vías múltiples tangentes, la medición se realiza debajo de ese riel que está hacia la corona de la Sección de subbalasto. En la construcción de vías múltiples curvas, la medición se realiza debajo del riel hacia el interior de la curva” (AREMA, 2009, p. 94).

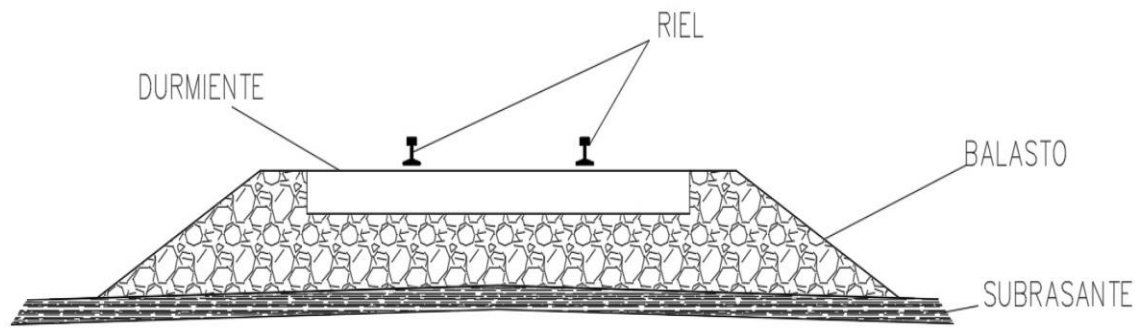
Las secciones típicas de la infraestructura férrea se detalla en el alineamiento horizontal, permitiendo definir las disposiciones de los elementos que la conforman en cada sección. Según el proyecto de prefactibilidad (SIGETRANS, 2018) detalla lo siguiente:

La sección típica de la vía está conformada por la plataforma vial o sub-estructura construida sobre tierra y material de relleno o sub-balasto. La super-estructura de la vía se encuentra conformada por materiales ferroviarios donde los rieles de 70 lb/yarda se encuentran apoyados en los elementos transversales llamados durmientes, asegurados uno al otro por vinchas y placas de asiento como anclaje. Bajo los durmientes se encuentra colocado el material pétreo llamado balastro o balastro (p, 242)

Debe estar compuesta de todos los factores que comprende la super estructura en cual se debe detallar en un plano a escala con dimensiones cronológicas.

**Figura 28**

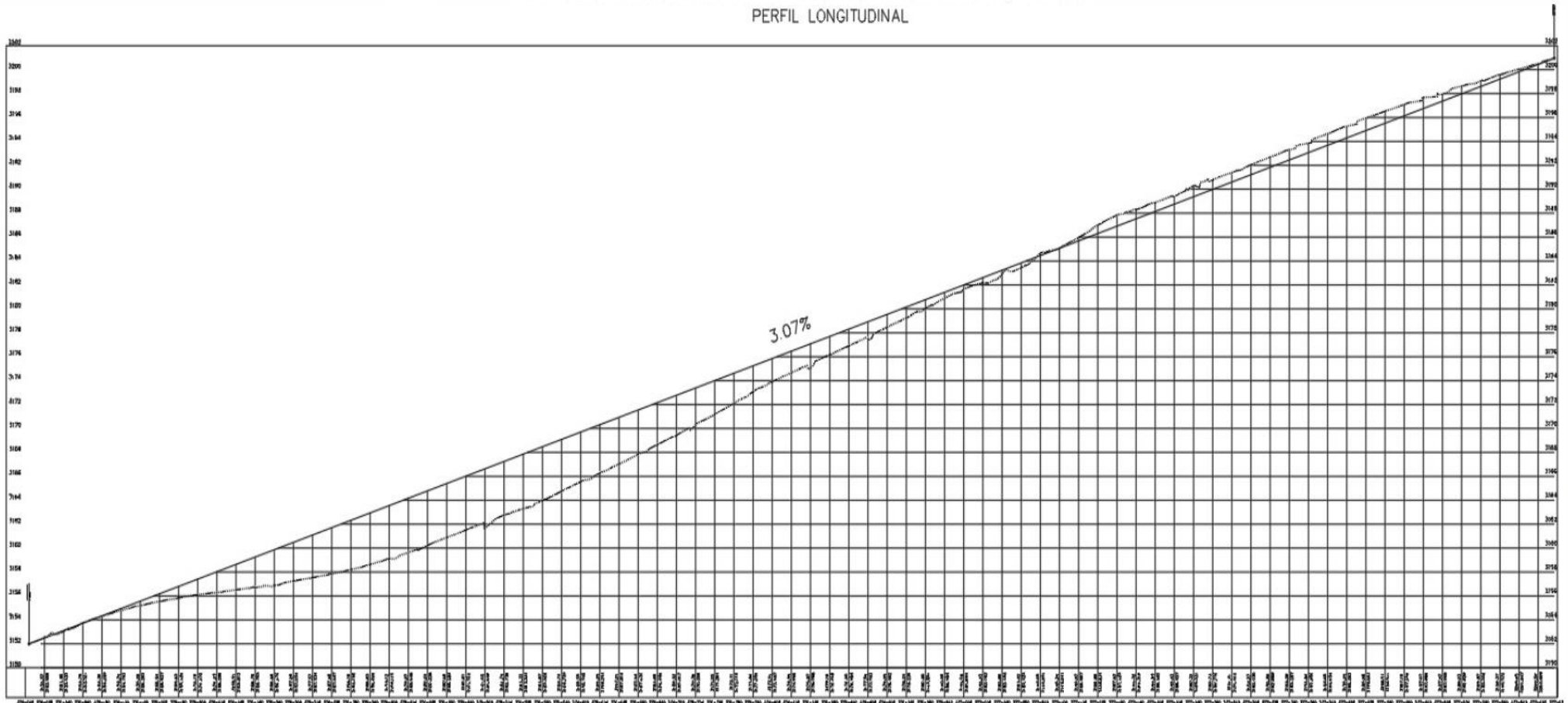
*Sección típica conformada por la plataforma línea férrea.*



*Nota.* Se muestra la sección típica de la infraestructura. Elaborado por: Autores.

**Figura 29**

*Perfil longitudinal del tramo estudiado.*



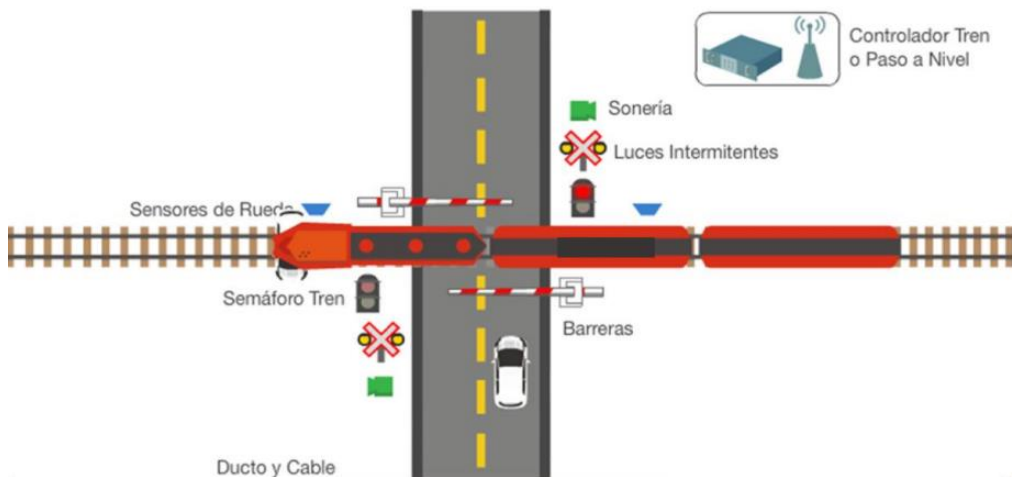
*Nota.* En la presente figura se muestra el perfil longitudinal y la pendiente del terreno. Elaborado por: Autores.

#### 4.6 Señalización ferroviaria

El Ministerio de Transporte y de obras Publicas son las entidades encargadas de implementar señaléticas en las intersecciones o cruces de vías férreas. Las diferentes señales horizontales, verticales, luminosas acústicas, semáforos y barreras de protección. Permitiendo regularizar el tráfico durante el paso del tren. La señalización del tráfico, la separación a desnivel de la carretera y el ferrocarril u otros proyectos aledaños deben mantener una señalética preventiva durante el tiempo de ejecución de la obra.

**Figura 30**

*Paso a Nivel con radares de detención de Tren.*



*Nota.* En la presente imagen se observa las diferentes señalizaciones ante un cruce ferroviario. Fuente: (SEÑALIZACIÓN INTEGRAL DE LAS VIAS FERREAS - MTOP)

La implementación de señalización preventiva permitirá al operario del tren tener un tramo de frenado para poder realizar un cruce de una intercesión, por ende. La señalización ferroviaria básicamente está basada en: “Semáforos que indican al conductor de un determinado punto puede avanzar o no y, en ciertos casos, con que restricciones o

limitaciones. Entonces, un error humano podía ocasionar un choque o alcance, por tanto, una catástrofe” (Gonzales, 2010, p. 97). Por lo tanto, se garantizará una seguridad y el confort de las personas durante los viajes largos y duraderas con el fin de evitar accidentes ante la falta de señalizaciones viales.

En el caso de vía única, o de doble con circulación a la derecha, las señales se instalan en su sentido de marcha o suspendidas sobre la vía. Los indicadores proporcionan a los maquinistas de los trenes referencias considerando la velocidad limitada.

## CAPÍTULO V

### ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS FERROVIARIOS DE LA SUPERESTRUCTURA

#### 5.1 Balasto

El balasto es el material que está tendido sobre la rasante sirviendo como base de soporte para el asentamiento de los durmientes, permitiendo la sujeción fija del riel a nivel para la correcta distribución de las cargas producidas por tren. El material pétreo es una roca ígnea de forma angulosa determinada grava gruesa de un diámetro de 1 pulgada, conformando una estructura rígida.

El ancho de la sección transversal conformada de forma trapezoidal predispuesta de una base mayor con un ancho de vía de 3.70 m, una base menor 2.60 m y una altura de 0.30 m, siendo una medida promedio a lo largo de todo el tramo existen sobresalientes en las curvas y perdiéndose en las rectas debiéndose a su relieve del terreno. Estas medidas fueron determinadas mediante el levantamiento topográfico que sirvió de base para diseño geométrico.

El rendimiento del balasto por metro lineal es de  $0.95 \text{ m}^3$ , en una longitud de 1700 m, de acuerdo con el perfil topográfico dándonos un total de  $1606.5 \text{ m}^3$ , en este tramo de estudio realizo.

##### 5.1.1 Cálculos para la determinación del balasto

- Análisis por un metro lineal.

$$A = \frac{B + b}{2} * h \quad (16)$$

$$A = \frac{3.70 + 2.60}{2} * 0.30$$

$$A = 0.95 \text{ m}^2$$

- Análisis por un  $\text{m}^3$

$$V = 0.95 * l \quad (17)$$

$$V = 0.95 * 1$$

$$V = 0.95 \text{ m}^3$$

- Análisis de la longitud total

$$V = 0.95 * L \quad (18)$$

$$V = 0.95 * 1700$$

$$V = 1606.5 \text{ m}^3$$

*Donde:*

*B: Ancho de vía de la base mayor (m).*

*b: Ancho de vía de la base menor (m).*

*h: Altura del balasto (m).*

*l: longitud de análisis en un metro lineal de balasto ( $\text{m}^3$ ).*

*L: longitud total del tramo (m).*

Este material se encuentra en la actualidad cubierto de maleza el cual a provocando alteraciones de la estructura de la línea férrea, lo cual no permitirá cumplir el desempeño funcional. “El balasto debe cumplir ciertas propiedades fundamentalmente referidas a su composición, tamaño, forma geométrica, resistencia al desgaste. La especificación AREMA presenta valores de resistencia al desgaste dependiendo del tipo de material variando desde un 25 hasta un 40 %” (AREMA, 1999).

La granulometría de los agregados deberá ser continua y graduada de acuerdo con las especificaciones técnicas de la norma, para uso peatonal se recomienda emplear menores dimensiones y para las vías ferroviarias de los trenes con durmientes de

hormigón va desde los 1 ½” a ¾”, lo recomendado por la “AREMA” para el uso del balasto.

### **Figura 31**

*Distribución del balasto en la línea ferroviaria.*



*Nota.* En la presente imagen se observa cómo está distribuido el balasto en toda la línea férrea. Fuente: Los Autores

### **5.2 Durmientes**

Se pudo observar en el tramo de línea ferroviaria la presencia de durmientes de madera como de hormigón reforzado colocados a una cierta distancia, que se encuentran incrustados en el balasto de manera firme. Los durmientes son parte principal de la infraestructura de la línea férrea colocados de manera transversal en todo el tramo de vía brindando estabilidad.



### **5.2.1. Durmientes de madera**

Se pudo visualizar los durmientes de madera en muy mal estado durante todo el tramo del análisis de la línea férrea. Las dimensiones tomadas de los durmientes son: 2.00 m de largo de ancho de 20 cm y un espesor de 18 cm, la distancia entre traviesas se coloca a una distancia de 15 a 30 pulgadas de centro a centro de los durmientes. Por qué se sabe que los durmientes de madera tienen una durabilidad muy baja por estar expuesta a los cambios climáticos, tanto a costos son muy económicos.

Según la normativa "AREMA" Todas las áreas de soporte de rieles deben medir como sigue:

Los travesaños de grado de 7 pulgadas deben tener una sección transversal de 7" x 9" con un máximo de 1 pulgada de disminución en las áreas superiores de soporte de rieles. Un máximo del 20 % de las traviesas en cualquier cantidad determinada se puede aserrar en escuadra de 7" x 8" de sección transversal sin disminución en las áreas de apoyo de los rieles. Un tirante de grado de 6 pulgadas debe tener una sección transversal de 6" x 8" con un máximo de 1 pulgada de desnivel permitido en las áreas de soporte de la baranda superior. Tanto para tirantes de grado de 6 como de 7 pulgadas, se permitirá el desnivel en la cara inferior siempre que no exceda de 1 pulgada en ningún punto dado. (p. 977)

En tanto a dimensiones de los durmientes de madera hay que afirmar que los parámetros de longitud son muchos menores a lo especificado en la norma "AREMA". Esto puede deberse a criterios de diseño de acuerdo con los estándares de calidad teniendo una vida muy corta de durabilidad. Pero, por lo tanto, pasa a ser parte fundamental de estabilidad de la infraestructura férrea.

De acuerdo con estudios realizados con anterioridad se ha recalado trabajos de mantenimiento como son en cambio de durmientes de madera que forman parte de la

super estructura. “De madera de origen nacional (guayacán y más maderas duras), presencia de madera tratada con creosota y madera tratada con sales CCA de manera puntual” (MTO, 2019, p. 63). La rehabilitación de este tramo debe contemplar la reparación que es parte de la superestructura donde los márgenes de seguridad deben ser aceptados para su funcionalidad del tren.

### **Figura 32**

*Durmientes de madera.*



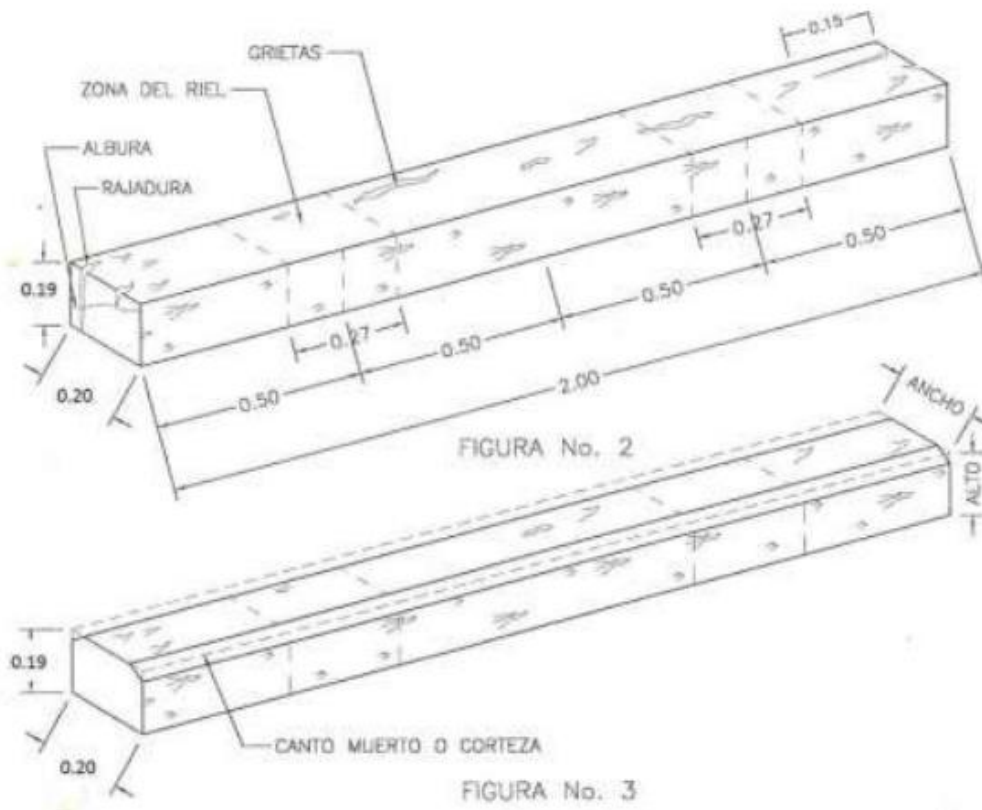
*Nota.* En la presente imagen se observa los durmientes de madera, la línea anaranjada representa la distancia de colocación entre durmientes. Fuente: Los Autores

Los durmientes que son parte fundamental de la infraestructura de la vía férrea pueden ser de madera, de hormigón. “La madera local de buena calidad es cada vez más difícil de conseguir y en algunos casos hasta prohibida por las leyes de nuestro país. Los grupos ambientalistas cada vez más juegan fuerte contra este tipo de deforestación, que, según estadísticas, corta 7 u 8 árboles para conseguir uno con calidad requerida.” (Altamirano, 2016, p. 48). Con el avance de la tecnología se aplicado nuevas fuentes de

material para realizar los durmientes como pueden ser de plásticos o a su vez metálicos, siendo conservadores con el medio ambiente.

### Figura 33

Esquema del durmiente de madera.



*Nota.* En la presente imagen se observa los durmientes de madera. Fuente: Informe parámetros técnicos vía férrea.

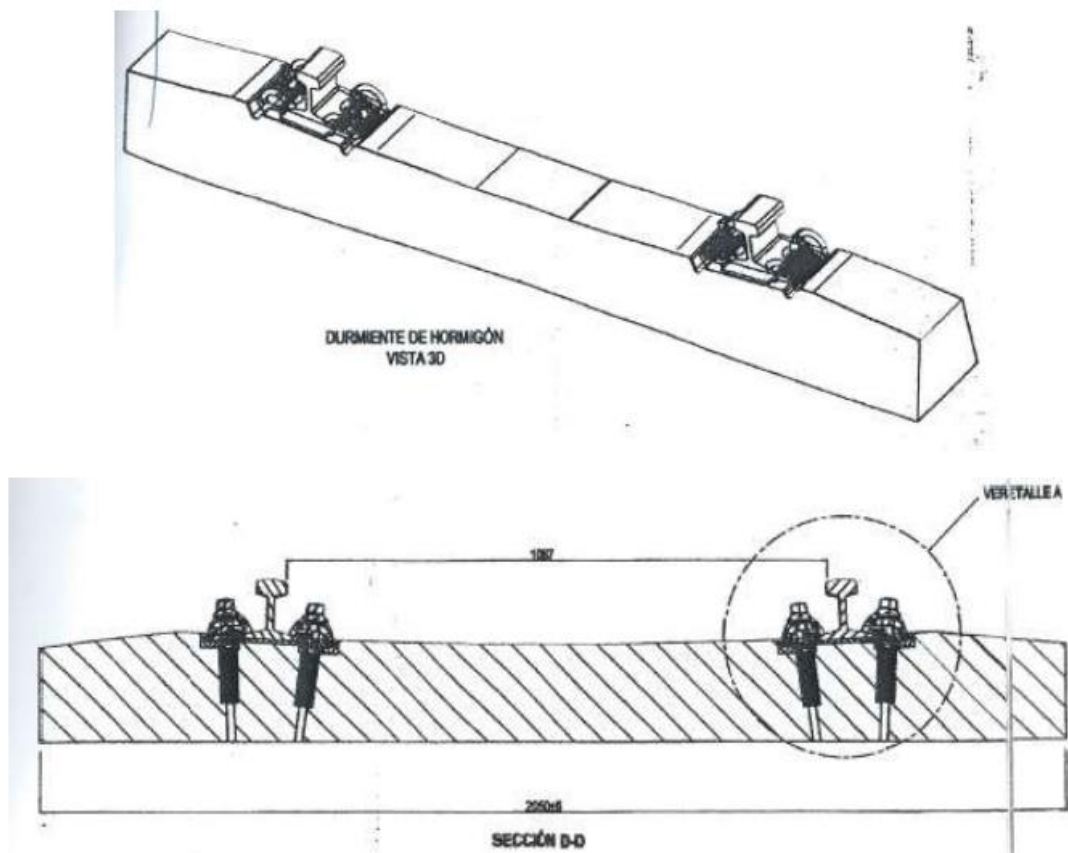
#### 5.2.2. Durmientes de hormigón

Se pudo visualizar los durmientes de hormigón en una pequeña parte del tramo de análisis de la línea férrea un total de 109 durmientes de hormigón, colocadas a ciertas distancias como parte de la rehabilitación de la vía. Las dimensiones tomadas de los durmientes son: 2.06 m de largo de ancho de 23 cm y un espesor de 20 cm.

De acuerdo con la normativa AREMA. “Las dimensiones son: (2.36 – 2.74 m) de largo de ancho de (20 – 33 cm) y un espesor de 20 cm, la distancia entre traviesas va de 20 a 30 pulgadas de centro a centro de los durmientes. A menos que tomen medidas adicionales para garantizar una transferencia de adherencia adecuada” (AREMA, 1921, p. 1025).

**Figura 34**

*Esquema del durmiente de hormigón.*



*Nota.* En la presente imagen se observa los durmientes de hormigón. Fuente: Informe parámetros técnicos vía férrea.

En tanto a dimensiones de los durmientes de hormigón ratificamos que los parámetros de longitud son muchos menores a lo especificado en la norma “AREMA”. De acuerdo con la necesidad de optimizar los durmientes de madera, se incorporaron

durmientes de hormigón debido a su aportación de mayor resistencia y prolongando una mayor vida útil.

### **Figura 35**

*Durmientes de hormigón.*



*Nota.* En la presente imagen se observa los durmientes de hormigón, colocados indistintamente. Fuente: Los Autores

### **5.3. Elementos de un sistema de sujeción del carril**

Los dispositivos de sujeción de rieles en durmientes de concreto y clavos en durmientes de madera se lograron visualizar de una manera muy detallada por lo cual: según la normativa (AREMA, 1921). Nos especifica lo siguiente:

Deben aplicarse en cantidad suficiente para conservar el ancho de vía mientras el tren avanza se podría considerar anclar la vía. Las ubicaciones designadas en toda el área, utilizando cable atado al riel, pilotes de madera, anclajes de tornillo

colocados en el lecho de la carretera. Para extractores de espigas en madera y amarres compuestos, un cable de 5/8 pulgadas. La punta cuadrada y de 6-1/2 pulgadas de largo se clavará en 4,5 pulgadas. La carga de extracción generalmente se aplicará a una tasa de carga de aproximadamente 1 pulgada por minuto. (p.173).

La capacidad de una espiga de tornillo es sujetar el riel en lo cual evitara movimientos laterales por el paso del tren. “La espiga se introducirá en el amarre a su profundidad de trabajo de instalación normal de acuerdo con un desvío lateral a 0,2 pulgadas a razón de 0,2 pulgadas por minuto, en lo que registre la curva de carga/deflexión y la carga máxima” (AREMA, 1921, p. 960).

### **Figura 36**

*Tipos de sujeción en los rieles.*



*Nota.* En la presente imagen se observa los tipos de sujetadores para los rieles.

Fuente: El Internet

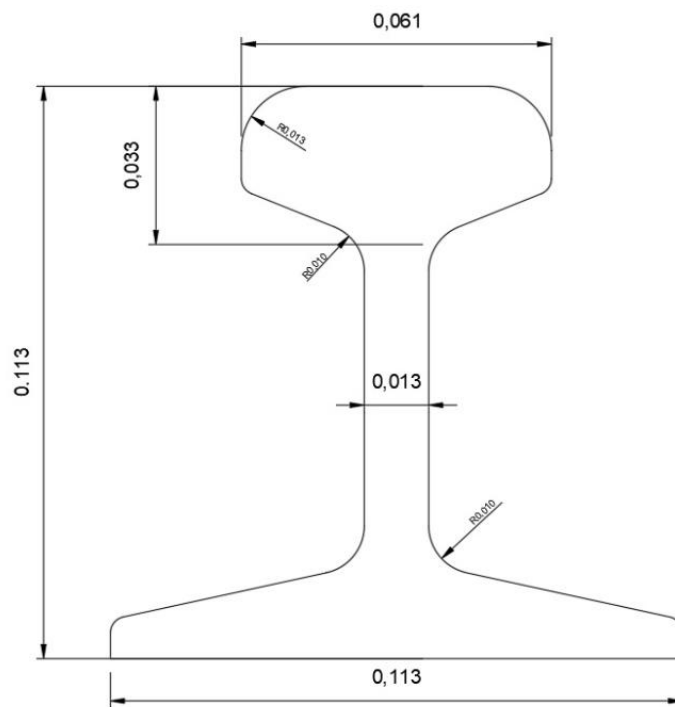
### **5.4 Rieles**

En el tramo de estudio de la vía férrea nos encontramos con un riel de sección variable de acuerdo con las dimensiones del perfil ASCE 60 (TR 30). Esta variación de las medidas es: al desgaste de riel por operación, cargas aplicadas al riel, factores climáticos causando una alteración en el peralte generando un movimiento tolerante entre la rueda y riel.

La norma ASTM A1 se aplica a todos los rieles con una masa mayor o igual a 60 lb/yda (29.76 kg/m) para uso en tendidos ferroviarios o aplicaciones industriales. Según las medidas tomadas en campo de la sección del riel nos indica que este perfil está dentro de este rango.

**Figura 37**

*Sección típica del riel.*



*Nota.* En la presente imagen se observa la sección típica del riel y sus dimensiones. Fuente: Autores

Los rieles deben estar apoyadas sobre placas la cual tendrá una inclinación de 1:20 que deben estar ajustado a los durmientes por medio de tirafondos. La vida útil de un riel depende del tráfico y la carga expuesta, en cuanto a accesorios de los rieles hay que tomar en cuenta lo siguiente: la conexión de los rieles, el anclaje, la fijación del riel así el durmiente y la lubricación. Por otra parte, también se debe considerar el peralte máximo para evitar el volcamiento a una determinada velocidad de diseño.

## CAPÍTULO VI

### PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

#### 6.1 Determinación del estado actual

El estado general de la vía ferroviaria en el tramo de estudio se encuentra suspendido de acuerdo con el informe técnico de “Corredor ferroviario del Sur” análisis técnico que se detalló en año 2019. Por tal motivo al momento del análisis nos encontramos con un diseño geométrico defectuoso y una superestructura muy deteriorada al paso de los años.

##### 6.1.1 Determinación del riel

Sea encontrado rieles de 70 lb/yda, en base a las dimensiones tomadas del mismo y con una longitud de 9.15 m, medidos en campo. El estado actual en el que se encuentra los rieles debido a la falta de uso de puede visualizar que esta total y parcialmente cubierto de vegetación a lo largo de tramo de estudio.

#### Figura 38

*Levantamiento topográfico y estado del riel.*



*Nota.* En la presente fotografía se observa el estado actual del riel. Fuente:

Autores



Como se puede observar en la Figura 38 que el estado del riel se encuentra completamente rodeado de oxidación en la superficie debido al no uso de este en el transcurso de los años.

Con respecto al alineamiento horizontal se llegó a determinar que existe un desplazamiento milímetro por causa del mal estado de los durmientes de madera, por sigue los parámetros de diseño de acuerdo con la especificación técnica de la normativa “AREAMA”.

### 6.1.2 Determinación de los elementos de sujeción

Los elementos que se han encontrado a lo largo del tramo analizado son: Pico de perro y Clip en tren en durmientes de madera y hormigón respectivamente. El estado actual en el que se encuentra los elementos de sujeción para durmientes se observa en un deterioro alto, por lo que ya dejó de cumplir su vida útil.

#### Figura 39

*Elementos de sujeción en tramo de estudio.*



*Nota.* En la presente fotografía se observa los elementos de sujeción encontrados en tramo de estudio de la línea ferroviaria. Fuente: Autores

Los durmientes de hormigón se encontraron que el riel está sujeto con; clip en tren como se observa en la Figura 39, cabe mencionar que esto durmientes se han colocado en la rehabilitación que se dio hace unos años atrás por lo que encontramos una combinación

entre durmientes de madera con durmientes de hormigón colocados a diferentes distancias situados al inicio del tramo estudiado.

### 6.1.3 Determinación de los durmientes

Se observo a lo largo de todo el tramo la existencia de dos tipos de traviesas que son: madera y hormigón. Elementos que forma parte de la superestructura sirviendo de apoyo y estabilidad del riel.

#### Figura 40

*Estado actual de la ubicación de los durmientes.*



*Nota.* En la presente fotografía se observa parte de la distribución de los durmientes de la línea ferroviaria. Fuente: Autores

Los durmientes de madera se encuentran deteriorado en un 90% esto debido a su largo periodo de vida útil por otra parte a los factores climáticos que lo afectan. Por lo tanto, en los durmientes hormigón que remplazaran en su mayoría por sus características de duración se encuentra en excelentes condiciones como se muestra en la Figura 41.

## Figura 41

*Estado actual de los durmientes.*



*Nota.* En la presente fotografía se observa el estado actual de los durmientes de la línea ferroviaria. Fuente: Autores

Se contabilizo un número determinado de durmientes de hormigón 109, que se los encuentra distribuidos al inicio del tramo de análisis siendo conformado como tramo de rehabilitación.

### 6.1.4 Determinación del balasto

El balasto se lo encontró parcialmente suelto sin tener una forma homogénea del terraplén que debe servir como base para la colocación de los durmientes, que servirán para la correcta distribución de los esfuerzos con el paso del tren. Teniendo una inclinación que ayudara con la salida del agua hacia un costado de la vía. Se encontró material con dimensiones aproximada de 1½” como se muestra en la Figura 42.

## Figura 42

*Distribución del balasto.*



*Nota.* En la presente fotografía se observa la distribución del balasto en la línea ferroviaria. Fuente: Autores

Entre los rieles se puede ver que el balasto cubre a los durmientes esto se debe a que el material cubre para tener una mejor protección de las traviesas.

### **6.1.5 Determinación del alineamiento horizontal y vertical**

#### **6.1.5.1 Radios mínimos**

En este análisis realizado se llegó a encontrar con 3 curvas, dos de estas que giran a la derecha y una que gira a la izquierda como nos indica el ángulo de deflexión. Luego de realizar el levantamiento topográfico se procedió a obtener el diseño geométrico de todo el tramo y llegando a determinar radios de curvatura que están dentro del rango permitido por la norma “AREMA”.

Existe un diseño geométrico indicando la existencia del diseño de curvas circulares, pero al realizar nuestro diseño se llegó a determinar que las curvas también pueden ser de tipo espirales cumpliendo todos los parámetros de diseño.

### **Figura 43**

*Medición de la curva mediante topografía.*



*Nota.* En la presente fotografía se observa la toma de puntos topográficos de la curva. Fuente: Autores

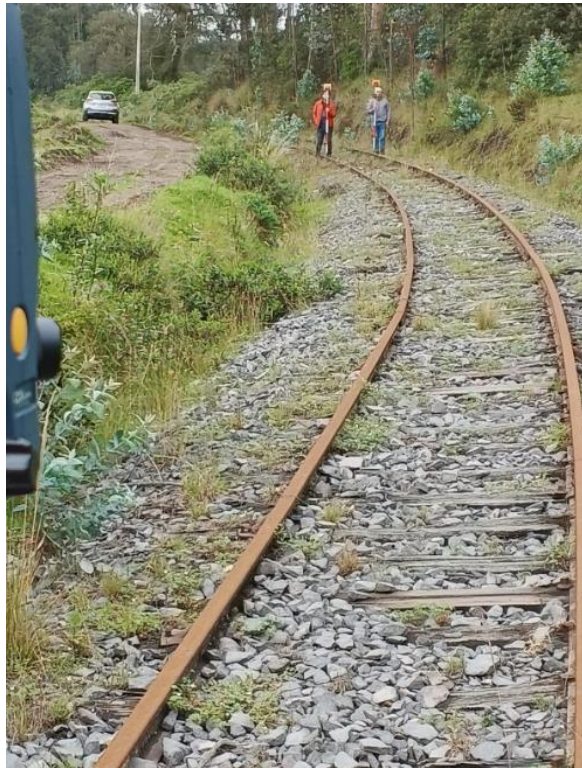
#### **6.1.5.2 Peralte**

Al analizar las tres curvas existentes se llegó a determinar los peraltes que tienen una variación acorde a lo que se indica en la Norma, partiendo de una diferencia de cotas entre carriles de cero, teniendo un incremento ascendente conforme va avanzando en la curva hasta llegar a su máximo valor en el centro de la curva.

La determinación de este peralte se lo realizó utilizando las cotas que nos determina el levantamiento topográfico, realizando un análisis detallado profundo a una distancia de 3 m.

## Figura 44

*Toma de puntos para la determinación de peralte.*



*Nota.* En la presente fotografía se observa la toma de puntos topográficos para determinación del peralte en curva. Fuente: Autores

### 6.1.5.3 Sobreanchos

Este parámetro se lo encontró realizando una medición topográfica a detalle, con un intervalo en la toma de puntos cada 2 m, llegando así a tener una información clara y precisa del estado en el que se encuentra separados un riel del otro.

Las medidas del sobreancho tienen un valor que empieza en la zona de transición con un valor constante que viene de la tangente intermedia, pero con el sentido avance a lo largo de la curva este valor empieza a incrementar hasta llegar al máximo valor que tendrá en el centro de la curva.

Para el análisis de esta medida se tomó puntos topográficos en centro del riel para realizar el cálculo que nos permita determinar la distancia existen entre las caras del riel.

**Figura 45**

*Toma de puntos del sobreancho entre rieles.*



*Nota.* En la presente fotografía se observa la toma de puntos topográficos para determinación del sobreancho. Fuente: Autores

## **6.2 Interpretación de resultados**

La interpretación de resultados se detallarán tablas comparativas que muestran las especificaciones técnicas de la normativa americana “AREMA”, se compararan resultados para dar a conocer el cumplimiento técnico realizado en campo, con lo que especifica la norma.

### **6.2.1 Radios mínimos**

**Tabla 14**

*Análisis de radios mínimos entre la norma y determinado*

<b>RADIO MINIMO DE NORMA</b>	<b>RADIO MINIMO DETERMINADO</b>
<b>m</b>	<b>m</b>
	214.47
$250 > R > 60$	207.71
	140

*Nota.* En la presente Tabla se detalla los radios normados y calculados. Fuente:  
Autores

Según el manual de la normativa “AREMA” indica que dependiendo de la clase de ferrovía La clase "A" incluye todos los distritos de una vía férrea que tenga más de una vía principal, o aquellos distritos de una vía férrea que tenga una sola vía principal con un tráfico igual o superior a lo siguiente:

Millaje de vehículos de carga que pasa por el distrito por año por milla, 150,000; o, Millaje de automóvil de pasajeros por año por milla del distrito, 10,000; con velocidad máxima de trenes de pasajeros de 50 millas por hora. La Clase "B" incluye todos los distritos de una vía férrea que tiene una sola vía principal con un tráfico menor que el mínimo prescrito para la Clase "A", y que iguala o excede lo siguiente: Millaje de vehículos de carga que pasa por el distrito por año por milla, 50,000; o Millaje de automóvil de pasajeros por año por milla del distrito, 5,000; con velocidad máxima de trenes de pasajeros de 40 millas por hora. La Clase "C" incluye todos los distritos de un ferrocarril que no cumplen con los requisitos de tráfico de las Clases "A" o "B". (p. 16)

Por lo que el Ecuador se consideró una construcción de clase Tipo C, para el tren ferroviario que conectaría Quito – Guayaquil con 452 Km ruta que tendría como nombre el tren de Alfaro que sería el encargado de llevar pasajeros.

### **6.2.2 Curvas espirales**

Se puede diseñar tanto curvas circulares como espirales siempre cuando cumplan los parámetros. Según la Normativa Americana AREMA (1965):

Se debería utilizar una curva en espiral o de transición en las derrotas de la línea principal, si es factible, entre la tangente y la curva o entre los diferentes grados de curvatura de una curva compuesta. También es deseable una espiral en todas



las vías distintas de las vías principales, cuando sea factible, entre la tangente y las curvas y entre los diferentes grados de curvatura de una curva compuesta. La forma de la espiral debe ser tal que el grado de curvatura aumente directamente con la longitud. En otras vías que no sean principales sin peralte, esto permite que el motor o los camiones del automóvil se dirijan gradualmente a su posición rotada (requerida por una curva) en lugar de ser dirigidos instantáneamente. (p. 752). Esto también tenderá a evitar la distorsión de la alineación del cuerpo principal de la curva debido a la fuerza requerida para producir la aceleración angular. En vías principales con peralte.

### 6.2.3 Peralte

**Tabla 15**

*Análisis comparativo del peralte.*

<b>PERALTE MAXIMO DE NORMA</b>	<b>PERALTE MAXIMO DETERMINADO</b>
<b>cm</b>	<b>cm</b>
10.16	6.15
	6.38
	9.14

*Nota.* En la presente Tabla se detalla los peraltes normados y calculados.

Fuente: Autores

La norma AREMA obtiene el peralte real restando entre 1 y 4 pulgadas al peralte teórico (Volumen 1, capítulo 5, apartado 3.3.2), y añade que es orientativo y no vinculante. Será el diseñador el que determine cuál es el peralte real en cada curva dependiendo de las políticas de gestión de tráfico de la administración ferroviaria para la que diseñan.

#### 6.2.4 Sobreanchos

El sobreancho de la vía será realizado en secciones de “curva circular para prevenir fuerzas laterales excesivas en la vía, teniendo en cuenta el radio de la curva y la distancia entre ejes del bogie del material rodante. Esta regla no se aplica, sin embargo, a los casos en los que el radio de la curva es elevado, la distancia entre ejes del bogie del material rodante es corta y/o no hay condiciones para que se genere una fuerza lateral excesiva” (AREMA, 1999).

**Tabla 16**

*Análisis comparativo del sobreancho.*

<b>SOBREANCHO MAXIMO DE NORMA</b>	<b>SOBREANCHO MAXIMO DETERMINADO</b>
<b>cm</b>	<b>cm</b>
2.54	1.9

*Nota.* En la presente Tabla se detalla los sobreanchos normados y calculados.

Fuente: Autores

#### 6.2.5 Pendientes

Las pendientes de estas rectas pueden alcanzar “un máximo excepcional del 4%, siendo el máximo recomendable un 3%. En el caso de trenes ligeros, alcanzan más del 7%, siendo lo recomendado un 4%. Las pendientes estarán limitadas por la topografía y por la disposición de las estaciones” (AREMA. 1999). Y se exigirá el uso pendiente cuando la diferencia entre las inclinaciones de rampas continuas es más del 6%.

## **6.3 Resultado de la investigación**

### **6.3.1 Peralte**

La altura de peralte considerado por la norma “AREMA” para contra restar el efecto de la fuerza centrífuga, es de 4” pulgadas. Considerando una velocidad de diseño de 40 Km/h, en un intervalo entre 60 a 250 m de radio de curvatura.

En el diseño realizado se obtuvieron peraltes de 6.15, 6.38 y 9.14 cm, como se muestra en las Tablas: 6, 8, 9. Estos valores no superan el rango establecido por la norma “AREMA” de 10.16 cm, lo que nos indica que las pertenecientes a este tramo se encuentran en condiciones operativas con respecto al peralte.

### **6.3.2 Sobreancho**

El valor de este parámetro que establece la norma “AREMA” es de 1.067 m, entre tangentes intermedias teniendo un rango máximo de 1” pulgada, que puede variar dentro de la curva, este valor permite que no exista descarrilamiento del tren.

En nuestros análisis se llegó a determinar un sobreancho en recta 1.14 m, y un sobreancho máximo en todas las curvas es de 1.088 m, dándonos una diferencia de 0.019 m, causado por el deterioro de la superestructura, llegando a determinar que no está en condiciones operativas.

### **6.3.3 Pendientes**

El valor que establece la norma “AREMA” de acuerdo con el tipo de relieve es del 4%, para terrenos llanos valor que permite la circulación adecuada del paso del tren a lo largo de toda su trayectoria.

El valor calculado con respecto al perfil longitudinal es de 3.07%, con lo cual podemos indicar que el tramo analizado se encuentra dentro del límite especificado por la norma “AREMA”.

### **6.3.4 Curvas**

En los diseños existentes del tramo Quito – Latacunga se encontró que las curvas se diseñaron de forma circular a lo largo de todo el tramo analizado. Al ejecutar nuestro diseño se llegó a determinar que las curvas también se las puede diseñar de formar espiral siguiendo los parámetros que especifica la norma “AREMA”.

## CONCLUSIONES

Al realizar el estudio topográfico en la vía férrea sector el Chasqui de 1.7 Km donde, se pudo revisar cómo está diseñada la construcción de la vía férrea como son: Peralte, sobreebanco, Pendientes y Análisis de la Superestructura guiándonos en la normativa “AREMA, 1999”.

Con el diseño geométrico se pudo determinar los alineamientos tanto horizontales como verticales de una vía férrea Tipo C, para el transporte de pasajeros con una velocidad de diseño de 40 Km/h, para poder comprobar si está cumple con los parámetros constructivos que se especifican en la normativa “AREMA, 1999”.

El criterio de alineamiento horizontal está conformado por la longitud de la recta horizontal, la longitud y el radio de la curva espiral, la altura de peralte y el sobreebanco. Cumpliendo los radios mínimos entre 110 a 250 m, en curvas espirales se puede diseñar siempre y cuando cumplan con lo que establece la norma “AREMA, 1999”, en el análisis del peralte no sobrepasa el límite permitido de 4” pulgadas, en el sobreebanco se cumplió con el desplazamiento permitido de 1” pulgada, el cual evitara que exista un descarrilamiento del tren.

El criterio de alineamiento vertical está conformado por curvas cóncavas, curvas convexas y pendiente longitudinales. Al ser las curvas cóncavas y convexas de radios altos no se llegó a encontrar en el tramo de análisis, en cuanto a la pendiente longitudinal se llegó a determinar una pendiente del 3.07% estando dentro del rango del 4% que establece la normativa “AREMA, 1999”, para terrenos llanos. Y se exigirá el uso pendiente cuando la diferencia entre las inclinaciones de rampas continuas es más del 6%.

Para la recopilación de la información sobre el estado actual de los elementos que conforman la superestructura, se realizó una inspección técnica visual en campo tomando toda la información necesaria para proceder al análisis comparativo que la normativa

“AREMA, 1999” establece, encontrando que los elementos de la vía están condiciones no aptas para la circulación de los trenes debido al deterioro de los durmientes de madera.

## **RECOMENDACIONES**

Para realizar un diseño un diseño claro y preciso se debe realizar un estudio topográfico detallado y georreferenciado que nos muestre el lugar correcto donde se ejecuta el proyecto.

Se recomienda dar mantenimiento de la trocha para poder realizar una medición clara y detallada de los alineamientos geométricos y elementos de a la superestructura, para evitar controversias al momento del análisis.

Es recomendable utilizar un software Civil 3D para la obtención de buenos resultados ya que es una herramienta que está compuesta de herramientas didácticas de fácil entendimiento para el diseño de una vía ferroviaria.

Se recomienda realizar los trabajos de campo en tiempos de estiaje para que no exista dificultades en la toma de información requerida, para el análisis respectivo que se llevara a cabo durante el estudio.

## 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 para obtener el título, Escuela Politécnica Nacional]. CD-5661 (epn.edu.ec)
- 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
- Claudio, I. y Garcia, J. (2019). *Actualización de criterios de diseño geométricos de vías férreas del Perú para mejorar el reglamento nacional de ferrocarriles*. [Tesis para optar el título, Universidad Ricardo Palma].



<https://1library.co/document/zkw5xn4z-actualizacion-criterios-diseno-geometrico-ferreas-reglamento-nacional-ferrocarriles.html>

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*.

Ferrocarriles del Ecuador EPL. 2010. *Informe de parámetros técnicos vía férrea*.

[https://www.obraspublicas.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2022/02/ISFE\\_MTOP\\_4-Informe-parametros-tecnicos-via-ferrea.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2022/02/ISFE_MTOP_4-Informe-parametros-tecnicos-via-ferrea.pdf)

Guerrero, J. (2017). *Ingeniería de vías férreas*. México: Copyright 2017.

<http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/2404/1/25T00181.pdf>

Lendínez, M. (2020). *Condiciones del frenado sobre trenes de mercancías gran capacidad de carga sobre redes*. [Tesis para optar el título, 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)

Londoño, J. (1986). El transporte ferroviario en el país, análisis de los problemas y proyecciones. *Instituto de Altos Estudios Nacionales*.

<https://repositorio.iaen.edu.ec/bitstream/handle/24000/4135/Bastidas%20Jorge.pdf;jsessionid=0A7AEEA8C2FAA65ED970AB5FEBA078AF?sequence=1>

MTOP, BP. (2019). Corredor ferroviario del sur. Ferrocarriles del Ecuador.

Suárez, L. (2022). Historia de ferrocarril. Archivos. 2(4). FERROCARRIL | Historia, inventor, antecedentes, origen e importancia (muchahistoria.com)

Tenelanda, E. y Zuñiga, M. (2012). *Conportamiento tribológico de las ruedas y rieles de los ferrocarriles sometidos a recargue por soldadura electrica en la empresa*

*ferrocarriles del ecuador*. [Tesis para optar el título, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].

Torres, A. y Villate, E. (2000). *Topografía*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Zamarripa, M. (2010). Apuntes de topografía. *Educación y Educadores*, 6-7.

## GLOSARIO

**Alfa ( $\alpha$ ):** Ángulo de deflexión formado por la unión o intersección de tangentes.

**Balasto:** Material rocoso que sirve como base para el asentamiento de los rieles de la línea férrea.

**Civil 3D:** Software educativo de dibujo en la ingeniería civil que ayuda en la elaboración de diseños viales verticales y horizontales.

**Curva espiral:** Curva cuyo punto de inicio es fijo y su radio cambia de manera proporcional con respecto a la distancia del arco desde el inicio a medida que aumenta o disminuye.

**Desbroce:** Limpieza de capa vegetal existente en el lugar donde se ejecutará el proyecto.

**Durmientes:** Elementos transversales en el eje de vía que sirven de soporte para los rieles del tren.

**Equidistantes:** La misma distancia entre dos puntos.

**Esquemmatizar:** Un resumen de forma lógica y estructurada.

**Gabinete:** Trabajos realizados en oficinas para el desarrollo de un proyecto.

**Georreferenciación:** Permite determinar la ubicación un sistema de coordenadas de acuerdo con la necesidad.

**GPS:** Sistema de navegación que permite determinar un punto en específico.

**Modelamiento:** Formas de figuras tridimensionales que comprenden un dibujo.

**Plusvalía:** el incremento un bien o un inmueble en el mercado al cotizar un activo financiero.




**Prismas:** Instrumento que sirve para dar información de la topografía del suelo mediante una estación total.

**Rieles:** Barras metálicas que soportan el paso de un ferrocarril.




**Trazado:** Proceso de definir o medir donde se realizará un levantamiento topográfico.

## ANEXOS




Anexo 1: Punto base 1 GPS.

<b>MONOGRAFÍA DE CONTROL HORIZONTAL Y VERTICAL</b>					
SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)					
<b>Pais:</b> <b>Ecuador</b>	<b>Cantón:</b> <b>LATACUNGA</b>	<b>PUNTO DE CONTROL GPS:</b>  <b>GPS1</b>			
<b>Provincia:</b> <b>COTOPAXI</b>	<b>Parroquia:</b> <b>EL CHASQUI</b>				
	<b>Sector:</b> <b>REDONDEL EL CHASQUI</b>				
<b>Proyección Cartográfica:</b> <b>UTM Zona 17 Hemisferio Sur</b>	<b>CLIENTE:</b> <b>Estudiantes de Ingeniería UPS</b>	<b>Revisado por:</b> <b>Ing. Hugo Carrión</b>			
<b>Fecha:</b> <b>15-mar-23</b>	<b>Equipo GPS:</b> <b>SOKKIA STRATUS</b>	<b>ALTURA ORTOMÉTRICA (m):</b> <b>3153.000</b>			
<b>COORDENADAS GEOGRÁFICAS</b>		<b>UBICACION DEL VÉRTICE</b> 			
<b>UTM WGS-84</b>	<b>LATITUD (N)</b>			<b>LONGITUD (W)</b>	
	<b>0° 41' 53.17"</b>			<b>150° 35' 19.40"</b>	
<b>COORDENADAS PLANAS UTM</b>					
<b>UTM WGS-84</b>	<b>SUR(m)</b>			<b>ESTE(m)</b>	
	<b>9922769.863</b>			<b>768374.702</b>	
<b>Ubicación:</b> Partiendo desde la troncal de la sierra en dirección a la ciudad de Latacunga, en el redondel de entrada al volcan Cotopaxi.					
<b>Monumentación:</b> El vértice esta materializado por un clavo de acero colocado sobre el bordillo.		<b>PUNTO</b> 			
<b>Responsable:</b>					
					
<b>Top. Roberth Hernández</b>					
Quito - Ecuador					




Anexo 2: Punto base de control 2 GPS.

<b>MONOGRAFÍA DE CONTROL HORIZONTAL Y VERTICAL</b>			
SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)			
<b>Pais</b> <b>Ecuador</b>	<b>Cantón:</b> <b>LATACUNGA</b>	<b>PUNTO DE CONTROL GPS:</b>  <b>GPS2</b>	
<b>Provincia</b> <b>COTOPAXI</b>	<b>Parroquia:</b> <b>EL CHASQUI</b>		
	<b>Sector:</b> <b>REDONDEL EL CHASQUI</b>		
<b>Proyección Cartográfica:</b> UTM Zona 17 Hemisferio Sur	<b>CLIENTE:</b> <b>Estudiantes de Ingeniería UPS</b>	<b>Revisado por:</b> <b>Ing. Hugo Carrión</b>	
<b>Fecha:</b> <b>15-mar-23</b>	<b>Equipo GPS:</b> <b>SOKKIA STRATUS</b>	<b>ALTURA ORTOMÉTRICA (m):</b> <b>3152.420</b>	
<b>COORDENADAS GEOGRÁFICAS</b>		<b>UBICACION DEL VÉRTICE</b>	
<b>UTM WGS-84</b>	<b>LATITUD (N)</b>	<b>LONGITUD (W)</b>	
	<b>0° 41' 55.45"</b>	<b>150° 35' 19.39"</b>	
<b>COORDENADAS PLANAS UTM</b>			
<b>UTM WGS-84</b>	<b>SUR(m)</b>	<b>ESTE(m)</b>	
	<b>9922699.768</b>	<b>768375.167</b>	
<b>Ubicación:</b>			
Partiendo desde la troncal de la sierra en dirección a la ciudad de Latagunga, en el redondel de entrada al volcan Cotopaxi.			
<b>Monumentación:</b>			
El vértice esta materializado por un clavo de acero colocado sobre el bordillo.			
<b>Responsable:</b>			
<b>Top. Roberth Hernández</b>			
Quito - Ecuador			

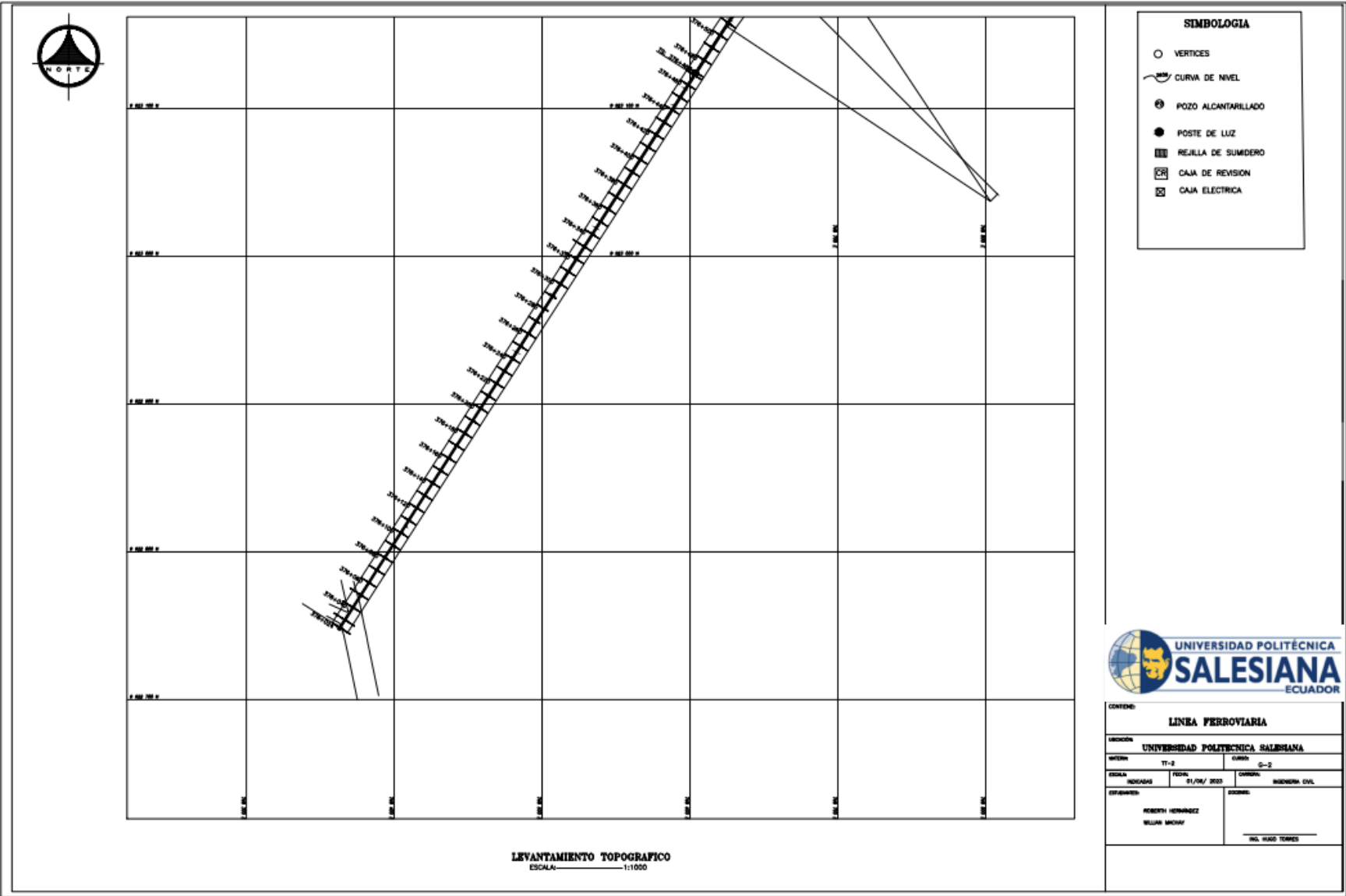
Anexo 3: Punto base de control 3 GPS.

<b>MONOGRAFIA DE CONTROL HORIZONTAL Y VERTICAL</b>				
SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)				
País: <b>ECUADOR</b>	Cantón: <b>LATACUNGA</b>	PUNTO DE CONTROL GPS:  <b>GPS3</b>		
Provincia: <b>COTOPAXI</b>	Parroquia: <b>EL CHASQUI</b>			
	Sector: <b>REDONDEL EL CHASQUI</b>			
Proyección Cartográfica: <b>UTM Zona 17 Hemisferio Sur</b>	CLIENTE: <b>Estudiantes de Ingeniería UPS</b>	Revisado por: <b>Ing. Hugo Carrión</b>		
Fecha: <b>15-mar-23</b>	Equipo GPS: <b>SOKKIA STRATUS</b>	ALTURA ORTOMETRICA (m): <b>3200.810</b>		
<b>COORDENADAS GEOGRÁFICAS</b>		<b>UBICACION DEL VÉRTICE</b> 		
<b>UTM WGS-84</b>	LATITUD			LONGITUD
	0°41'18.78"			78°34'45.57"
<b>COORDENADAS PLANAS UTM</b>				
<b>UTM WGS-84</b>	SUR(m)			ESTE(m)
	9923826.408			769422.348
<b>Ubicación:</b> Partiendo desde la troncal de la sierra en direccion a la ciudad de Latagunga, en el redondel de entrada al volcan Cotopaxi.				
<b>Monumentación:</b> El vértice esta materializado por un clavo de acero colocado sobre el bordillo.		<b>PUNTO</b> 		
Responsable:  Top. Roberth Hernández				
Quito - Ecuador				

Anexo 4: Punto base de control 5 GPS.

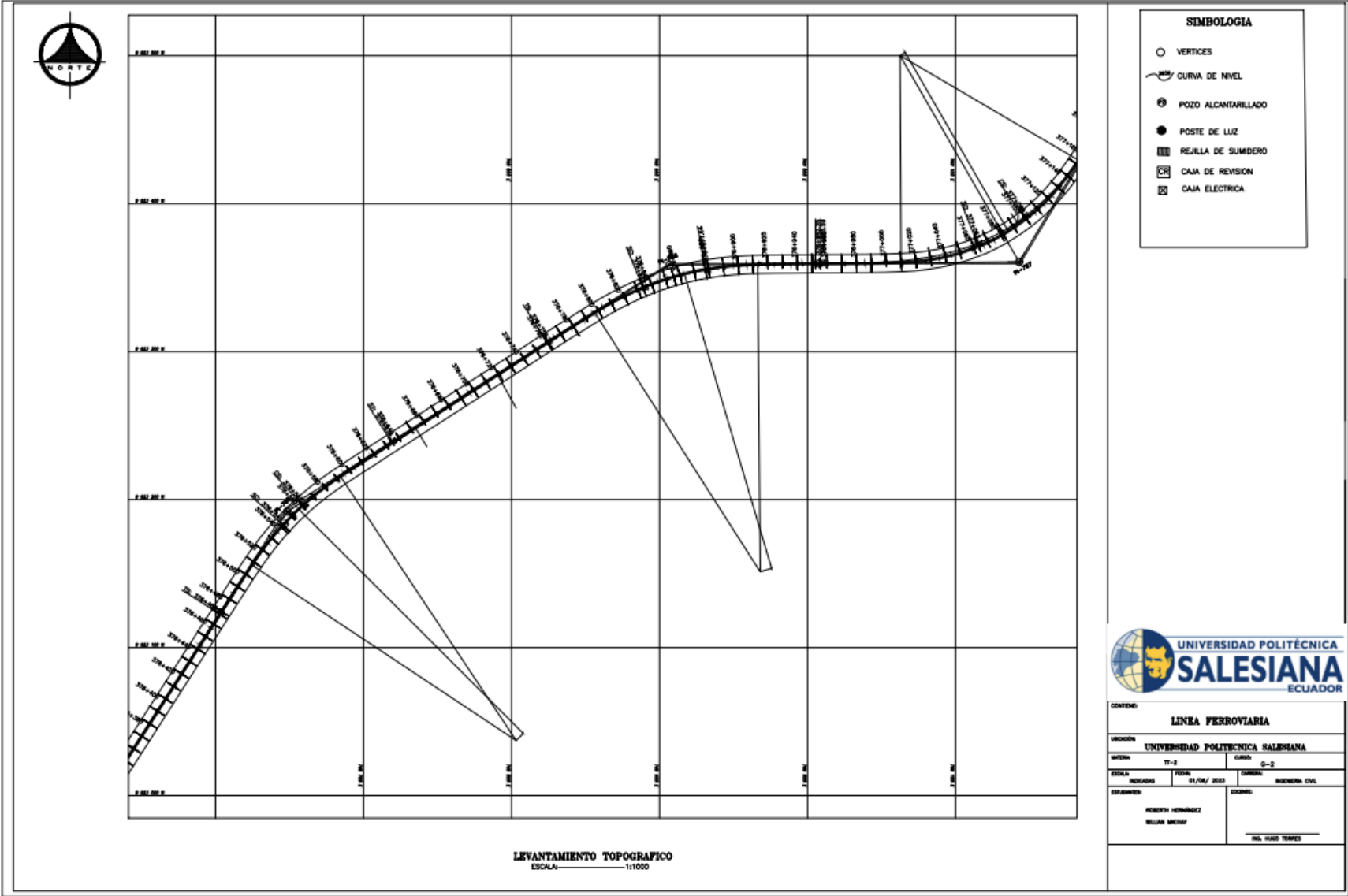
<b>MONOGRAFIA DE CONTROL HORIZONTAL Y VERTICAL</b>				
SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)				
País	<b>ECUADOR</b>	Cantón:	<b>LATACUNGA</b>	
Provincia	<b>COTOPAXI</b>	Parroquia:	<b>EL CHASQUI</b>	
Proyección Cartográfica:	<b>UTM Zona 17 Hemisferio Sur</b>	Sector:	<b>REDONDEL EL CHASQUI</b>	
Fecha:	<b>15-mar-23</b>	CLIENTE:	<b>Estudiantes de Ingeniería UPS</b>	
		Equipo GPS:	<b>SOKKIA STRATUS</b>	
		PUNTO DE CONTROL GPS:	<b>GPS4</b>	
		Revisado por:	<b>Ing. Hugo Carrión</b>	
		ALTURA ORTOMETRICA (m):	<b>3200.890</b>	
<b>COORDENADAS GEOGRÁFICAS</b>		<b>UBICACION DEL VÉRTICE</b>		
<b>UTM WGS-84</b>	LATITUD	LONGITUD		
	0°41'18.81"	78°34'45.50"		
<b>COORDENADAS PLANAS UTM</b>				
<b>UTM WGS-84</b>	SUR(m)			ESTE(m)
	4307.106			769424.026
Ubicación: Partiendo desde la troncal de la sierra en dirección a la ciudad de Latagunga, en el redondel de entrada al volcan Cotopaxi.				
<b>Monumentación:</b> El vértice esta materializado por un clavo de acero colocado sobre el bordillo.		<b>PUNTO</b> 		
Responsable:  Top. Roberth Hernández				
Quito - Ecuador				

Anexo 5: Plano del diseño ferroviario.

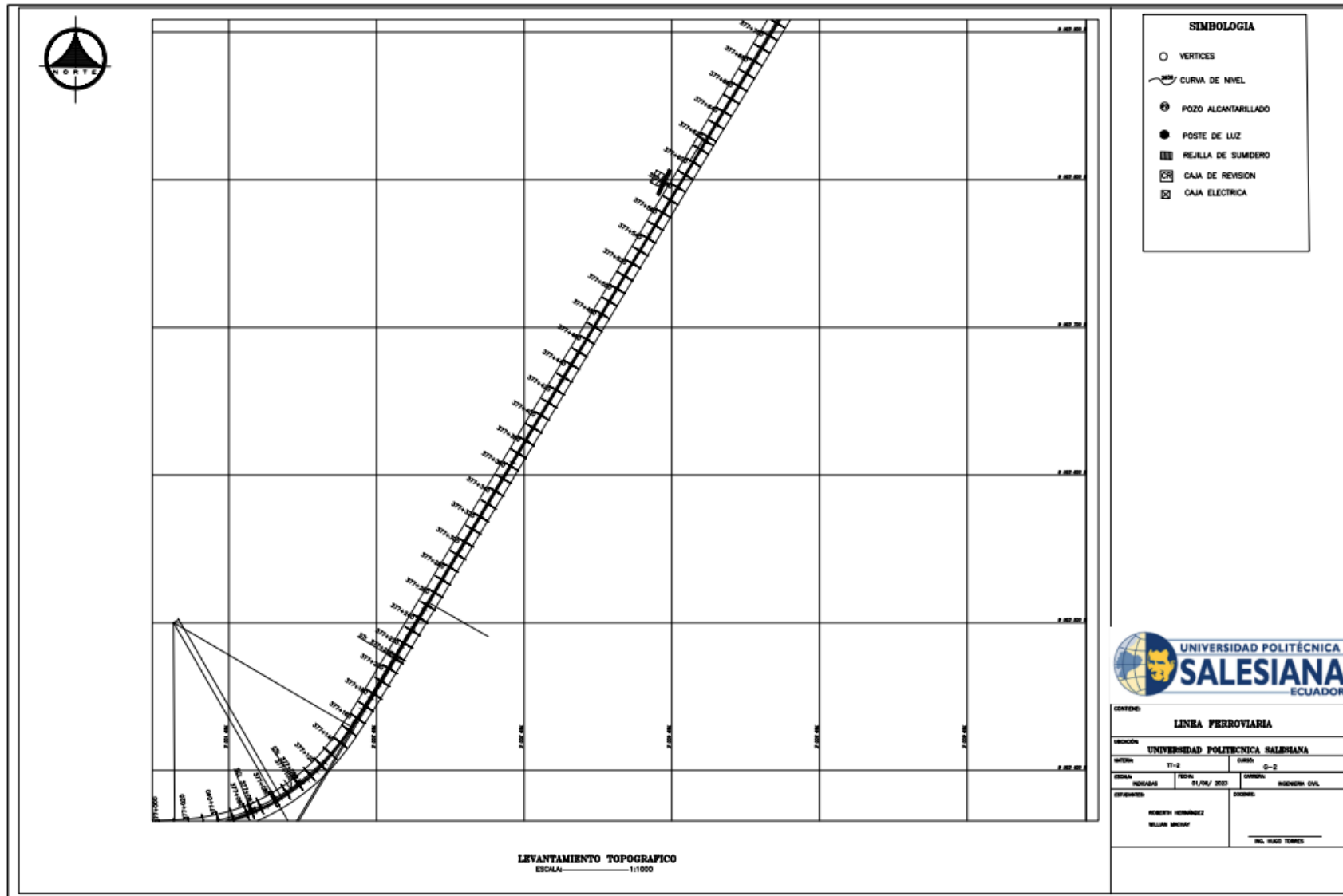




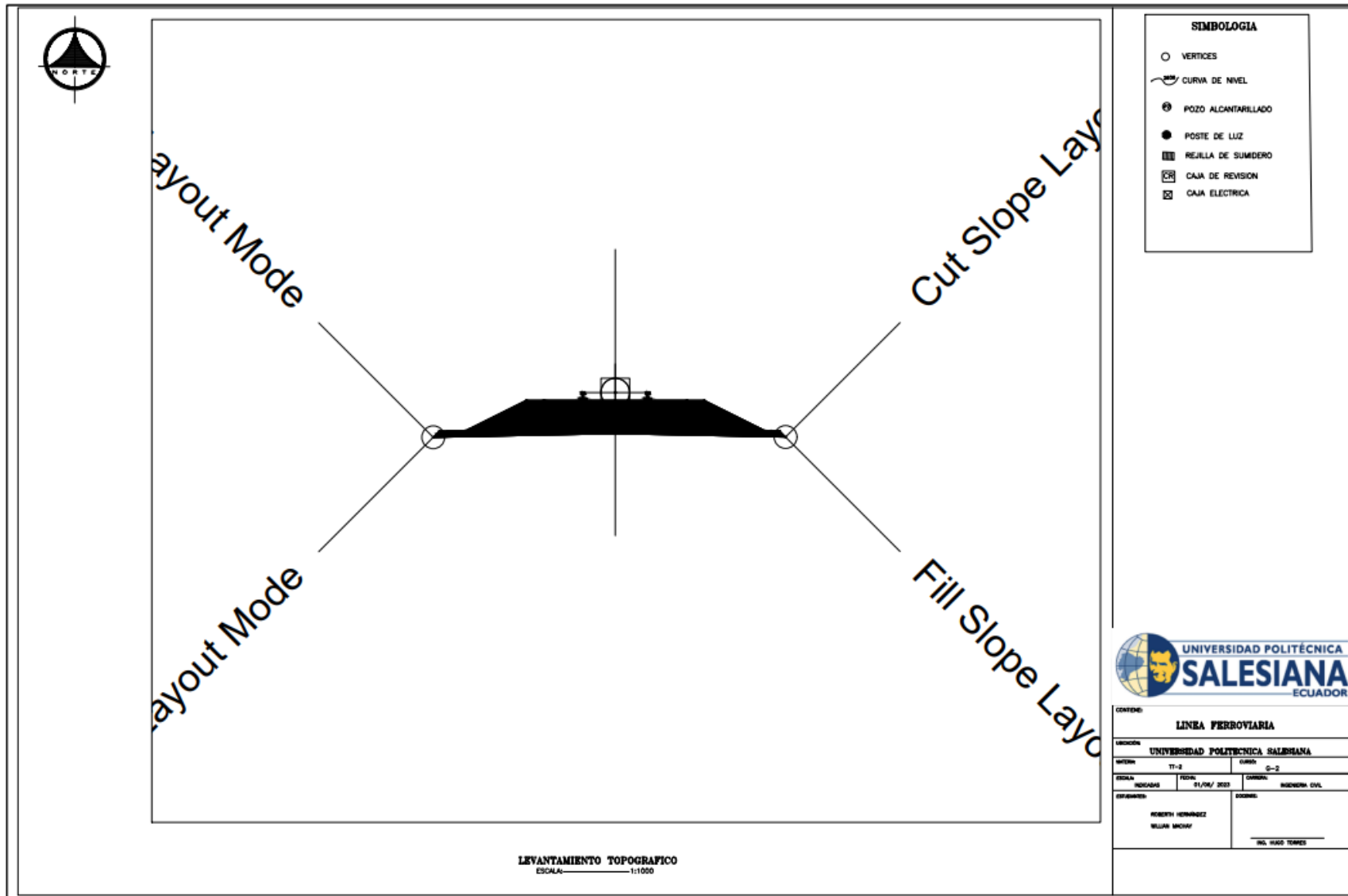
Anexo 6: Plano del diseño ferroviario.



Anexo 7: Plano del diseño ferroviario.



Anexo 8: Plano sección típica de la vía ferroviaria.



Anexos 9: Fotografías de trabajo de campo.

Anexo 1	DESCRIPCIÓN
Fotografías del levantamiento topográfico y ubicación de los puntos de control al inicio del proyecto sector ingreso al Parque Nacional Cotopaxi.	
<b>FOTOGRAFÍAS</b>	
	

Anexos 10: Fotografías de trabajo de campo.

Anexo 2	DESCRIPCIÓN
Fotografías del levantamiento topográfico y ubicación de los puntos de control al inicio del proyecto sector ingreso al Parque Nacional Cotopaxi.	
<b>FOTOGRAFIAS</b>	
	