



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos.*
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



ESTUDIO DE FACTIBILIDAD EXTENSIÓN METRO DE VALPARAÍSO TRAMO LIMACHE – LA CALERA

Trabajo realizado por:

Alberto Yavar Sandoval

Dirigido:

Luigi dell’Olio

Roberto Sañudo Ortega

Titulación:

**Grado en Ingeniería Civil,
Mención en Construcciones Civiles**

Santander, Julio de 2020

TRABAJO FIN DE GRADO

En primer lugar quiero agradecer y dedicar este trabajo a mi familia, quienes me han apoyado incondicionalmente durante los años de estudio estando presentes en todo momento.

A mis amigos por su apoyo y compañía brindados en los buenos y malos momentos, tanto cerca como al otro lado del mundo.

A los profesores Roberto Sañudo Ortega y Luigi dell'Olio los cuales siempre estuvieron dispuestos a ayudarme en este proceso y dedicar parte de su tiempo a este trabajo.

Y por último al profesor Jorge Rodríguez Hernández quien nunca dudo en guiar y ayudar cuando se le solicitaba su ayuda.

A todos muchas gracias.



Resumen.

TÍTULO TFG: Estudio de factibilidad extensión Merval tramo Limache – La Calera.

AUTOR: Alberto Yavar Sandoval.

DIRECTORES: Luigi dell’Olio, Roberto Sañudo Ortega.

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Civil.

Palabras clave: ferrocarril, Valparaíso, estudio, factibilidad, metro, trazado, opción, trocha, túnel.

El constante aumento de la población en las urbes Chilenas trae consigo el problema de la congestión de las vías de transporte terrestre provocando una pérdida en la calidad de vida e ineficiencias para los usuarios. El objetivo desarrollado en el presente trabajo de fin de grado es crear un estudio de la mejor alternativa para un nuevo trazado ferroviario, que servirá como extensión de la actual red de metro de Valparaíso desde la ciudad de Limache hasta La Calera, con una extensión de 25 kilómetros en donde viven cerca de 200.000 personas.

Para llevar a cabo los estudios se trabajó con la normativa técnica ferroviaria que rige en Chile en manos de EFE (Empresa de Ferrocarriles del estado) en donde se repasaron cada uno de los elementos constituyentes de la vía a lo largo de toda su extensión, de esta forma se elaboraron tres alternativas distintas que cumplieran con las exigencias normadas y a la vez fueran eficientes para su puesta en marcha. En algunos apartados se ha comparado los resultados de la superestructura con la normativa usada por ADIF en España a modo de establecer similitudes y diferencias en los cálculos. Luego de conocer las características y elementos de las opciones se realiza un estudio de presupuestos y multicriterio por medio del método AHP (Proceso de análisis jerárquico) que ayuda en la toma de decisiones.

Luego del estudio de las tres alternativas de trazado se han obtenido resultados contrastantes entre estas, por un lado la propuesta de usar en un 100% la actual faja de la vía posee diversos puntos a favor sobre todo en temas de logística y costos, teniendo solo que ampliar y modernizar la red, por otro lado las otras dos opciones generan un cambio de ruta en una parte del trayecto, por lo que se necesita nuevas obras que se transforman en más costos. De esta forma luego de la evaluación, la opción más acertada para llevar a cabo sería la presentada como trazado n°1.

Normativa de referencia.

- EFE-NSF-51-001 Norma de Seguridad para Cruces a Nivel
- EFE-NTF-51-001 Norma Técnica Ferroviaria Cruces a Nivel.
- EFE-NSF-11-001 Norma de Seguridad para Vías Férreas.
- EFE-NTF-11-001 Clasificación de Vías de Circulación.
- EFE-NTF-11-002 Elementos Constituyentes de la Vía.
- EFE-NTF-11-003 Construcción de la Vía.
- EFE-NSF-31-001 Norma de Seguridad de Electrificación.
- NSF-41-001 Norma de Seguridad de Señalización.
- EFE-NSF-42-001 Norma de Seguridad para Comunicaciones.
- EFE-NSF-68-001 Norma de Seguridad para el Transporte de Mercancías Peligrosas.
- N.R.V. 3-4-1.0 Cálculo de infraestructura.
- UIC code 719.
- Normas de Seguridad para Estaciones de Pasajeros. Empresas de Ferrocarriles del Estado EFE 1997 Chile.

Leyes Generales.

- Ley 19.300 de 1994 Ley de Bases del Medio Ambiente.
- Ley general de ferrocarriles, Chile, DS 1157 de 1931.
- Ley de administración de EFE, Chile, DFL 1 de 1993.

Manuales.

- Manual de Carreteras Ministerio de Obras Públicas, Chile.
- Manual for Railway Engineering AREMA, USA, 2000.
- Manual of Standards and Recommended Practices, AAR, USA, 2000
- Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental DS 30 de 1997.

Decretos Supremos.

- Decreto Supremo N° 2132 de 1939 Cruces Particulares de Vías Férreas.
- Decreto Supremo N° 38 de 1986 Señalización de Cruces Públicos a Nivel.
- Decreto Supremo N° 62 de 1986 Modifica al DS N° 38 de 1986.
- Decreto Supremo N° 252 de 1994 Nómina de Cruces Ferroviarios a Nivel.
- DS 40 de 1997 Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.



Abstract.

TITLE TFG: Feasibility study for the MERVAL extensión, section Limache – La Calera.

AUTHOR: Alberto Yavar Sandoval.

DIRECTORS: Luigi dell'Olio, Roberto Sañudo Ortega.

DEGREE: Degree in Civil Engineering.

Keywords: railway, Valparaíso, study, feasibility, metro, tracing, option, gauge, tunnel.

The constant increase in population in Chilean cities brings with it the problem of congestion on land transport routes, causing a loss in the quality of life and inefficiencies for users. The objective developed in this final degree project is to create a study of the best alternative for a new railway layout, which will serve as an extension of the current Valparaíso metro network from the city of Limache to La Calera, with a prolongation of 25 kilometers where about 200,000 people live.

To carry out the studies, we worked with the railway technical regulations that govern Chile in the hands of EFE (Empresa de Ferrocarriles del Estado), where each of the constituent elements of the road was reviewed throughout its length, in this way, three different alternatives were developed that met the regulatory requirements and were efficient for its implementation. In some sections, the results of the superstructure have been compared with the regulations used by ADIF in Spain in order to establish similarities and differences in the calculations. After knowing the characteristics and elements of the options, a study of budgets and multi-criteria is carried out using the AHP (Analytic hierarchy process) method that helps in decision-making.

After studying the three layout alternatives, contrasting results have been obtained between them, on the one hand, the proposal to use 100% of the current strip of the road has several points in favor, especially in terms of logistics and costs, having only expanding and modernizing the network, on the other hand, the other two options generate a change of route in one part of the layout, so new works will be needed that will become in further costs. In this way, after the evaluation, the most appropriate option to carry out would be the one presented as path n°1.

Reference normative.

- EFE-NSF-51-001 Norma de Seguridad para Cruces a Nivel
- EFE-NTF-51-001 Norma Técnica Ferroviaria Cruces a Nivel.
- EFE-NSF-11-001 Norma de Seguridad para Vías Férreas.
- EFE-NTF-11-001 Clasificación de Vías de Circulación.
- EFE-NTF-11-002 Elementos Constituyentes de la Vía.
- EFE-NTF-11-003 Construcción de la Vía.
- EFE-NSF-31-001 Norma de Seguridad de Electrificación.
- NSF-41-001 Norma de Seguridad de Señalización.
- EFE-NSF-42-001 Norma de Seguridad para Comunicaciones.
- EFE-NSF-68-001 Norma de Seguridad para el Transporte de Mercancías Peligrosas.
- N.R.V. 3-4-1.0 Cálculo de infraestructura.
- UIC code 719.
- Normas de Seguridad para Estaciones de Pasajeros. Empresas de Ferrocarriles del Estado EFE 1997 Chile.

General Laws.

- Ley 19.300 de 1994 Ley de Bases del Medio Ambiente.
- Ley general de ferrocarriles, Chile, DS 1157 de 1931.
- Ley de administración de EFE, Chile, DFL 1 de 1993.

Guidelines.

- Manual de Carreteras Ministerio de Obras Públicas, Chile.
- Manual for Railway Engineering AREMA, USA, 2000.
- Manual of Standards and Recommended Practices, AAR, USA, 2000
- Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental DS 30 de 1997.

Supreme decrets.

- Decreto Supremo N° 2132 de 1939 Cruces Particulares de Vías Férreas.
- Decreto Supremo N° 38 de 1986 Señalización de Cruces Públicos a Nivel.
- Decreto Supremo N° 62 de 1986 Modifica al DS N° 38 de 1986.
- Decreto Supremo N° 252 de 1994 Nómina de Cruces Ferroviarios a Nivel.
- DS 40 de 1997 Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

Índice

INTRODUCCIÓN

1. RED FERROVIARIA DE CHILE.....	1
1.1. Empresa de ferrocarriles del estado (EFE).....	1
1.2. Ferronor.	2
1.3. Fepasa.	3
1.4. Transap.....	3
1.5. Reimpulso del sistema de ferrocarril en Chile.....	3
1.6. Vías existentes en Chile.	4
1.6.1. Tren Central.....	5
1.6.2. MetroTren Nos.....	5
1.6.3. MetroTren Rancagua.	7
1.6.4. TerraSur.....	8
1.6.5. Buscarril Ramal Talca-Constitución.....	9
1.6.6. Ferrocarriles del Sur.	11
1.6.6.1. BioTrén.	12
1.6.6.2. Corto Laja.	12
1.6.6.3. Regional Victoria-Temuco.....	13
1.6.7. Redes secundarias y su estado actual.	13
2. FACTORES QUE HAN HECHO POSIBLE EL OLVIDO FERROVIARIO DEL PAÍS.....	19
2.1. Condiciones naturales.	20
2.2. Regiones Naturales.	20
2.2.1. Norte Grande.	21
2.2.2. Norte Chico.....	22
2.2.3. Zona Centro.....	22
2.2.4. Zona Sur.....	23
2.2.5. Zona Austral.	24
2.3. Unidades de Relieve.	25
2.3.1. Cordillera de los Andes.....	27
2.3.2. Cordillera de la Costa.....	28
2.3.3. Depresión intermedia.....	28
2.3.4. Planicies litorales.	28
2.4. Sismicidad del País.	28

2.5. Influencia del coste y la demanda en el ferrocarril.	29
2.5.1 Medidas para aumentar su uso.	30
2.5.2. El Plan Maestro.	30
2.5.3. Transporte de Carga.	30
2.5.4. Transporte de Pasajeros.	33
3. METRO DE VALPARAÍSO.	35
3.1. Material Rodante.	35
4. PROYECTO MERVAL LIMACHE – LA CALERA.	36
4.1. Planteamiento de las ciudades beneficiadas.	36
4.2. Estudios de demanda.	37
4.3. Necesidades actuales en los distintos medios de transporte.	38
4.3.1. Ruta CH-60.	38
4.3.2. Ruta CH-64.	39
4.3.3. Servicio Bus + Metro.	39
4.3.4. Otros medios de transporte.	40
4.4. Estudio de las ciudades.	41
4.4.1. San Pedro.	42
4.4.2. Quillota.	42
4.4.3. La Calera.	44
4.4.4. La Cruz.	46
4.5. Planteamiento de alternativas del trazado.	47
4.5.1 Opciones de trazado posible.	47
4.6. Características nuevas estaciones.	58
4.6.1. Estación Limache.	59
4.6.2. Estación San Pedro.	60
4.6.3. Estación Quillota.	64
4.6.4. Estación La Cruz.	68
4.6.5. Estación La Calera.	69
4.7. Recopilación y análisis de antecedentes.	71
4.7.1. Antecedentes Cartográficos.	71
4.7.2. Antecedentes Geológicos.	72
4.7.3. Características de la vía.	77
5. CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA DE LA VÍA.	82

5.1. Cálculo de superestructura.....	83
5.1.1. Determinación de la calidad del suelo.....	83
5.1.2. Estimación tráfico.....	84
5.1.3. Cálculo de infraestructura con N.R.V. 3-4-1.0.	86
5.1.4. Cálculo de infraestructura con UIC code 719-R.	90
5.1.5. Comparación de resultados.	93
6. TRAZADO GEOMÉTRICO DE LAS VÍAS.....	93
6.1. Clasificación de las curvas.	93
6.2. Radio mínimo.	95
6.3. Peralte.....	95
6.4. Obtención del peralte.	97
6.5. Ensanche de trocha.....	99
6.6. Tramos rectos entre curvas.....	99
6.7. Curvas de transición.....	100
6.8. Alineación del perfil.	102
6.8.1. Rampas máximas.	102
6.8.2. Curvas verticales.	102
7. ESTRUCTURAS.....	103
7.1. Viaductos.	103
7.2. Túneles.	103
7.2.1 Túnel San Pedro.....	103
7.2.2. Reacondicionamiento.....	104
7.2.3. Estructura de la vía.	104
7.2.4 Elementos de seguridad.	105
7.3. Puentes.....	105
8. PASOS A NIVEL.....	106
8.1. Cruces vehiculares.....	106
8.1.1. Geometría de los cruces.	107
8.1.2. Índice de Peligrosidad (P).....	108
8.1.3. Calculo de Momento de circulación.....	111
8.1.4. Disposiciones en Planta.....	115
8.2. Cruces peatonales.	115
8.2.1. Pasos peatonales superiores.....	116

8.2.2. Pasos peatonales inferiores.....	117
8.2.3. Pasos peatonales a nivel.	117
8.3. Señalética de protección.	118
8.3.1. Señales fijas.	118
8.3.2. Señales automáticas.....	119
8.3.3. Banderistas automáticos.....	119
8.3.4. Barreras automáticas.....	120
8.4. Carpeta de rodado del cruce ferroviario.....	120
8.4.1. Paneles de hormigón.	121
8.5. Cierre de la faja de la vía.....	122
9. CONDICIONES AMBIENTALES.....	124
9.1. Normativa aplicable.....	124
9.2. Aspectos a considerar en el proyecto ferroviario.	125
9.2.1. Calidad del aire.....	125
9.2.2. Calidad acústica.....	125
9.2.3. Geomorfología.	126
9.2.4. Suelos.....	126
9.2.5. Hidrología.	126
9.2.6. Flora.	126
9.2.7. Fauna.	127
9.2.8. Paisaje.....	127
9.2.9. Medio socioeconómico y cultural.	127
10. CUBICACIÓN.	127
11. CRITERIOS TOMA DE DECISIÓN.	130
11.1. Evaluación económica como criterio principal.	130
11.2. Evaluación multicriterio por método AHP (Proceso de análisis jerárquico).	130
12.2.1. Uso de la faja actual de la vía.	132
12.2.2. Costos de presupuesto.	132
12.2.3. Influencia en el medio ambiente.....	133
12.2.4. Expropiaciones.	133
12.2.5. Pendiente del proyecto.	134
12.2.6. Tiempo de construcción.....	134
12.2.7. Cantidad de curvas.	135

12.2.8. Cantidad de cruces a nivel.....	135
12.2.9. Análisis de los datos.	136
CONCLUSIÓN.....	140
ANEXOS.....	142
Anexo n° 1 Panorama general de los ferrocarriles en Chile.....	142
Anexo n° 2 Historia del metro de Valparaíso y sus características.	147
Anexo n° 3 Maquinaria utilizada en MERVAL y sus características.....	166
Anexo n° 4 Resumen de las redes secundarias de Chile.	171
Anexo n° 5 Población de las principales ciudades de Chile.....	172
Anexo n° 6 Temperaturas anuales de la ciudad de Quillota y La Calera.	173
Anexo n° 7 mapa ferroviario de las principales vías férreas de Chile	174
Anexo n° 8 Fotografías del estado de Túnel San Pedro y sus alrededores.	177
Anexo n°9 Vista satelital de las tres opciones propuestas para el trazado	183
Anexo n°10 Galibo normal en vía recta trocha 1.676 mm.....	189
Anexo n°11 Tablas de los cruces ferroviarios para las tres alternativas de trazado....	190
Anexo n°12 Planos de los distintos pasos peatonales del proyecto.....	194
Anexo n°13 Ubicación de los cruces ferroviarios.....	198
Anexo n°14 Dimensiones y características perfil riel AREMA.....	201
Anexo n°15 Resumen de cubicación.....	203
Anexo n°16 Identificación de los principales componentes ambientales.....	204
Anexo n°17 Resumen de presupuesto elementos vía.	206
REFERENCIAS	208

Índice de Figuras.

Figura 1.1. Estaciones MetroTren Nos.....	6
Figura 1.2. Mapa MetroTren Nos.	7
Figura 1.3. Estaciones MetroTren Rancagua.....	7
Figura 1.4. Mapa MetroTren Rancagua.	8
Figura 1.5. Estaciones TerraSur.	9
Figura 1.6. Mapa TerraSur.....	9
Figura 1.7. Estaciones Buscarril.	10
Figura 1.8. Mapa Buscarril.	11
Figura 2.1. Norte Grande.	21
Figura 2.2. Norte Chico.	22
Figura 2.3. Zona Central.	23
Figura 2.4. Mapa zona Sur.....	24
Figura 2.5. Mapa zona Austral.	25
Figura 2.6. Orografía norte grande.....	26
Figura 2.7. Orografía norte chico.	26
Figura 2.8. Orografía zona centro.	27
Figura 2.9. Orografía zona sur.	27
Figura 2.10. Orografía norte grande.....	29
Figura 2.11. Evolución carga transportada.....	31
Figura 2.12. Evolución esperada carga transportada.....	32
Figura 2.13. Toneladas transportadas.	33
Figura 2.14. Evolución demanda de pasajeros.	34
Figura 2.15. Evolución esperada demanda de pasajeros.....	35
Figura 4.1. Proyección del estudio de la nueva vía Merval.....	37
Figura 4.2. Zonas de influencia para la población.	37
Figura 4.3. Tiempos aproximados de viaje.....	39
Figura 4.4. Área influencia aeropuerto Santiago de Chile.	41
Figura 4.5. Exportaciones e importaciones Quillota.	43
Figura 4.6. Servicios en Quillota.	44
Figura 4.7. Exportaciones e importaciones La Calera.	45
Figura 4.8. Servicios en La Calera.	46
Figura 4.9. Exportaciones e importaciones La Cruz.....	47

Figura 4.10. Trazado satelital opción 1.	48
Figura 4.11. Ancho de faja.	50
Figura 4.12. Ancho de faja salida túnel San Pedro.	50
Figura 4.13. Ancho de faja cruce autopista los andes.	51
Figura 4.14. Ancho faja en paso a nivel.	52
Figura 4.15. Ancho de faja en sector Quillota.	52
Figura 4.16. Doble vía existente.....	53
Figura 4.17. Trazado satelital opción 2.	54
Figura 4.18. Trazado satelital opción 3.	56
Figura 4.19. Desvío opción 3 antes de llegar a San Pedro.	57
Figura 4.20. Perfiles longitudinales de las tres opciones.....	58
Figura 4.21. Red de las nuevas estaciones.	59
Figura 4.22. Vista satelital estación Limache.	60
Figura 4.23. Estación San Pedro luego del incendio.	61
Figura 4.24. Ubicación satelital estación Limache.....	62
Figura 4.25. Interior estación El Sol.	63
Figura 4.26. Ubicación satelital estación San Pedro.	63
Figura 4.27. Vista satelital distancia antiguas estaciones de Quillota con nueva faja.	64
Figura 4.28. Fotografías de las antiguas estaciones de Quillota.	65
Figura 4.29. Vista satelital ubicación nueva estación Quillota Sur.....	66
Figura 4.30. Ejemplo interior futura estación Quillota Sur.	66
Figura 4.31. Vista satelital ubicación nueva estación Quillota Centro.....	67
Figura 4.32. Paso a nivel estación La Cruz.....	68
Figura 4.33. Vista satelital ubicación nueva estación La Cruz.....	69
Figura 4.34. Imagen actual del interior estación La Calera.....	69
Figura 4.35. Estación de ferrocarriles Rancagua.	70
Figura 4.36. Vista satelital ubicación estación La Calera.	71
Figura 4.37. Vista satelital de la zona del proyecto.	71
Figura 4.38. Vista satelital de la zona del proyecto.	72
Figura 4.39. Tipos de suelos que cruza el trazado del proyecto.....	72
Figura 4.40. Características de suelos del proyecto.....	73
Figura 5.1. Dimensionamiento de capas.	84
Figura 5.2. X'Trapolis Modular	85

Figura 5.3. Tren de mercancías circulando por San Pedro.	86
Figura 5.4. Trafico ficticio diario.	87
Figura 5.5. Dimensionamiento capas de balasto.....	88
Figura 5.6. Espesor mínimo global de balasto y de sub-balasto bajo traviesa.	89
Figura 5.7. Diseño de la faja de la vía, valores en milímetros.	90
Figura 5.8. Ejemplo del paso de ferrocarriles por la vía diseñada.	90
Figura 5.9. Calculo del espesor de las capas por medio de UIC.	91
Figura 5.10. Valores de las capas de la vía por método UIC.	93
Figura 6.1. Tipos de curvas ferroviarias.	94
Figura 6.2. Radios mínimos de la vía.	95
Figura 6.3. Acciones efectivas en peralte.....	96
Figura 6.4. Pendientes máximas en la vía.	102
Figura 8.1. Tipos de señalética del trazado.....	107
Figura 8.2. Emparrillado de las vías.	107
Figura 8.3. Esquema de cruce con valores de L.	109
Figura 8.4. Situación actual de algunos pasos de peatones.....	115
Figura 8.5. Paso de la faja de la vía por zona de viviendas dividiendo la comunidad.....	116
Figura 8.6. Señalética normada	118
Figura 8.7. Señalética automática y barrera automática.	120
Figura 8.8. Muro tipo.....	123
Figura 8.9. Malla Acmafor® de EFE.....	124

Índice de Tablas.

Tabla 1.1. Distribución ferrocarriles en Chile.	5
Tabla 1.2. Características MetroTren Nos.	5
Tabla 1.3. Características MetroTren Rancagua.	7
Tabla 1.4. Características TerraSur.	8
Tabla 1.5. Características Buscarril.	10
Tabla 1.6. Distribución pasajeros ferrocarriles del sur.	12
Tabla 3.1. Características X'Trapolis100 y X'Trapolis Modular.	36
Tabla 4.1. Población comunas.	41
Tabla 4.2. Población ciudades.	42
Tabla 4.3. Ventajas y desventajas opción 1.	49
Tabla 4.4. Ventajas y desventajas opción 2.	55
Tabla 4.5. Ventajas y desventajas opción 3.	57
Tabla 4.6. Estados nuevas estaciones.	59
Tabla 4.7. Resumen tipos de suelo del proyecto.	73
Figura 4.40. Características de suelos del proyecto.	73
Tabla 4.8. Suelos especiales Chile.	75
Tabla 4.9. Suelos tipo Chile.	76
Tabla 4.10. Suelos del proyecto.	76
Tabla 4.12. Clase de la vía según la velocidad.	79
Tabla 4.13. Entrevía de la clase según radio de la curva.	79
Tabla 4.14. Alineación máxima según clase de la vía.	80
Tabla 4.15. Radio mínimo de la vía.	80
Tabla 4.16. Radio de curva de enlace.	80
Tabla 4.17. Nivelación que deben tener las vías.	81
Tabla 4.18. Defecto geométrico máximo.	81
Tabla 4.18. Alabeo máximo.	81
Tabla 4.19. Desniveles máximos.	82
Tabla 4.20. Radio mínimo según peso del riel.	82
Tabla 4.21. Inspecciones de la vía.	82
Tabla 5.1. CBR de los suelos del proyecto.	83
Tabla 5.2. Calidad del suelo del proyecto.	84
Tabla 5.3. Capa de forma a construir según tipo de suelo.	84

Tabla 5.4. Peso total servicio pasajeros.	85
Tabla 5.5. Peso total servicio mercancías.....	86
Tabla 5.6. Tabla resumen pesos de los servicios.....	87
Tabla 5.7. Tabla comparación capas aproximados para ejecutar construcción.....	93
Tabla 6.1. Caracterización de las curvas de los trazados.	95
Tabla 6.2. Cálculo de peraltes de las curvas.....	99
Tabla 6.3. Sobre anchos de la trocha en las curvas.	99
Tabla 6.4. Curvas de transición de los trazados.....	101
Tabla 6.5. Curvas de acordamiento vertical.	103
Tabla 8.1. Categorías momento de circulación.	110
Tabla 8.2. Señalización según categoría de cruce.	111
Tabla 8.3. Cruces catastrados faja vía existente.	112
Tabla 8.4. Cálculo del Momento de Circulación.	113
Tabla 8.6. Señalética necesaria de los cruces.	114
Tabla 10.1. Cubicación de los elementos.....	129
Tabla 11.1. Resumen costo de elementos.....	130
Tabla 11.2. Matriz criterio 1.....	132
Tabla 11.3. Matriz criterio 2.....	133
Tabla 11.4. Matriz criterio 3.....	133
Tabla 11.5. Matriz criterio 4.....	134
Tabla 11.6. Matriz criterio 5.....	134
Tabla 11.7. Matriz criterio 6.....	135
Tabla 11.8. Matriz criterio 7.....	135
Tabla 11.9. Matriz criterio 8.....	136
Tabla 11.10. Matriz comparación de criterios.....	136
Tabla 11.11. Matriz final.....	137
Tabla 11.12. Gráfico de la importancia de las alternativas.	137
Tabla 11.13. Matriz comparación entre criterios sin contar el número 2 económico.....	138
Tabla 11.14. Matriz final.....	138
Tabla 11.15. Porcentajes de cada alternativa en la comparación.....	138
Tabla 11.16. Gráfico de comparación.	139

INTRODUCCIÓN

En el mundo los sistemas de transporte públicos son un servicio vital para la población, movilizand o a millones de personas cada día. La existencia de diversas redes tanto terrestres como subterráneas ayuda a abarcar mayores áreas de interés transformándose en una necesidad de primera línea. En Santiago de Chile por ejemplo, el metro subterráneo transporta 2,4 millones de personas a diario, y esta cifra va en aumento requiriendo nuevas obras de expansión. Algo similar pero a menor magnitud ocurre en el conurbado del Gran Valparaíso, sitio de enfoque del presente trabajo, la existencia de solo una arteria vehicular de interés que cruza por los principales poblados del sector se hace cada vez más insostenible debido a las importantes aglomeraciones que alberga en horarios punta. Para esto, durante las últimas décadas se ha desarrollado un plan de transporte por medio de vías férreas denominado Metro de Valparaíso (MERVAL), el cual ha sido esencial, a tal punto de necesitar nuevas expansiones.

Debido al rápido aumento de la densidad poblacional de las ciudades y la alta tasa de población flotante que se mueve entre el conurbado en los días hábiles, se hace necesario desarrollar un estudio de factibilidad para el metro, a modo de ejemplo, desde el centro de Valparaíso hasta la ciudad de La Calera, en horario normal, un usuario promedio tarda aproximadamente 60 minutos, mientras que en horario punta el mismo trayecto es realizado en el triple de tiempo. Para esto se plantearán tres opciones de trazado, buscando revivir en parte la antigua faja de vía del extinto ferrocarril Valparaíso-Santiago, pero además, evaluando posibles nuevos tramos.

Como objetivo principal de este trabajo se tiene evaluar y comparar las tres alternativas propuestas en base a diversos criterios de influencia para así dar un respaldo a las tomas de decisiones por parte de las autoridades competentes afectando en la menor medida al medioambiente que rodea la zona de interés. Con esto se busca solucionar el problema de congestión de las vías y a la vez generar diversos beneficios para los habitantes de los poblados que cruce el trazado, reduciendo tiempos de viajes, dar facilidades en la accesibilidad al nuevo transporte y mejorando ámbitos socio económicos como las plusvalías o la calidad de vida.

Para esto se trabajará con la normativa ferroviaria existente en Chile utilizada por la Empresa de ferrocarriles del Estado (EFE), las que servirán para los cálculos y comprobaciones de la estructura de la vía y geometría de esta. A su vez se utilizará como apoyo normativa internacional usada por ADIF en España para realizar comparaciones de los resultados. La valoración entre alternativas se regirá por la estimación de un presupuesto y el método multicriterio AHP (proceso de análisis jerárquico) desarrollado en la década de los 70 por el profesor estadounidense Tomas Saaty que fortalece y ayuda a la toma de decisiones en un proyecto determinado.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

Objetivo general.

A partir de una necesidad de los habitantes de las ciudades aledañas de Valparaíso generar un estudio de alternativas para un nuevo trazado que será una extensión de la actual red de metro del conurbado, identificando los elementos influyentes y en base a distintos criterios obtener la mejor solución para su construcción.

Objetivos específicos.

1. Identificar los problemas actuales del ferrocarril en Chile y el olvido que se ha generado por parte de las autoridades como una alternativa de transporte interurbano.
2. Catastrar el estado actual de la vía existente en la zona de interés para el proyecto y crear nuevas alternativas según necesidades de las autoridades.
3. Elaborar un estudio de cada elemento del proyecto ferroviario en base a la normativa vigente en Chile y proyectarlos para las alternativas de trazado, obteniendo así resultados concretos de ellos.
4. Generar una comparación final a través de presupuestos aproximados de los elementos y un estudio multicriterio para la toma de decisión final, de esta forma se da una solución que ayuda a resolver el problema inicial.

Alcance.

El trabajo se centra en el proyecto de extensión del metro de Valparaíso el cual termina su trayecto en la ciudad de Limache en donde los usuarios deben hacer trasbordos a servicios de autobuses para continuar su viaje. Se busca proyectar una vía de 25 km aproximados hasta la ciudad de La Calera entre tres alternativas buscando la más eficiente, reduciendo tiempos de viaje, aumentar condiciones socioeconómicas y sin afectar en gran medida al medio ambiente.

Metodología.

La elaboración del trabajo sigue los siguientes puntos:

- Recopilación de información sobre la historia del ferrocarril en Chile y las principales características geográficas, económicas y políticas que hacen posible la existencia o no de nuevos proyectos.
- Estudio del actual estado del Metro de Valparaíso y de la zona de ubicación del proyecto dando contexto a este.
- Proyección de las alternativas de trazado indicando sus ventajas y desventajas ante la actual faja de vía existente.
- Calculo de la estructura de la vía de las alternativas y sus respectivos elementos que la constituyen.
- Análisis de los resultados elaborando planes de toma de decisiones.

- Conclusiones.

ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO.

CAPITULO 1: RED FERROVIARIA DE CHILE

Contexto sobre la historia de este medio de transporte en Chile, desde sus inicios hasta la actualidad, indicando las principales empresas presentes en el país y los trayectos más importantes.

CAPITULO 2: FACTORES QUE HAN HECHO POSIBLE EL OLVIDO FERROVIARIO DEL PAÍS

Análisis del problema actual que se enfrenta Chile en referencia a la poca importancia que se le da al ferrocarril como medio de transporte explicando los motivos de este.

CAPITULO 3: METRO DE VALPARAÍSO

Datos e información de la actual red de metro que opera en la zona.

CAPITULO 4: PROYECTO Merval LIMACHE – LA CALERA

En base a la información obtenida se crearán las diversas alternativas de trazado que mejor se adapten a la zona, analizando sus propiedades, ventajas y desventajas.

CAPITULO 5: CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA DE LA VÍA

Obtención de los principales parámetros de la estructura de la faja de vía de cada una de las alternativas.

CAPITULO 6: TRAZADO GEOMÉTRICO DE LAS VÍAS

En base a la normativa rigente en Chile para ferrocarriles se analiza la geometría de cada una de las alternativas propuestas.

CAPITULO 7: ESTRUCTURAS

Análisis de las principales estructuras existentes en la faja de la vía, con sus respectivos trabajos a realizar para reparar o volver a construir.

CAPITULO 8: PASOS A NIVEL

Análisis de la ubicación de los pasos que tendrá cada alternativa de trazado en su faja de vía con el tránsito vehicular y peatonal.

CAPITULO 9: CONDICIONES AMBIENTALES

Estudio de las principales características ambientales influenciadas a lo largo del proyecto.

CAPITULO 10: CUBICACIÓN

Calculo del número de los principales elementos que influyen en cada una de las alternativas del trazado.

CAPITULO 11: CRITERIOS DE TOMA DE DESICIÓN

Elaboración de presupuesto de los elementos de cada alternativa y comparación entre ellos usando estos datos, a la vez aplicando método multicriterio AHP.

1. RED FERROVIARIA DE CHILE.

En el presente capítulo se dará un breve repaso a las principales compañías de ferrocarriles de Chile, sirviendo de contexto para conocer de mejor manera su influencia e importancia dentro del país y como afecta al proyecto de la extensión del Merval.

1.1. Empresa de ferrocarriles del estado (EFE).

La historia de la empresa comienza en el siglo XIX, cuando ya realizaban sus recorridos algunos servicios, como el primer ferrocarril de Chile en el año 1851 que unía las ciudades de Caldera y Copiapó en la región de Atacama, el servicio de Valparaíso y Viña del mar del año 1855 y el ferrocarril de Valparaíso a Santiago inaugurado en 1863. EFE se creó el 4 de Enero de 1884 integrando parte de estos trayectos más el Ferrocarril del Sur (Santiago-Curicó) y el extinto trayecto Talcahuano-Curicó, transformándola hasta el día de hoy en la empresa estatal más antigua de Chile, algo no menor dado la poca importancia logística que se le tiene en cuenta hoy en día.

Hasta la mitad del siglo XX, EFE contaba con una autosuficiencia de comparación mundial, poseía servicios propios como maestranzas, imprentas, talleres mecánicos de reparación, camiones entre otros, por lo cual se autoabastecía de insumos sin necesidad de requerir a terceros. A su vez poseía un capital de trabajo y mano de obra importante en la época, más de treinta mil empleados a lo largo del país y cerca de trescientos ingenieros que cumplían funciones de operación y estudios de inversión.

Dada la tendencia mundial en la década de los 50 de comenzar a masificar el uso del automóvil y las carreteras, Chile se vio afecto a la pérdida constante de demanda del uso del ferrocarril. Bajo este fenómeno el Estado de Chile planeó un plan de modernización y reestructuración para hacer frente al fenómeno de decadencia y tratar de revertir las pérdidas. Si bien se realizó un esfuerzo enorme acompañado de nuevos estudios y gasto de dinero, no se pudo hacer frente y las estructuras carreteras se volvieron estructuralmente insuperables.

En la década de los 70 y antes de la dictadura militar (1973-1990) se realizaron las mayores inversiones en material rodante, siendo a mediados de esta década introducida la política de autofinanciamiento en la empresa, trayendo cambios que incluían libertad tarifaria y eliminación de todo aporte fiscal, provocando una crisis de financiamiento, por lo que se eliminaron servicios y trayectos no rentables y se vendieron activos, ocasionando finalmente una deuda bancaria que la empresa arrastra hasta la actualidad.

Bajo estas consignas de crisis dentro de la empresa, el personal se redujo casi en un cincuenta por ciento, llegando a los dieciséis mil empleados al final de la década de los 70. Esto no cambió en la década siguiente, continuando con la tendencia de recorte de personal se llegó a los siete mil empleados y así hasta el fin de la dictadura y comienzo del periodo de transición política nacional.

Fue ya en la década de los 90 cuando se produjeron los cambios más importantes con el fin de revivir a la empresa y volver a tomar la importancia que se tenía en el siglo pasado en temas de transporte para la población. Es así como se llevó a cabo un plan de recuperación que se destacó por, en primer lugar modificar la ley EFE, por lo cual se pudo concesionar algunos servicios de transporte y así crear empresas filiales; se realizó una compensación por la falta de equidad en el tratamiento del ferrocarril ante las carreteras; se efectuaron importantes inversiones de material rodante y mejoramiento de las vías; y la creación de la filial de transporte de carga (FEPASA) que posteriormente pasaría a manos de privados.

Si bien se realizaron grandes modificaciones, la deuda seguía creciendo, ya que no se incluyeron aportes para financiar los déficits. Con la llegada de las concesiones de las carreteras a nivel nacional se eliminó la compensación por falta de equidad del ferrocarril ante las carreteras disminuyendo el aporte que recibía.

La restructuración que perdura hasta el día de hoy de mano de las filiales más importantes de EFE ocurrió ya a comienzos del siglo XXI, en la primera década se iniciaron los planes de inversiones de ferrocarriles en diversas partes del país, no solo de trayectos cortos, también la reposición del servicio de pasajeros hacia el sur, muy importante para la población de la zona central del país. Entre estos proyectos destaca la llegada del tren a Puerto Montt, tren urbano para el conurbado del Gran Concepción y el tren urbano para el Gran Valparaíso, en este último con grandes obras de ingeniería como el soterramiento de 4,5 kilómetros de vía por el centro de Viña del Mar.

Mientras que el tren urbano del Gran Concepción (BioTren) fue ejecutando con algunas dificultades y de manera paulatina no logrando así obtener la demanda prevista, el servicio del Gran Valparaíso (Merval) fue totalmente exitoso desde su inicio, uniendo las ciudades de Valparaíso y Limache, concretándose todas sus obras en los plazos pedidos, el presupuesto también se ajustó correctamente y al día de hoy su demanda es la adecuada, por lo cual se le considera exitoso. Lamentablemente el tren al Sur no corrió la misma suerte, fracasando de manera importante marcando un desplome de los ferrocarriles a nivel país de grandes trayectos lo que se refleja actualmente. [1]

1.2. Ferronor.

Ferronor es la encargada del transporte de cargas en la zona norte del país. Esta empresa chilena se encarga de dar servicios a las industrias asegurándose de provocar menores impactos al medio ambiente al transportar las cargas. Su red de trabajo se extiende desde la ciudad de Iquique en la región de Tarapacá hasta la ciudad de la Calera en la región de Valparaíso, abarcando a varios ramales transversales que cruzan. La distancia total cubierta es de 1400 kilómetros entre las ciudades y en total la red férrea es de 2300 kilómetros compuesta por una línea principal de trocha métrica. Esta línea conecta los principales puertos del norte del país, además de tener conexión con las redes ferroviarias de países vecinos como Argentina, Bolivia y Brasil.

La historia de la empresa se remonta al uso de la red norte de ferrocarriles, cuando el Estado Chileno adquirió en 1911 el camino de ferrocarril de Copiapó, EFE administro esta red norte junto a otras líneas como la de Coquimbo y Carrizal hasta el año 1982, luego de varios cambios administrativos la red pasó a llamarse Ferrocarril Regional del Norte de Chile. Así en el año 1990 EFE hace efectivo el traspaso de la Empresa a la Corporación de Fomento de la Producción transformando a la empresa en sociedad anónima y adquiriendo el nombre de Ferronor S.A. En el año 1997 el Estado de Chile licita y vende al sector privado la red norte la cual es adquirida por la empresa norteamericana RailAmerica. [2]

1.3. Fepasa.

Es la empresa Ferrocarril del Pacífico S.A. encargada del transporte ferroviario de cargas en la zona centro y sur de Chile constituida el 15 de Septiembre de 1993 cuando EFE decide dividir los servicios de transporte de pasajeros y de carga. En el año 1994 a través de licitación, la empresa paso a manos del sector privado en un 51%. En el año 2003 en proceso de oferta pública la empresa paso a manos de Puerto Ventanas S.A. uno de los principales conglomerados empresariales de Chile. Con más de 50 años de experiencia en el rubro destaca su participación en el mercado.

Posee más de 1700 kilómetros de vía férrea en la zona centro sur, desde la ciudad de La Calera hasta Puerto Montt incluyendo los ramales transversales y principales puertos, abarcando 1000 kilómetros del país a través de siete regiones.

Entre sus principales productos a transportar están las cargas peligrosas, celulosa, productos agrícolas, cemento, minerales, químicos y combustibles. Con una flota de 68 locomotoras y 1887 carros. En el año 2018 alcanzó una cifra record de toneladas movilizadas, destacando el servicio al sector minero con 2219587 toneladas, el 29% del total de sus transportes y 850000 toneladas en transporte de forestal. [3]

1.4. Transap.

Operador de transporte de carga de EFE creada luego de la división y adjudicación en licitación del sistema de transportes de carga. Transporte Ferroviario Andrés Pirazzoli S.A. (Transap) se encarga mayormente del transporte de ácido sulfúrico desde el año 2001 de la división minera El Teniente en la ciudad de Rancagua, con destino al puerto de San Antonio en la zona centro del país, también hace transporte de celulosa para empresas papeleras.

La empresa cuenta con aproximadamente ocho locomotoras repartidas en los diversos trayectos en los que presta servicio y transporta el 35% de las mercancías de EFE. [4]

1.5. Reimpulso del sistema de ferrocarril en Chile.

Con el retorno de la democracia en Chile en el año 1990 vino el aumento de la densidad de población nacional lo que llevó a resurgir ideas sobre las necesidades de tener un sistema de transporte público interurbano a nivel nacional para el transporte ferroviario y

así aumentar las alternativas existentes, se comenzó un proceso de financiación para rehabilitar vías en conurbados y comprar nuevos vehículos, también el rescate de tramos turísticos históricos.

Durante el tercer gobierno de vuelta a la democracia, del ex Presidente Ricardo Lagos entre los años 2000 y 2006, se entregó un gran apoyo, con el desarrolló del llamado Plan Trienal con el que se pretendía reestablecer los servicios de ferrocarriles entre la ciudad de Santiago y Puerto Montt y la modernización del Metro Regional de Valparaíso, proyectos que fueron suspendidos en la década de los noventa. Además de este reimpulso en el año 2000, como tema a tratar y pensando en invertir en el tren en Chile, en 2017 fue aprobado el plan trienal de EFE, el cual le entrega fondos para el desarrollo de proyectos en Lampa, Melipilla y La Calera, junto con fondos para la mantención de rutas y las construcciones del nuevo Puente Bío-Bío, sucesor del puente ferroviario Biobío en Concepción. [5]

Con estos nuevos proyectos e ideas para reimpulsar el transporte ferroviario se fue generando en el país una nueva red de conexión permitiendo a más usuarios acceder con mayor facilidad a los medios de transporte y mejorando sistemáticamente su calidad de vida. Pero esta nueva vida al ferrocarril chileno aún no se concreta del todo, la red sigue siendo algo deficiente y queda mucho por mejorar para esperar tener un servicio a nivel de las grandes potencias mundiales.

1.6. Vías existentes en Chile.

Si bien en entre los siglos XIX y XX en Chile el ferrocarril fue tomado como un símbolo de progreso, uniendo localidades económicamente estratégicas, hoy en día no se puede opinar igual, debido a que la red está muy desvalorada. Por otro lado han surgido nuevos proyectos que se mantienen en pie y ayudan a la comunidad en el desarrollo diario para movilizarse y que a día de hoy son indispensables. Está claro que la red ferroviaria en Chile es grande, pero también hay que hacer hincapié que muchos trayectos están abandonados, sobre todo en muchos ramales transversales en los cuales solo quedan decadentes estaciones a medio sobrevivir y los materiales de la vía ya han sido saqueados. “Los amigos del tren” han recopilado información acerca del estado actual de las redes, en ella se puede apreciar un mapa (anexo n°7) que deja en evidencia que aproximadamente el 80% de los ramales transversales están en desuso y con la vía levantada. La red que cruza a Chile de norte a Sur se ocupa y existe, pero no con servicios constantes y con una continuidad que no existe.

En cuanto a los servicios existentes hoy en día en Chile podemos destacar por parte de EFE un total de nueve que funcionan a diario ayudando a la población en sus labores del día a día, prestando servicios que, si llegan a cancelarse causarían un caos en temas de transporte. Así EFE tiene separado los servicios por tres zonas.

Zona	Servicios
Central	- Alameda – Nos - Alameda – San Fernando - Alameda – Rancagua - Alameda – Chillán - Talca – Constitución
Merval	- Metro Regional de Valparaíso
Fesur	- BioTrén - Victoria – Temuco - Corto Laja

Tabla 1.1. Distribución ferrocarriles en Chile. [1]

1.6.1. Tren Central.

Es una de las tres filiales del grupo EFE siendo sociedad anónima, se encarga del transporte de pasajeros entre las zonas centro y sur de Chile además de la gestión de los ramales transversales de Los Andes-Río Blanco, Santiago-San Antonio, Talca-Constitución y Paine-Talagante. Los servicios que da la empresa en cuanto a pasajeros son para las cercanías “MetroTren Nos”, “MetroTren Rancagua” y “Talca-Constitución”. Mientras que para servicio de trenes de largo recorrido están los trayectos “Santiago-Chillán” y “Santiago-Temuco”.

La empresa Tren Central S.A. se constituyó como sociedad anónima el día 29 de septiembre de 1995 para encargarse del servicio de transporte de pasajeros en la zona central. Cuando llegó la reestructuración del Grupo EFE en el año 2008 se comienza con la operación a través de Trenes Metropolitanos S.A. encargado de MetroTren servicio Santiago-San Fernando con más de 95 servicios a diario y en el año 2012 se integra los servicios de larga distancia a Chillán y Temuco. En los últimos años han incorporado otros servicios de la índole turística y estival. [6]

1.6.2. MetroTren Nos.

Las características principales del servicio son:

Datos	Valores
Longitud	20,3 Km
Número de estaciones	10
Número pasajeros día laboral	33.558 pasajeros
Velocidad máxima	120 Km/h
Velocidad media	90 Km/h
Trocha	1676 mm
Número de trenes	12 Xtrapolis Modular

Tabla 1.2. Características MetroTren Nos. [30]

Este es un servicio de cercanías suburbano que une la Estación Central de Santiago con el sector de Nos distante a unos 20 km en la comuna de San Bernardo. La Estación Central se encuentra en el corazón de la ciudad de Santiago por lo que la accesibilidad

para los pasajeros al servicio se facilita gracias a la conexión con el sistema Metro de Santiago que recorre gran parte de la ciudad. Por otro lado la comuna de San Bernardo es una de las comunas periféricas de la capital chilena y una de las más grandes y pobladas de esta. El recorrido total se completa en 25 minutos a través de 10 estaciones repartidas en cuatro comunas. [6]



Figura 1.1. Estaciones MetroTren Nos. [30]

El servicio fue inaugurado el 17 de Marzo de 2017 funcionando entre las 06:00 hrs y las 23:00 hrs, posee una flota de 12 trenes Xtrapolis Modulares (similares a los de Merval) formados por dos coches cada uno con una capacidad de 510 pasajeros, 84 sentados y 426 de pie. Solo en el año 2017 este servicio transportó un total de 8.135.274 pasajeros.

En este servicio se utiliza tecnología nunca antes usada en Chile, debido a que los Xtrapolis Modular ocupan un sistema de automatismo en toda su operación con tecnología ERTMS (Automatic Tren Protection, ATP) que ayuda a reforzar la seguridad del maquinista limitando los excesos de velocidad y franqueo de señales. También se aplica la tecnología TMS (Transportation Management System) la cual es capaz de generar por sí mismo la ruta que recorrerá el tren manteniendo intervalos constantes del servicio, con esto los controladores de tráfico solo realizan supervisión del sistema.



Figura 1.2. Mapa MetroTren Nos. [33]

1.6.3. MetroTren Rancagua.

Las características principales del servicio son:

Datos	Valores
Longitud	82 Km
Número de estaciones	10
Número pasajeros anual	5.000.000 aproximados
Velocidad máxima	120 Km/h
Velocidad media	70 Km/h
Trocha	1676 mm
Trenes	4 Xtrapolis 8 UT440 1 UT440MC

Tabla 1.3. Características MetroTren Rancagua. [30]

Es un servicio de cercanías reinaugurado el 24 de enero de 2017, que conecta la ciudad de Santiago con Rancagua distantes a unos 87 kilómetros, partiendo desde la Estación Central de Santiago en pleno centro de la ciudad hasta la Estación central de Rancagua en 50 minutos de viaje. Posee una frecuencia de una hora entre cada tren en horario normal, mientras que en horario punta la frecuencia es cada 30 minutos. Atraviesa diez estaciones repartidas en siete comunas. Este servicio es vital para unir varias localidades cercanas a Santiago ciudad donde gran parte de la población cercana realiza su día laboral, gracias a este MetroTren los tiempos de viaje para los usuarios se reducen en una hora y ayuda a descongestionar la entrada sur de la zona Metropolitana. Solo en el año 2017 transportó un total de 692.729 pasajeros. [6]



Figura 1.3. Estaciones MetroTren Rancagua. [30]

Para llevar a cabo un adecuado servicio se modernizaron las estaciones por donde pasaría el tren, mejorando la accesibilidad y ubicación estratégica de estas. La flota de trenes para este servicio consta de 4 Xtrapolis, si bien este modelo está diseñado para operar en cortas distancias (como en Merval) ha respondido de buena forma. También circulan 8 unidades UT440 construidas por CAF en España, si bien son modelos más

antiguos se han re acondicionado, poseen doble capacidad de pasajeros que los Xtrapolis.



Figura 1.4. Mapa MetroTren Rancagua. [33]

1.6.4. TerraSur.

Las características principales del servicio son:

Datos	Valores
Longitud	398 Km
Número de estaciones	12
Número pasajeros día laboral	223.353 pasajeros
Velocidad máxima	150 Km/h
Velocidad media	82 Km/h
Trocha	1676 mm
Número de trenes	10 UTS-444 de 3 coches

Tabla 1.4. Características TerraSur. [30]

Es un servicio de larga distancias controlado por Tren Central S.A. desde el 1 de enero de 2012. Une las ciudades de Santiago y Chillán, desde Santiago parte en la Estación Central teniendo conexión con el metro de la capital hasta la Estación central de Chillán atravesando cuatro regiones del país. El recorrido se realiza en un total de cinco horas a través de 12 estaciones. Los pasajeros que eligen este medio tratan de evitar las altas congestiones que se producen en las autopistas, sobre todo en temporada de verano o fines de semana, ya que es común que la vía carretera colapse aumentando al triple los tiempos de viaje. [6]



Figura 1.5. Estaciones TerraSur. [30]

Para este servicio la mayoría de sus estaciones fueron remodeladas. Actualmente la recorren 10 automotores UTS y si la demanda es muy alta se usan trenes compuestos por locomotoras E-269 (ex-RENFE) con coches Serie 10000. En el año 2010 y por el terremoto magnitud 8.8 que azotó al país se debieron suspender los servicios de pasajeros y de cargas que recorrían la línea por daños en diversos puntos.



Figura 1.6. Mapa TerraSur. [33]

1.6.5. Buscarril Ramal Talca-Constitución.

Las características principales del servicio son:

Datos	Valores
Longitud	88 Km
Número de estaciones	11
Número pasajeros día laboral	44.860 pasajeros
Velocidad máxima	45 Km/h
Velocidad media	30 Km/h
Trocha	1000 mm
Número de trenes	4 ADM

Tabla 1.5. Características Buscarril. [30]

Se trata de un ramal no electrificado de ferrocarriles ubicado en la Región del Maule, parte desde la ciudad de Talca en la depresión intermedia hasta la ciudad de Constitución en la costa chilena, recorre de Este a Oeste construido en trocha métrica (1000mm). Tiene como objetivo mejorar la accesibilidad de los habitantes de las localidades y poblados intermedios entre estas dos ciudades, a las cuales el acceso a transporte no es tan masivo, debido a las características geográficas de la zona, que discurre entre cerros y bosques, desde el valle al océano, este es el único medio de transporte para las comunidades locales, por lo que constituye un servicio de primera necesidad. Solo los pasajeros residentes en las localidades de la ruta Buscarril (debidamente identificados con su tarjeta Residente) tienen cupos asegurados, otros pasajeros podrán viajar dependiendo de la disponibilidad de cupos accediendo por orden de llegada, siempre respetando la prioridad que poseen los pasajeros Residentes. [6]



Figura 1.7. Estaciones Buscarril. [30]

Los grandes incendios ocurridos en la zona sur de Chile entre enero y febrero de 2017 dañaron gravemente las vías del ramal Talca-Constitución. La zona González Bastías-Constitución concentró la mayor cantidad de daños, con 30 km de durmientes afectados, por lo cual la vía estuvo fuera de servicio.

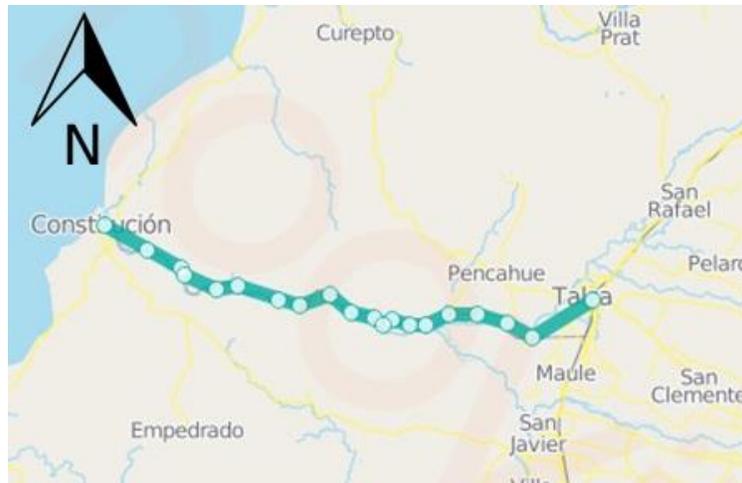


Figura 1.8. Mapa Buscarril. [33]

1.6.6. Ferrocarriles del Sur.

Esta filial de EFE se encarga de los servicios de pasajeros BioTrén, Corto Laja y Regional Victoria-Temuco, los dos primeros de la Región del Biobío y el último en la Región de La Araucanía, y de la administración de la red ferroviaria entre las regiones de Ñuble y Los Lagos. Fue creada el 29 de septiembre de 1995 en primera instancia bajo el nombre de *Ferrocarriles Suburbanos S.A.* En el 2008 y tras la reestructuración que se hizo pasó a llamarse Ferrocarriles Suburbanos de Concepción S.A. (FESUB S.A.), ya en el año 2013 ocurrió la última reestructuración hasta la fecha teniendo a cargo todos los servicios e infraestructura al sur de Chillán, y en 2015 la empresa cambia su nombre a *Ferrocarriles del Sur S.A. (FESUR S.A.)*, nombre que lleva hasta hoy.

La idea de dotar al Gran Concepción de un servicio de ferrocarriles partió en la década de 1990 bajo un plan de transporte efectuado por EFE. Desde 1999 se hicieron trabajos de conexión de pequeños tramos de los poblados de la zona y en el año 2000 nace el Sistema Integrado de Transporte Biovías en donde se modernizó gran parte del centro de la ciudad de Concepción. En 2005, se inaugura el nuevo tramo Concepción-Lomas Coloradas con nuevos trenes, y así el Gran Concepción comienza a contar con un servicio moderno de transporte ferroviario de pasajeros BioTrén.

Dependiendo del trayecto el sistema funciona con servicios dedicado a horarios punta y de frecuencia de horas determinadas. Los servicios de Fesur son los siguientes:

- **BioTrén:** servicio suburbano que opera en 7 comunas del Gran Concepción, en la Región del Biobío. Su recorrido tiene dos tramos: entre Concepción y Coronel, y otro entre Mercado y Hualqui. En total se extiende por 48 kilómetros, en los cuales se emplazan 25 estaciones.
- **Corto Laja:** servicio urbano-rural que opera entre Talcahuano, Hualpén, Concepción, Chiguayante, Hualqui, San Rosendo y Laja. Su recorrido se extiende por 88 kilómetros, en los cuales se emplazan 22 estaciones.

- **Regional Victoria-Temuco:** servicio urbano – rural que opera entre las comunas de Victoria, Lautaro y Temuco. Su recorrido se extiende por 65 kilómetros, en los cuales se emplazan 9 estaciones.

El transporte de pasajeros durante los primeros años de la década de 2010 fue:

	2007	2008	2009	2010	2011	2012
BioTren	1.701.361	1.224.012	1.200.023	859.866	1.230.127	1.504.383
Corto Laja	386.941	388.416	444.308	353.047	460.480	504.409
Victoria-Temuco	153.564	190.560	249.600	138.631	314.656	448.681
TOTAL	2.241.872	1.912.988	1.993.931	1.351.544	2.005.263	2.457.473

Tabla 1.6. Distribución pasajeros ferrocarriles del sur. [6]

1.6.6.1. BioTrén.

En su inicio contaba con tan solo tres estaciones en el año 1999 y por sus vías circulaban cuatro automotores reacondicionados de serie AEL con origen Japonés. Para el año 2001 se construyeron nuevos paraderos a lo largo de la red y el taller ferroviario en la localidad de Hualqui. Con el paso de los años se hicieron diversos estudios para plantear posibles extensiones materializándose en la construcción de la Estación Plaza de Ancla. El 5 de enero de 2004 se presentó Biovías, el Sistema de Transporte Integrado del Gran Concepción, que incluyó la renovación total del BioTrén. Un año más tarde a mediados de 2005 se hizo un recambio de los equipos de las vías para recibir automotores UT440 de origen español, para esto se reformaron tres UT440 usados en MetroTren (servicio zona centro) obteniendo un total de siete automotores UT440MC (modelo Concepción).

Desde el año 2013 se hacen constantes proyectos con el fin de extender aún más la red logrando por fin la conexión con el poblado de Coronel y llegando a 19 mil pasajeros diarios en el año 2017. El 26 de octubre de 2018 se anuncia la adquisición de 13 nuevos ferrocarriles para los servicios del sur, 10 de ellos serán destinados para BioTrén. Se estima que los nuevos vehículos llegarán a mediados del año 2020 a Chile. [6]

1.6.6.2. Corto Laja.

El servicio comenzó en el año 1990 utilizando coches de segunda mano y económicos remolcados por locomotoras, en primera instancia se utilizó una E17 italiana y luego locomotoras de Estados Unidos D7100. Debido al número de coches, se le llamaba el *Corto*. En el año 1999 el servicio se extiende hasta la ciudad de Talcahuano dado el proyecto del BioTren. Luego de la inauguración del servicio TerraSur Temuco, los coches de clase turista del antiguo Rápido de la Frontera, fueron traspasados al servicio. A partir del año 2012 se cambian el material rodante del trayecto, los automotores argentinos AES y AEL-37 son dados de baja y reemplazados por unidades UT440 que fueron usadas con anterioridad en MetroTren. [6]

1.6.6.3. Regional Victoria-Temuco.

Servicio inaugurado en el año 2005, siendo en un principio recorrido por automotores diésel con dos frecuencias diarias por sentido, luego se agregó un tercer recorrido dado la demanda que tenía. En el año 2006 se reorganizó el servicio por problemas administrativos de ventas de boletos y a fines de este mismo año se inaugura el taller ferroviario en la ciudad de Victoria. El 1 de mayo de 2008, EFE traspasa la operación del servicio Regional Victoria-Temuco a su filial Ferrocarriles Suburbanos de Concepción S.A. El servicio presentó diversas fallas en los motores y equipos de los automotores debido a la falta de repuestos las operaciones de las máquinas se complicaron, por esta razón, solo se encuentran operando los TLD-503 y TLD-504. [6]

1.6.7. Redes secundarias y su estado actual.

En el capítulo anterior se nombraron las redes más importantes en materia de pasajeros que actualmente están en uso en el país, a continuación se presentarán otras redes secundarias y sobre todo las vías que existieron y pueden tener un potencial de volver a funcionar en los próximos años, también redes levantadas en donde solo quedan vestigios de lo que fue alguna vez el paso de los ferrocarriles por la zona.

En el anexo n°7 se muestra el estado de la red ferroviaria Chilena hasta la fecha.

Dada la geografía de Chile se puede decir que las líneas férreas se diferenciaban en un gran troncal que cruzaba de norte a sur el país y en diversos ramales transversales que normalmente iban hacia ciudades costeras o puertos por la zona oeste y a ciudades mineras por la zona este. Hoy en día muchos de estos ramales son solo un recuerdo para el país y un paso turístico para las personas que quieran recorrerlo observando los restos que quedan de ellos.

A continuación se presentará una lista de los ramales más importantes que existieron en el país y que ya están en desuso, pudiendo tener un potencial para reconstruirlos.

1.6.7.1. Ferrocarril Tacna-Arica.

Este ferrocarril es un servicio propiedad del estado de Perú que brinda un servicio internacional uniendo las ciudades de Tacna en Perú y Arica en Chile. Fue inaugurado el 1 de enero de 1856, construido por la empresa inglesa The Arica & Tacna Railway Co. Siendo suspendido el 12 de marzo de 2012 pero reabierto el 28 de mayo de 2016. En la actualidad es el único servicio internacional que posee Perú y el más antiguo en servicio de este país. [7]

Durante la Guerra del Pacífico el ejército chileno ocupó Tacna y Arica haciendo uso de este servicio pero con el Tratado de Lima de 1929 Tacna volvió a ser peruana y la sección del ferrocarril que estaba del lado chileno también quedó como propiedad peruana con soberanía chilena. En 1955, al nacionalizarse el ferrocarril quedó bajo la absoluta propiedad del Estado peruano.

Desde el 27 de mayo de 2016 el tren oficializó el reinicio de sus funciones. El Ferrocarril consta de un auto vagón restaurado y modernizado que puede transportar hasta 48 pasajeros por viaje, atendiendo dos itinerarios diarios de ida y vuelta que parten de la estación de Tacna en horas de la mañana y de la tarde, con la finalidad de atender la demanda turística entre ambas ciudades.

1.6.7.2. Ramal La Serena-Rivadavia.

El Ramal La Serena-Rivadavia (conocido como Tren Elquino) fue un ferrocarril ubicado en la Región de Coquimbo, provincia del Elqui, conectando todo el valle entre la ciudad costera de La Serena y Rivadavia en una longitud de 93,3 kilómetros. Funcionó hasta Junio de 1975 cuando fue clausurado. [8]

Fue construido por la Sociedad Ferrocarril del Elqui en tres tramos, inaugurados en 1884, 1885 y 1886. En el año 1888 la vía férrea fue destruido producto de un desborde del río Elqui que la acompaña en su recorrido provocando una crisis en la Sociedad que termino por vender el ramal al Estado Chileno. De esta manera, el ramal La Serena-Rivadavia era incluido en la Red Norte de Ferrocarriles, permitiendo a los pasajeros provenientes del sur combinar con el servicio hacia Rivadavia.

El 11 de marzo de 1971 ocurrió el descarrilamiento de un tren que transportaba a escolares. Una locomotora diésel con cinco carros de pasajeros, que se encontraban estacionados en la Estación Vicuña, comenzaron a desplazarse vía abajo, debido a una falla en los frenos de aire, y a la altura de la Estación Gualliguaica el tren se salió de las vías, cayendo a un precipicio a un costado del río Elqui. En el accidente hubo 15 muertos y 74 heridos. En junio de 1975 fueron suspendidos los servicios de transporte del ramal La Serena-Rivadavia, sumándose al cierre de la vía Longitudinal Norte ocurrida tres meses antes. En 1986, las estaciones y las vías fueron vendidas a Ferronor.

1.6.7.3. Ferrocarril Trasandino Los Andes-Mendoza.

El ferrocarril Trasandino fue un ferrocarril que unía la ciudad chilena de Los Andes con Mendoza en Argentina cruzando la Cordillera de los Andes. Fue inaugurado el 5 de abril de 1910 y clausurado en 1984, hoy en días se encuentra en ruinas.

El trazado comenzaba en Los Andes, Región de Valparaíso y seguía un recorrido en dirección este junto al río Aconcagua abriéndose paso por la cordillera, alcanzó una elevación de 3176 metros. La construcción del lado chileno era muy empinada y muy accidentada mientras que del lado argentino se abría paso por planicies más constantes y con menor pendiente. [9]

Dado que se trataba de un terreno accidentado y difícil se debió utilizar tecnología de punta para la época, se instalaron cremalleras tipo Abt en los sectores en los cuales la pendiente promedio era excesiva, ya que no había otra manera para que las locomotoras salvaran la pendiente durante las subidas o en los frenados, debido a que constantemente los rieles estaban cubiertos de hielo. Por ello, en gran parte del trazado de montaña se usaron traviesas de acero para resistir la tracción de las locomotoras sobre la cremallera.

Otra característica es que se debieron construir muchos túneles y cobertizos para evitar las avalanchas de nieve y piedras que causarían cortes y retrasos en el servicio. La trocha de la vía era de 1000mm, esto permitía hacer curvas más cerradas que ayudaban en los tramos montañosos pero obligaba a los pasajeros y las cargas de los ferrocarriles a realizar trasbordo en la ciudad de Los Andes para continuar por las vías del Ferrocarril Central que tienen una trocha de 1,676 m.

Actualmente existe un proyecto impulsado por la empresa argentina Tecnicagua, que propone reconstruir el Trasandino y que cuenta con el apoyo de los gobiernos chileno y argentino, dado que el ferrocarril podría contribuir a descongestionar la ruta vehicular y tendría una mayor disponibilidad a lo largo del año.

1.6.7.4. Ramal Santiago-Cartagena.

Esta vía es propiedad de la Empresa de Ferrocarriles del Estado construida por secciones, partiendo en el año 1888 y terminada en 1921. Conecta la capital Santiago con el balneario costero de Cartagena ubicada en la Región de Valparaíso, en un trayecto de 118 kilómetros aproximados. Era considerado un servicio importante para los usuarios que viven en la Región Metropolitana pero retirados del centro de Santiago, ciudades como Talagante, Melipilla y El Monte veían en este ferrocarril un medio de transporte importante para acceder a servicios de la capital. En 1987 se suprimieron todos los servicios de transporte turístico en la línea. En 1997 la red servía solamente para el transporte de carga y no de pasajeros. [10]

En la actualidad solo funciona para el transporte de cargas pero existe un proyecto de análisis que estudia la creación de un tren suburbano que vuelva a conectar estas ciudades.

1.6.7.5. Ramal Melipilla-Ibacache.

Fue una vía férrea de propiedad privada construida por tramos en el año 1915, se inauguró en 1922 y entregaba conexión entre la ciudad de Melipilla e Ibacache, ambos en la Región Metropolitana de Chile. Desde 1922 hasta al menos 1936 operó un servicio de pasajeros, que movió durante la década de 1920 aproximadamente a 22000 personas al año, que conectaba las bodegas de la hacienda Ibacache. Comúnmente el servicio transportaba a los militares de la zona, en el año 1940 cesó sus servicios debido a que no era rentable frente a la competencia que ejercía la carretera del sector. [11]

Su trocha era de 750mm y por sus vías circulaban tres locomotoras a vapor y tres automotores de motor a gasolina. El servicio era operado por diez personas contratadas y por el tramo de 28 kilómetros existían tres puentes, cuatro depósitos de agua y uno de carbón a lo largo de las vías; además del taller de las locomotoras que se hallaba en Melipilla.

1.6.7.6. Ramal Paine-Talagante.

Es considerado como un sub-ramal que conecta la línea de la red sur con el Ramal Santiago-Cartagena. Unía las localidades de Paine y Talagante en la Región Metropolitana de Chile con trocha 1676 mm y una longitud de 25 kilómetros aproximados. Fue inaugurado en el año 1923, y en 1981, Ferrocarriles del Estado decidió electrificar el ramal completo entre Talagante y Paine, como parte del plan de electrificación del Ferrocarril entre Santiago y Cartagena, pero dicha infraestructura era escasamente utilizada debido a la dependencia de subestaciones de la línea central. En la década de 1990 se produjo una baja en el tráfico de cargas a causa de que se depuso el transporte de mineral de cobre por la zona, esta baja provocó el desmantelamiento del sistema eléctrico instalado apenas unos años antes. El sub-ramal revivió de la mano de la empresa TRANSAP que comenzó a transportar ácido sulfúrico, así la vía fue reparada y funciona en condiciones adecuadas para este tipo de transporte, recorriendo por ella dos trenes diariamente. [12]

1.6.7.7. Ferrocarril Yungay-Barrancas.

Este fue un pequeño ferrocarril que recorría parcelas y chacras de la época conectando suburbios en el sector poniente de la ciudad de Santiago Fue inaugurado en 1903 y funcionó hasta el año 1951. Este ferrocarril marcaba un gran avance en la época para la población al facilitarles un nuevo medio de transporte que les sirviera a diario. En la actualidad solo quedan los vestigios de lo que fue el ferrocarril que fue levantado. [11]

Su construcción significó la instalación de rieles de acero en la vía con traviesas de madera mientras que la trocha era de 750 mm. Por ella recorrían locomotoras a vapor y más tarde reemplazados por tranvías a gasolina, siendo en su última etapa electrificado y permitiendo la circulación de vehículos eléctricos.

1.6.7.8. Ferrocarril Rancagua-Sewell.

Corresponde a un ferrocarril minero que conectaba la ciudad de Rancagua con el campamento minero de Sewell en la Cordillera de los Andes, Región de O'Higgins. Fue construido por tramos entre los años 1906 y 1910 dándoles la facilidad a los mineros del sector para llegar a trabajar a la mina ubicada a 2140 msnm y volver a casa. [12]

Atravesaba un terreno montañoso muy accidentado lo que provocaba que la velocidad del ferrocarril fuera baja en algunas partes, el recorrido de casi 70 kilómetros se tardaba a veces 7 horas. En el año 1967 se proyectó una carretera para facilitar y disminuir los tiempos de viaje, marcando así el fin del ferrocarril en el año 1978.

1.6.7.9. Ramal San Fernando-Pichilemu.

Fue una línea de ferrocarril que unía las ciudades de San Fernando y Pichilemu en la Región de O'Higgins, comenzó su construcción en el año 1871 y fue inaugurado en 1926. Cruzaba por terreno accidentado desde el valle de la depresión intermedia de Chile pasando por la Cordillera de la Costa en donde se le construyó diversas obras de arte que

hoy en día están abandonadas y son una gran atracción para turistas como el Túnel de La Viña con 323 m, el Puente San Miguel, el Túnel de El Árbol con 1960 m, el cual es Monumento Nacional y el Túnel de El Quillay de 177 m. A partir de 1926, el ramal Pichilemu prestó servicios de carga hasta 1993, y de pasajeros hasta el 9 de marzo de 1986. [12]

Desde el año 2001, la primera mitad de la vía desde San Fernando hasta Peralillo fue reparada y por ella circula un ferrocarril turístico llamado Tren del Vino que recorre varias parcelas y viñedos de la zona, pero la otra mitad hasta la costa, aún se encuentra en abandono.

1.6.7.10. Ramal Parral-Cauquenes.

Fue una vía ferroviaria ubicada en la Región del Maule, que conectaba las ciudades de Parral y Cauquenes. Se caracterizaba por movilizar una gran cantidad de producción agrícola y vitivinícola hacia ciudades y puertos de la zona abriendo los mercados y comercios para los pobladores. También sirviendo de medio de transporte para los turistas que querían ir a balnearios de la región que tenían difícil acceso terrestre en automóvil. Formó parte de la Red Sur de la Empresa de los Ferrocarriles del Estado, hasta que a mediados de la década de 1970 se determinó su cierre dada su baja rentabilidad económica. En los años posteriores fue progresivamente desmantelado, en gran parte debido a robos; sin embargo, aún sobreviven algunas estaciones y el puente ferroviario sobre el río Perquilaquén, declarado Monumento Nacional. [12]

1.6.7.11. Ramal Linares-Colbún.

Era un ramal en la Región del Maule, que conectaba Linares con Colbún en una línea de aproximadamente 34 kilómetros administrada por la Empresa de Ferrocarriles del estado, siendo su propósito en un inicio conectar los pueblos precordilleranos a la red ferroviaria nacional en el troncal que pasaba por la región. Su construcción tardó 3 años, empezando en 1910 y terminando en 1913, comenzando las operaciones al año siguiente, entre el año 1914 y 1956. Este ramal era conocido como “Tren Chico” por el ancho de su trocha que era 600 mm. [12]

El 9 de octubre de 1953 ocurre un grave accidente en la línea, el ferrocarril impacta a un autobús que cruzó inoportunamente la vía férrea provocando la muerte de 22 personas. Por esta tragedia y ante la competencia que representaba la carretera con autobuses y taxis se decide clausurar y levantar la línea en el año 1956.

1.6.7.12. Ramal Santa Fe-Los Ángeles-Santa Bárbara.

Este ferrocarril permitió la conexión de tres comunas de la Región del Maule, haciendo que las localidades beneficiadas se integraran a la red nacional de ferrocarriles, permitiendo el transporte de productos locales a otras ciudades del país y a los principales puertos, ya que las comunas son en su mayoría agrícolas. Formó parte de la Red Sur de

la Empresa de los Ferrocarriles del Estado, hasta que fue levantado por tramos debido al bajo uso y la vandalización, siendo levantado oficialmente en 2008.

En 1873 se inauguró su primer tramo y en 1921 el último, siendo en el año 1877 comprado por EFE para hacerlo parte de la red de Ferrocarriles del Sur. Hacia 1970 circulaban los conocidos Buscarriles Ferrostaal ADI, y trenes mixtos (pasajeros y carga) de tracción a vapor y diésel. Durante el gobierno militar entre los años 1973 y 1990 se adoptaron políticas económicas liberales, entre las cuales estuvo el cese del financiamiento a diversas empresas estatales, incluyendo los ferrocarriles, sumado al auge de las carreteras hicieron que la importancia de este ferrocarril fuera en decadencia hasta su cierre. Entre el 9 y el 16 de octubre de 2008, se procedió al levantamiento de las últimas secciones de la vía que no habían sido desmanteladas y/o robadas dentro del área urbana de la ciudad de Los Ángeles, por orden de la Empresa de los Ferrocarriles del Estado, sepultando toda intención de EFE de utilizar el ramal. [12]

1.6.7.13. Ramal Monte Águila-Polcura.

Este ramal conectaba diversos poblados en la Región del Biobío, fue planteado en un inicio como un ferrocarril trasandino para cruzar hasta Argentina pero la idea no prosperó. Fue inaugurado en el año 1911 y clausurado en 1980 al igual que muchos ramales por la competencia que representaba el transporte por carretera cayendo en abandono y robo del material que compone la vía. Formó parte de la Red Sur de la Empresa de los Ferrocarriles del Estado, hasta que en 2005 se decreta oficialmente su levante y venta de terrenos. [11]

1.6.7.14. Ramal Coihue-Mulchén.

Es un ramal de ferrocarriles de carga y pasajeros en la Región del Biobío, su construcción comienza en 1887, y estuvo en funcionamiento hasta inicios de la década de 1980, entrando en desuso y siendo finalmente levantada completamente después del año 2005. Poseía una trocha de 1676 mm y la vía era de una longitud de 42 kilómetros aproximados, además para sortear la geografía de la zona, se construyeron cuatro puentes. [11]

1.6.7.15. Ramal Rucapequén-Concepción.

Fue una ruta ferroviaria chilena que unió las regiones de Ñuble y Biobío, inaugurado en 1916, estando en uso hasta el año 1980. Esta línea dividía sus transportes en cargas y pasajeros, dando el último servicio para la población en el año 1986 (pasajeros). Actualmente se encuentran operativos para el tráfico de carga el tramo entre Concepción y el puerto de Lirquén, con una extensión de 20 kilómetros, y el tramo desde Rucapequén hasta Nueva Aldea. El resto del ramal no se encuentra operativo, y el tramo que bordea la costa desde Lirquén hasta Dichato y Pingüeral se encuentra cortado en varias partes por derrumbes y socavamientos del terraplén. [11]

1.6.7.16. Ramal Osorno-Rupanco.

Fue un proyecto de ramal que pretendía unir la ciudad de Osorno con el Lago Rupanco en la región de Los Lagos Chile. La construcción de este proyecto nunca se terminó y ya en la década de 1960 la línea estaba en proceso de retirada. [11]

2. FACTORES QUE HAN HECHO POSIBLE EL OLVIDO FERROVIARIO DEL PAÍS.

En las primeras décadas de existencia el ferrocarril marcó en Chile un impulso económico y social a la vez que formaban parte del orgullo nacional, pero su auge fue muy fugaz y las épocas doradas se iban alejando, hubieron importantes factores que incidieron en la caída del sistema de transportes, a nivel social, político y tecnológico que desgastaron la red haciéndola ineficiente y poco financiable.

Antes de la caída del sistema, EFE tenía el monopolio casi total del transporte tanto de cargas como de pasajeros pero a contar de la década de 1970 comenzó la crisis a falta de inversiones para el mantenimiento y reposición de los equipos, y sobre todo por el fuerte crecimiento que experimentó en esa época el sector carretero. Las facilidades para adquirir un automóvil junto a las diversas alternativas que tenían los consumidores para elegir hicieron que el interés por el ferrocarril en los usuarios fuera decayendo.

El Gobierno de la época trató de mantener en pie al ferrocarril, con políticas de limitación de importación de vehículos de carga y obligando a las empresas públicas a utilizar servicios de ferrocarril, medidas desesperadas que no fueron suficientes. Fue ya a mediados de los años 70 que se empezaron a dismantelar casi en su totalidad los ramales de la red ferroviaria, se privatizaron la Red norte y se desarmó la Red sur. La Red norte realizó su último trayecto el 16 de Junio de 1975 ya que no tenía rentabilidad de sostenimiento al igual que los ramales de la zona, varios tramos de la red fueron vendidos a empresas privadas las cuales las ocupaban solo para el transporte de carga. Otro ferrocarril que vio cesada sus funciones fue el Trasandino, inaugurado en 1910, por falta de sustentación al igual que el famoso Santiago-Valparaíso debido a un importante accidente ferroviario.

La decadencia total ocurre con la falta de políticas ferroviarias, dejando en el olvido al sistema sin ponerse a la vanguardia que exigía la época, nula financiación de manera casi injusta en comparación a la que recibía el sistema carretero. Así como hoy en día por un lado se tienen autopistas de primer nivel, y por el otro una deficiente red ferroviaria en constante desuso o en su mayoría utilizadas solo para el transporte de cargas. Siendo esto último una constante en la Red norte a cargo de FERRONOR, la cual posee solo un 60% de uso debido a los daños que presenta la vía, ya sea causado por derrumbes o socavamientos y robos de rieles y traviesas. Otro ejemplo de esto son los importantes ramales como Santiago-San Antonio, San Pedro-Ventanas y LlayLlay-Los Andes los cuales fueron clausurados netamente por la insostenibilidad frente al sistema de transporte interurbano de buses el cual es muy fuerte e importante. [13]

Es innegable que la imagen del ferrocarril está muy deteriorada para la población, muchos la recuerdan con cariño y desean que vuelva a tener la importancia de antaño, pero para esto se requiere una modernización total, la cual ya se ha intentado anteriormente pero sin lograr un éxito concreto. Actualmente, como se ha nombrado anteriormente se han planificado importantes proyectos, siendo uno de los más importantes adoptar el modelo operativo de cercanías basado en el modelo aplicado en la Red Nacional de Ferrocarriles Españoles RENFE en España, el que diferencia los servicios de largo recorrido y el de cercanías, reconociendo a este último la importancia que tiene para la población haciéndolo rentable y eficiente debido a las altas frecuencia y volumen de sus trenes.

Se tienen muchas expectativas ante la nueva etapa que enfrenta el ferrocarril en Chile para que vuelva a ganar fuerzas y convertirse en una alternativa viable frente a la competencia dura que presentan los autobuses rurales, urbanos e interurbanos.

A continuación, se hablara sobre una serie de factores que influyeron en la disminución de la demanda y posterior pérdida de ramales de la red ferroviaria en Chile.

2.1. Condiciones naturales.

Uno de los factores más importantes que influyen en Chile son sus características naturales que difieren dependiendo de la ubicación, teniendo variaciones en el relieve, la flora y fauna, el clima y la forma de acceder a ciudades y poblados.

Entender la composición geográfica de Chile nos ayudará a establecer ciertos limitantes a la hora de realizar un proyecto ferroviario en el país, dependerá sobre todo la zona en la que queramos ubicar el estudio, con factores que influirán como clima, orografía y población. Es por esto que para entender de mejor manera como se puede hacer un proyecto efectivo debemos conocer bien las características presentes de Chile, que a la larga puede afectar el proyecto final causando una inviabilidad por ejemplo en la dificultad de cruzar una cadena montañosa debiendo elevar los costos al construir túneles o pasos bajo montañas.

Chile se caracteriza por poseer un territorio continental extenso y angosto a la vez, de un largo cercano a los 4200 Km y ancho que varía entre los 90 Km y los 440 Km. Es un país Andino, por casi toda su extensión esta recorrido por cordones montañosos y valles.

En el año 1950 la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) dividió a Chile en cinco regiones naturales, de norte a sur tenemos, "Norte Grande"; "Norte Chico"; "Zona Centro"; "Zona Sur"; "Zona Austral". En cada una de estas regiones se tienen climas distintos en la misma época del año dada la longitud del país que abarca varias latitudes del planeta.

2.2. Regiones Naturales.

A continuación se presentarán las cinco grandes divisiones de Chile por zona natural con sus respectivas características. En la tabla A9 del anexo n° 5 se puede encontrar las ciudades con mayor población de estas regiones naturales.

2.2.1. Norte Grande.

El Norte Grande está compuesto por cuatro regiones del país (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y parte de Atacama hasta el río Copiapó) en su mayoría se trata de Altiplano, compartido con Bolivia y Perú con clima desértico (aquí está el desierto más árido del planeta), una gran cantidad de acantilados costeros, Cordillera de la Costa, Cordillera de los Andes, depresión intermedia, salares, depósitos y explotación de mineral cobre y salitre.



Figura 2.1. Norte Grande. [34]

2.2.2. Norte Chico.

Esta región está limitada por la parte norte en el río Copiapó y en el sur por el río Aconcagua. La compone el Sur de la región de Atacama, región de Coquimbo y norte de la región de Valparaíso. Comparte la Cordillera de los Andes con Argentina el cual sirve de límite fronterizo, también la componen planicies litorales, Cordillera de la Costa y valles transversales. El clima aquí es principalmente semiárido con vegetación variada, destaca por ser una zona de transición entre el desierto árido y las tierras fértiles de la zona central.



Figura 2.2. Norte Chico. [34]

2.2.3. Zona Centro.

Por el norte está delimitada por el río Aconcagua y en el sur por el río Biobío, se compone por la zona sur de la región de Valparaíso, región Metropolitana de Santiago, región de

O'Higgins, región del Maule, región del Ñuble y el norte de la región del Biobío. Se destaca por ser la principal zona del país, con las grandes urbes y centros económicos, además reúne a la mayor cantidad de población del país con cerca del 80% del total.

La zona central es una planicie estrecha con varios valles menores, por el Este posee la Cordillera de los Andes y al Oeste la Cordillera de la Costa. Posee un clima mediterráneo, vegetación matorral y destacadas zonas fértiles.



Figura 2.3. Zona Central. [34]

2.2.4. Zona Sur.

Se limita entre los ríos Biobío por el norte y Reloncaví (Seno) por el sur, esta zona está compuesta por el sur de la región del Biobío, la región de la Araucanía, región de los Ríos y el norte de la región de los Lagos. Es la zona más heterogénea en temas paisajísticos y actividad económica, está cubierta por extensos bosques y lagos, posee clima templado oceánico con abundancia de lluvias. Aquí las Cordilleras de los Andes y de la Costa bajan en cuanto a altura, la depresión intermedia alcanza el nivel del mar, aparecen glaciares y mayor actividad volcánica.



Figura 2.4. Mapa zona Sur. [34]

2.2.5. Zona Austral.

La última región natural de Chile parte en el Seno de Reloncaví hasta el estrecho de Magallanes, compuesta por el sur de la región de Los Lagos, la región de Aysén y la región de Magallanes. Esta zona coincide con la Patagonia Chilena, es la región menos habitada de las cinco. Posee un clima templado lluvioso, con frío y bosque subpolar. La Cordillera de los Andes decae y de sobresa la Cordillera de la Costa compuesta en base a archipiélagos e islas, la depresión intermedia alcanza la altura del mar, destacan fiordos y campos de hielo.



Figura 2.5. Mapa zona Austral. [34]

2.3. Unidades de Relieve.

Chile continental emerge debido al choque de las placas de Nazca y la Sudamericana, originando la Cordillera de los Andes y una faja angosta de tierra que la separa del océano Pacífico. A partir de este origen se puede distinguir cuatro unidades de relieve presente a lo largo del país, estas son la Cordillera de los Andes, la depresión intermedia, la Cordillera de la Costa y las planicies litorales.

Relieve Norte Grande:

Zona Norte Grande (XV, I y II Región)



Figura 2.6. Orografía norte grande. [35]

Relieve Norte Chico:

Zona Norte Chico (III y IV Región)

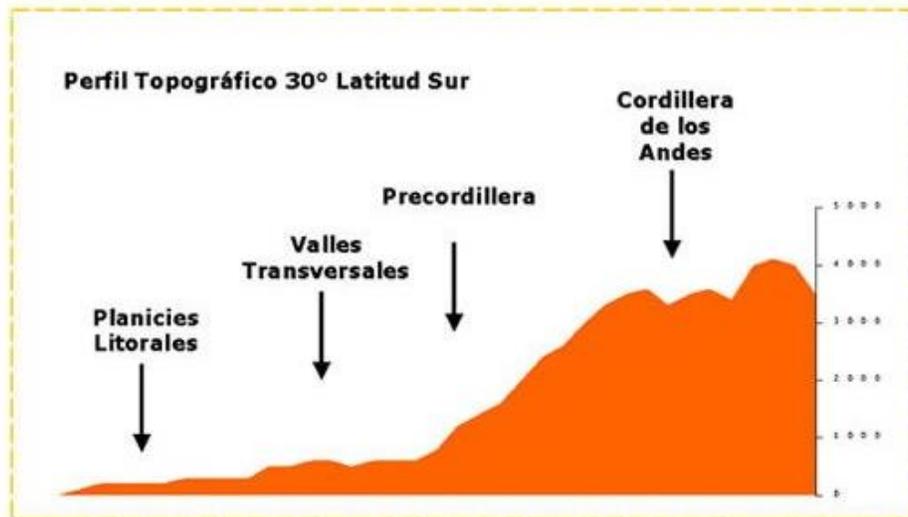


Figura 2.7. Orografía norte chico. [35]

Relieve Zona Central:

Zona Central (V a VIII Región)

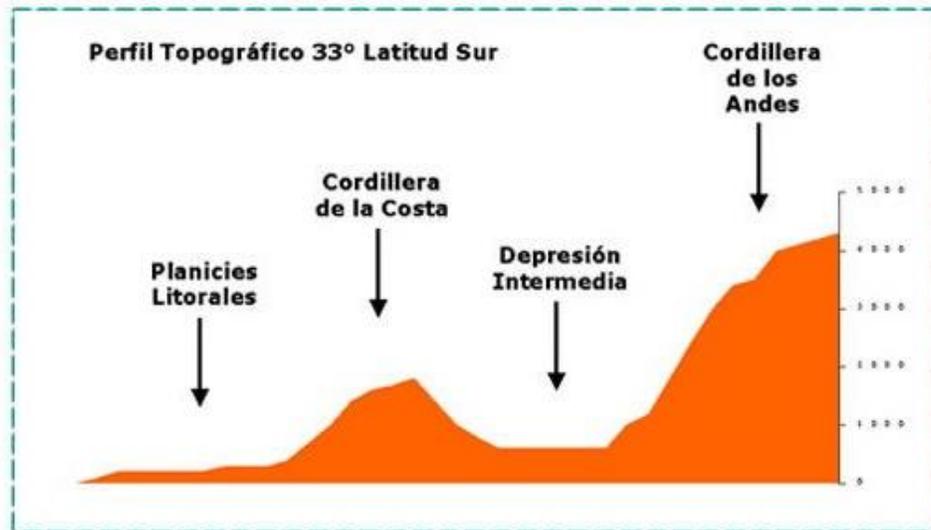


Figura 2.8. Orografía zona centro. [35]

Relieve Zona Sur:

Zona Sur (IX, XIV y X Región)

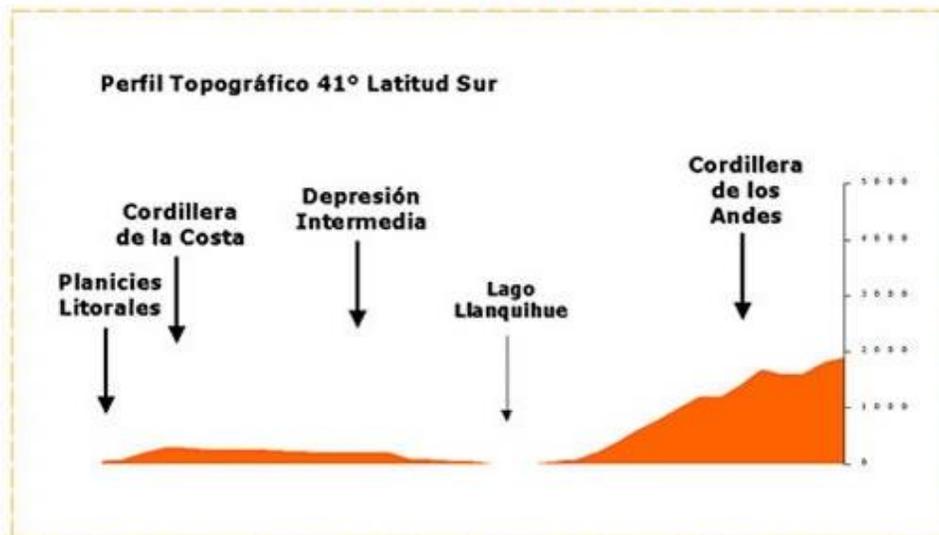


Figura 2.9. Orografía zona sur. [35]

2.3.1. Cordillera de los Andes.

Es la principal forma de relieve chileno y recorre al país casi por completo sirviendo de límite fronterizo con Argentina y por el norte hace limitar con Perú y Bolivia. Es un cordón montañoso que tiene su origen en Venezuela y termina en la Patagonia. En Chile desde el norte hasta la ciudad de Santiago la Cordillera de los Andes alcanza sus mayores

desarrollos, tal es el caso de la montaña Ojos del Salado (6890 metros), también dominan las depresiones de salares y múltiples volcanes.

Desde Santiago hacia el sur la cordillera se estrecha y va perdiendo gradualmente altitud en sus montañas para dar paso a los glaciares y ya en el extremo sur a una infinidad de islas e islotes.

2.3.2. Cordillera de la Costa.

Se desarrolla en sentido norte a sur, es una formación geológica de las costas de Chile con una extensión de 3000 Km formada por lomas y montes separando la depresión intermedia y las planicies litorales.

Esta cordillera es más baja que la Cordillera de los Andes, siendo su máxima altura el pico Vicuña con 3000m de altitud. En el norte Grande está presente como farellón costero que reemplaza en esta región a las planicies litorales. En la zona central es longitudinal y a medida que avanza va decayendo su altura.

2.3.3. Depresión intermedia.

Se trata de un corredor estrecho entre las dos cordilleras del país, se encuentra a una altitud de 1000 metros sobre el nivel del mar y se extiende desde la frontera norte con Perú hasta la ciudad de Puerto Montt. En ella se encuentra la principal autopista que une varias ciudades del país de norte a sur y, a su vez las principales ciudades de cada región del país junto a la capital Santiago.

2.3.4. Planicies litorales.

Se ubica entre el océano Pacífico y la Cordillera de la Costa de forma oeste a este desde el límite norte de Chile hasta la isla de Chiloé. Son rasas costeras de amplias dimensiones. Ciudades costeras y puertos del país se ubican en estas zonas.

2.4. Sismicidad del País.

Chile es uno de los países más sísmicos del mundo afectado por cientos de temblores cada año en distintas partes del país y por un gran evento cada cierta cantidad de años. Es por esto que el factor sísmológico a la hora de construir y ubicar un proyecto es muy importante, todas las edificaciones deben registrarse bajo la normativa anti sísmica creada en base de la experiencia que han dejado grandes terremotos. Un caso cercano fue el servicio TerraSur, quien se vio afectado por el terremoto del 27 de febrero de 2010 que azotó la zona central de Chile.

Para el proyecto ferroviario también se debe tener en cuenta esta acción de la naturaleza, toda la vía férrea debe estar capacitada para no quedar cortada ante un evento de magnitud considerable, así los túneles y puentes ferroviarios deben tener la capacidad de soportar los movimientos de la tierra. En cuanto a las edificaciones del proyecto, cada estación debe estar construida con las nuevas normativas existentes, es por esto que si

se hace un análisis y catastro de ex edificaciones ferroviarias construidas en el siglo XIX o XX muy pocas siguen en pie y muchas han sido derrumbadas.

Los movimientos telúricos se producen en Chile por el contacto de dos placas, la Sudamericana y la de Nazca, estas interacciones producen deformaciones y terremotos, existe una alta velocidad de convergencia entre las placas lo que causa una alta intensidad de movimientos en el país. [32]

Hay una zona llamada de subducción en que se produce el contacto de las dos placas, la más densa penetra por debajo de la menos densa. La placa de Nazca es oceánica y es más densa que la continental (Sudamericana).

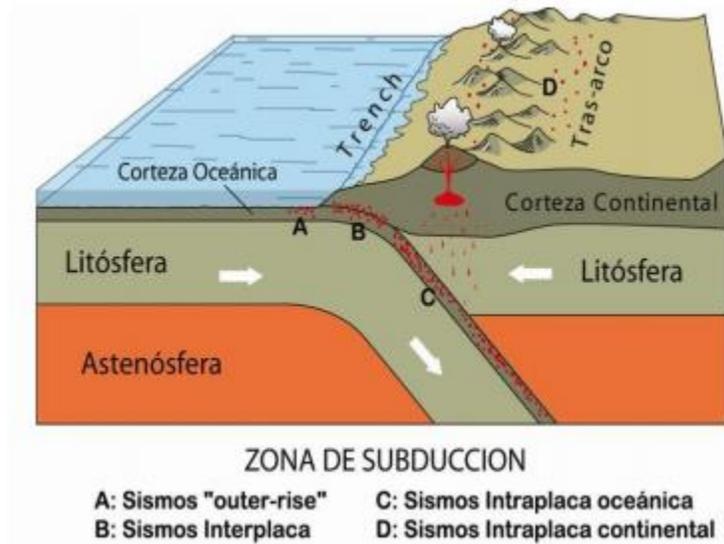


Figura 2.10. Orografía norte grande. [32]

2.5. Influencia del coste y la demanda en el ferrocarril.

Es sabido que los sistemas y empresas de ferrocarriles a nivel mundial en su mayoría no son autofinanciados y la capacidad de generar más ganancias que gastos no se alcanza. Es por esto que este medio de transporte debe recibir aportes por parte de los Estados o privados, en el caso de Chile el Estado ayuda a la financiación pero no siempre fue así. El sistema férreo en Chile no pudo prosperar debido a los altos costos de mantención que tenían, en el siglo XX progresivamente con el tiempo no fue posible alcanzar un adecuado financiamiento causando despidos de personal y cancelaciones de ramales transversales, comenzando una crisis por la falta de inversión, altos costos de mantención y nula reposición de equipos en transporte de carga y pasajeros. El surgimiento de transporte carretero fue un duro golpe para el rubro que vio como la demanda por el ferrocarril iba decayendo poco a poco. A día de hoy esta tendencia se ha logrado revertir en cierto modo, se consideran exitosos y vitales para la población los servicios férreos existentes y se espera con ansias la construcción de nuevas líneas.

2.5.1 Medidas para aumentar su uso.

Con miras al futuro y la necesidad de revitalizar el transporte en ferrocarril EFE elaboró un documento llamado “El futuro del sistema ferroviario” en donde destacaba unos puntos de acción y medidas de cara al futuro tales como, hacer una separación entre la administración de la infraestructura y la de la operación de los servicios (algo como el caso de España); una responsabilidad financiera por la construcción y conservación de las vías por parte del Estado tal como se hace en los casos viales; de igual forma que el Estado formule y aplique políticas públicas que generen un tratamiento equitativo entre los diferentes modos de transporte existentes en el país; y que se formule un plan integral a largo plazo para la infraestructura del transporte.

Este plan a largo plazo debe ser estudiado de manera cautelosa por parte de las autoridades competentes para no volver a equivocarse, ya que la historia y experiencia pasada dicen que en la práctica no da resultado lo que muchas veces se propone, dado que si bien, se cumple con todo lo administrativo, en un futuro no se le toma la importancia dada a las empresas ferroviarias por parte del Estado.

Por lo cual en el año 2011 se formuló un Plan Maestro para EFE, en donde se escucha a la empresa y se recogen sus solicitudes y puntos establecidos en el documento “El futuro del sistema ferroviario” y a la vez se agregan nuevos elementos de estudio, también se consideran aspectos de organización interna para EFE y todas sus filiales y una nueva política de financiamiento.

2.5.2. El Plan Maestro.

El Plan Maestro propuesto para EFE fue recibido en muchos sectores de manera optimista, se hizo eco de a donde se quería apuntar y como revitalizar a la empresa para volver a tener la importancia de sus inicios, la población influenciada está expectante ante las medidas que serán tomadas y cómo influirá en el diario vivir.

Como fuera anunciado años antes, este plan toma medidas ya propuestas y otras nuevas, las más importantes se detallan como:

- Redefinir el rol de todas las filiales de EFE y esta misma como matriz.
- Formalizar la relación que tiene la empresa EFE con el Estado.
- Redefinir el modelo para el negocio de transporte de cargas.
- Proponer una nueva forma de financiamiento de las inversiones y del déficit de operación.
- Redefinir la forma de gestionar la infraestructura ferroviaria.

2.5.3. Transporte de Carga.

Por el lado de transporte de cargas, EFE planea impulsar la actividad en el futuro detallando los temas más importantes en conjunto con las principales empresas operadoras del rubro. Lo primero en temas de tarifa, formulando un acuerdo de cómo se fijaran estas en el mediano y largo plazo, cabe decir que los contratos firmados que

siguen vigentes finalizan en el año 2024. Sobre la mesa también se propone un acuerdo para un fondo de inversiones referente a la infraestructura de transporte de carga, lo que hará que proyectos de esta índole reciban fondos tanto de EFE como de privados, incluidos los estudios previos a realizar. Otro acuerdo importante es el del uso de terrenos en desuso para fines inmobiliarios del transporte de carga, así los operadores pueden realizar sus actividades transformando este pasivo en una inyección de financiamiento. Un acuerdo importante hace referencia a si existe algún proyecto de pasajeros que afecte la capacidad actual del transporte de carga en el futuro, estos proyectos deberán contemplar inversiones para reponer y poder coexistir al mismo tiempo, así la capacidad excedente queda reservada para el transporte de carga.

Actualmente son dos las empresas privadas que realizan el transporte de cargas en la red de EFE, se estima que en el año 2015 en conjunto transportaron alrededor de diez millones de toneladas, por un lado está FEPASA, filial creada por EFE que abarca un 67% y TRANSAP que transporta el restante 33%. En su mayoría se trata de productos forestales, industriales y mineros. [6]

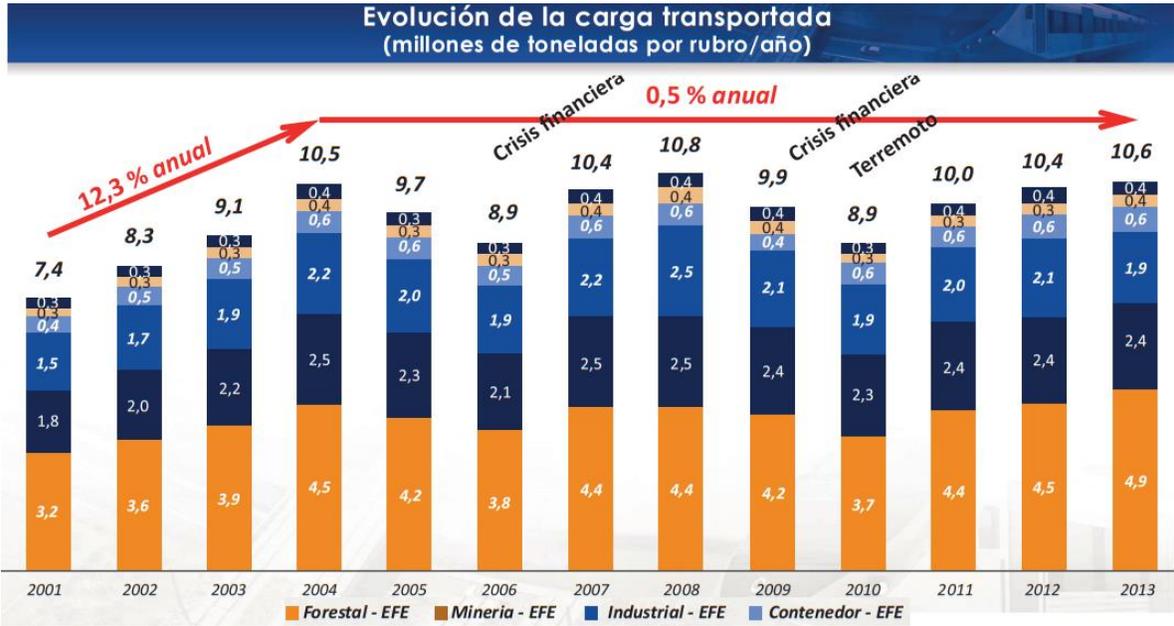


Figura 2.11. Evolución carga transportada. [1]

Para el año 2020 se espera aumentar las toneladas de carga hasta llegar a los veinte cuatro millones, proyección hecha a partir del supuesto que la economía de Chile aumente, por lo cual el Plan Maestro puede llevarse a cabo con normalidad y así ampliar la capacidad para el transporte de cargas.

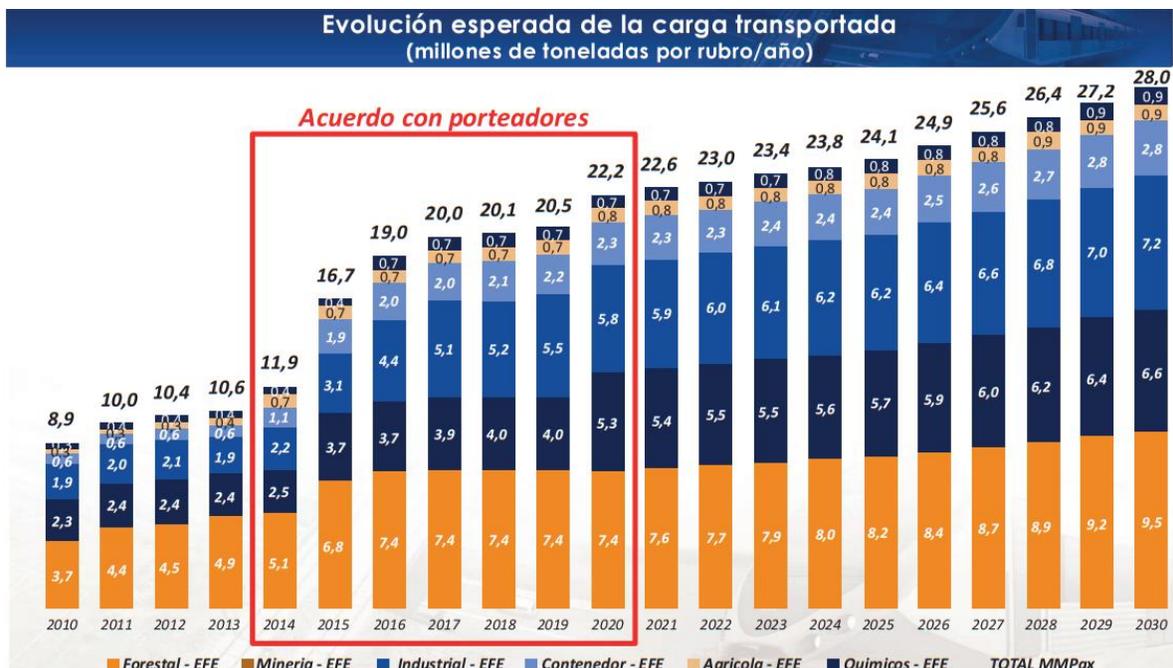


Figura 2.12. Evolución esperada carga transportada. [1]

Como se nombró anteriormente, el transporte de cargas se concentra mayormente en el sector forestal, industrial y minero. Una proyección hasta el año 2020 calcula que cada sector por lo menos doblará su uso de transporte. A continuación se detalla cada movimiento de los sectores.

Agrícola.

- Transporte de granos producidos en el país y destinados a la importación a otros países, se transportan a los puertos de San Antonio y Ventanas.
- Granos de trigo y cebada para el consumo nacional, producidos en la zona sur del país y transportados hasta Santiago (zona centro).

Forestal.

- Transporte de celulosa desde las plantas con acceso ferroviario para la importación, se transportan a los puertos.
- Transporte de cartones, al igual que la celulosa desde las plantas de CMPC hasta los puertos.
- Paneles y maderas elaboradas en las plantas de la zona de Arauco y de CMPC con destino a los puertos y a la ciudad de Santiago.

Industrial.

- Residuos sólidos de la ciudad de Santiago hasta el relleno sanitario Montenegro.
- Acero desde la fábrica de Huachipato en la Octava región hasta Barrancas para importación y a Santiago para consumo nacional.

- Transporte de cementos desde la planta el Melón en la Quinta región y de la planta Biobío en la Octava región.

Minería.

- Transporte de cobre en las plantas de Codelco Chile.
- Transporte de concentración de cobre y ácidos desde las plantas de Anglo American.
- Subproductos mineros como escorias y ácidos desde Codelco Chile y Anglo American.

Contenedores.

- Traslado y movimiento de contenedores desde y hasta el puerto de San Antonio.

Químicos.

- Transporte de insumos para la industria de la celulosa desde el puerto de Quinteros hasta la Región del Biobío.
- Transporte de químicos desde la región del Biobío hasta Santiago.

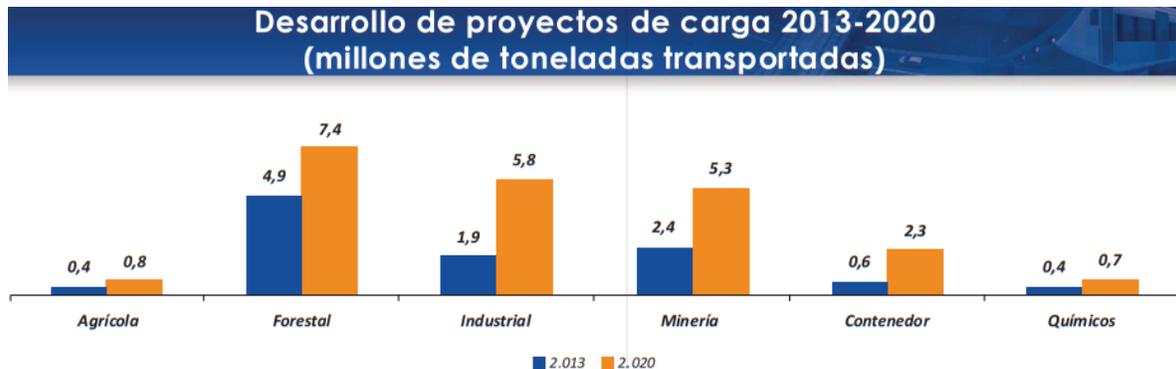


Figura 2.13. Toneladas transportadas. [1]

2.5.4. Transporte de Pasajeros.

Para este ámbito EFE centra su foco en los sistemas de trenes de cercanías, se llegó a un acuerdo importante con el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones en donde se detalla que el Estado se hará cargo de los déficits operacionales. De esta forma ninguna filial de EFE realizará proyectos deficitarios, y si se llega a ejecutar uno, el Estado deberá contemplar las compensaciones para hacer frente al déficit.

Además se realizó una reestructuración en la cual EFE se quedará con el respaldo técnico y financiero mientras que las filiales de pasajeros se encargaran de la gestión y mantención de la infraestructura y en las áreas donde no hay servicios de pasajeros o solo existe transporte de carga asumirá la filiar llamada Infraestructura y Tráfico Ferroviario (ITF).

Por lo cual y luego de todas estas medidas aplicadas con el Plan Maestro se espera que el sistema ferroviario en Chile tome un nuevo camino y alce su importancia para el país, en la actualidad hay nuevos estudios de trayectos que ya se están ejecutando, los más destacables son:

- Mejorar el servicio Santiago-Nos para que pueda funcionar a alta frecuencia.
- Elevar el estándar del servicio Santiago-Rancagua.
- Comienzo de la licitación del servicio Santiago-Melipilla, el cual esta pronto a concretarse.
- Elevar la frecuencia de trenes en el servicio Metro de Valparaíso, actualmente el flujo es de 10 trenes por hora, pretendiendo llegar a 20 trenes por hora, debiendo adquirir nuevas unidades.
- Extender el servicio de BioTren del Gran Concepción hasta la ciudad de Lota.

Según datos extraídos de EFE del año 2013, las filiales de pasajeros transportan en conjunto 30 millones de pasajeros al año. Con todo lo propuesto anteriormente y las mejoras al sistema EFE espera en el año 2014 transportar 40 millones de pasajeros y ya para el año 2020 alcanzar los 100 millones de pasajeros anuales. Lo que se transforma en promedio en un aumento del 7% anual de pasajeros del servicio. [6]

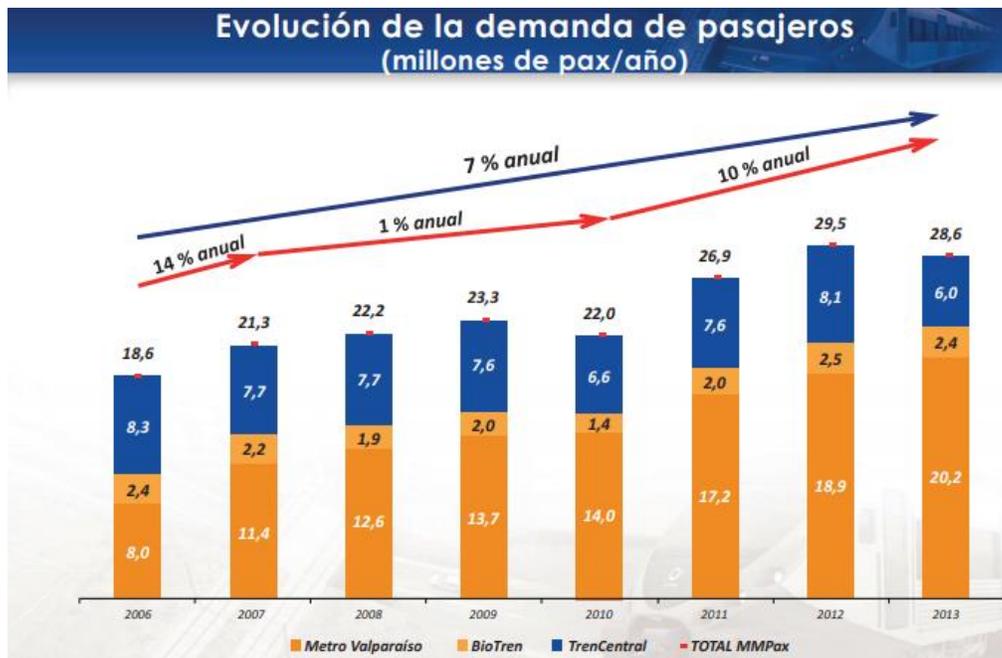


Figura 2.14. Evolución demanda de pasajeros. [1]

De estos datos destaca la filial MERVAL que aportó en el año 2013 un total de 20 millones de pasajeros anuales, que podrían ser muchos más si el servicio se extendiera a otras localidades como Quillota y La Calera.

Ya considerando los nuevos proyectos en el país y en base al actual crecimiento económico, se proyecta hasta el año 2020 la cantidad de pasajeros totales.

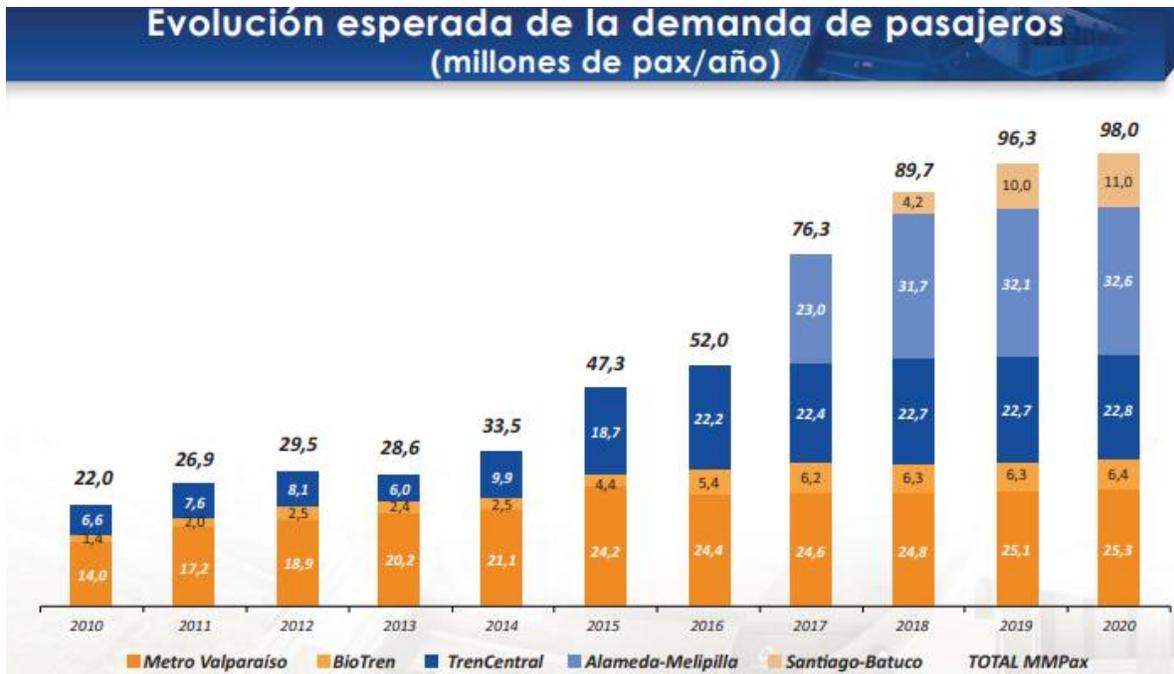


Figura 2.15. Evolución esperada demanda de pasajeros. [1]

3. METRO DE VALPARAÍSO.

El metro de Valparaíso como se habló anteriormente causó un gran impacto a la población del Gran Valparaíso quienes se vieron beneficiados reduciendo sus tiempos de traslado y dando nuevas alternativas a los habitantes de los poblados del sector interior de la región. Cada una de las estaciones fue adecuadamente estudiada para que su ubicación influyera en el máximo número de usuarios posibles. Además la buena respuesta de uso y evaluación de los usuarios al MERVAL hasta la actualidad abre la posibilidad de hacer realidad el proyecto de extensión de la línea abarcando mayor población y beneficiando a más habitantes, proyecto que se desarrollará en este Trabajo de fin de grado, el cual se trata de la extensión de la línea Limache – La Calera, utilizando como base la experiencia de las estaciones existentes en cuanto a dimensiones y elementos que la compondrán, las cuales están dotadas con los servicios básicos para brindar gran comodidad a los usuarios y la seguridad mínima ante un posible accidente. En el anexo n°2 se detallan cada una de las estaciones del MERVAL.

3.1. Material Rodante.

Las maquinas que componen el servicio MERVAL para pasajeros son X'Trapolis 100 y X'Trapolis Modular, sus características se presentan a continuación.

Datos	X'Trapolis 100	X'Trapolis Modular
Velocidad Máxima	143 Km/h	143 Km/h
Velocidad Máxima usada	120 Km/h	120 Km/h
Longitud	24,46 m	23 m
Ancho	3050 mm	2940 mm

Alto	3650 mm	4260 mm
Ancho de vía	1676 mm	1676 mm
Peso	43 T	80,97 T
Motor	4 x Alstom ECA	4 x Alstom ECA
Capacidad	144 pasajeros sentados	92 pasajeros sentados
Fuente de alimentación	1500 V DC	1500 V DC
Material	Acero	Acero

Tabla 3.1. Características X'Trapolis100 y X'Trapolis Modular. [19]

4. PROYECTO MERVAL LIMACHE – LA CALERA.

4.1. Planteamiento de las ciudades beneficiadas.

El proyecto estudiado comprende un tramo de vía férrea en que actualmente no existe un servicio de transporte de pasajeros y las alternativas a proponer comprometen el paso de este servicio por ciudades y poblados de gran interés comercial para la zona central de Chile.

El tramo Limache – La Calera es de suma importancia para el diario desarrollo social y económico de la Región de Valparaíso, dado que a las localidades que se verían beneficiadas por este proyecto se les denomina normalmente como “ciudades dormitorio”, debido a que en ellas vive una gran cantidad de la población de los conurbados, pero hacen su diario vivir en otra ciudad durante los horarios laborales, en este caso Valparaíso y Viña del Mar (quienes abarcan el 80% de las actividades).

El trazado a grandes rasgos tiene una longitud aproximada de 25 Km y su paso contempla las localidades de Limache, San Pedro, Quillota, Las Cruces y La Calera. Siendo tres de estas consideradas como ciudades y dos poblados menores en cuanto a su población. Todas estas aportan al desarrollo de la zona capital humana, económica y social.

Los poblados de interés se encuentran entre la Cordillera de la Costa y la depresión intermedia del valle central, establecidas en su mayoría al borde del río Aconcagua que posee un recorrido de Este a Oeste, empezando en las montañas de la Cordillera de Los Andes hasta el Océano Pacífico. En la figura 4.1 se puede ver cómo será la dirección del trayecto en estudio.



Figura 4.1. Proyección del estudio de la nueva vía Merval. [26]

4.2. Estudios de demanda.

Las zonas de interés para el proyecto se dividen en dos grandes conurbados, “Quillota – la Calera” destacada en rojo en la figura 4.2 y “Limache – Olmué” destacada en azul en la figura 4.2, estos dos conurbados reúnen en ellos una cierta cantidad de poblados que los componen, existentes alrededor de un área determinada a la cual es posible acceder mediante transportes públicos o vías simples.



Figura 4.2. Zonas de influencia para la población.

En el caso del conurbado de Quillota – La Calera según el Censo 2017 realizado en Chile posee una población actual de 185.289 habitantes, sus principales poblados son Quillota, La Calera, Nogales y La Cruz.

Por otro lado el conurbado de Limache – Olmué según el Censo 2017 realizado en Chile posee una población actual de 63.637 habitantes. [14]

Basados en la población total que hacen en conjunto los dos conurbados 248.926 habitantes y a grandes rasgos aproximadamente el 35% de toda la población debe movilizarse al gran Valparaíso da un total de 87.125 habitantes a diario. Una cifra de demanda que en este momento ocupa los transportes existentes, como buses de acercamiento hasta la estación Limache u autobuses directos hasta su destino.

4.3. Necesidades actuales en los distintos medios de transporte.

Actualmente existen vías de unión por medio de autopistas y carreteras, la más usada es la llamada “Autopista de los Andes” o Ruta CH-60 y la Ruta CH-64. Estas vías las recorren a diario automóviles particulares, transporte público urbano e interurbano, transporte de mercancías entre otros. Este conjunto de elementos que la circulan hacen que se formen importantes puntos de congestión en horarios críticos, a pesar de los constantes intentos por modernizar las vías es innegable que el actual crecimiento de la población y del parque automotriz hace necesaria una alternativa para los usuarios.

4.3.1. Ruta CH-60.

Esta ruta recorre de poniente a oriente la región de Valparaíso y su valle central, con una extensión de casi 92 Km se le denomina Camino Nacional con carácter de internacional, actualmente se encuentra bajo concesión de Autopista Los Andes S.A. y en el tramo de Viña del Mar – la Calera posee aproximadamente 6 plazas de peaje ya sea de entrada, salida o continuidad de la vía.

Un traslado en situación normal hecho en automóvil particular desde el Puerto de Valparaíso hasta la ciudad de La Calera simulando el trayecto total que se quiere conseguir con la extensión de Merval toma aproximadamente un tiempo de 1 h con 8 m (figura 4.3), sumado a eso la cantidad correspondiente de peaje a pagar. Por otro lado si el horario es crítico el cual normalmente ocurre entre las 18:00 hrs y 22:00 hrs en el mismo automóvil particular el trayecto aumenta por lo menos a 2h 15m, sumado a un alza en el valor del peaje.

Si se considera el mismo trayecto pero hecho en un transporte público existente (autobús) en un horario normal el tiempo de viaje aproximado es de dos horas pero en horario crítico este viaje se puede realizar hasta en tres horas.

El nivel de congestión alcanzado en algunos puntos de la ruta es importante y no menor, existen usuarios que con la puesta en marcha de la extensión del trazado de Merval podrían ahorrar hasta dos horas de viaje por día, además de una reducción en los costos monetarios.

4.3.2. Ruta CH-64.

Esta vía toma una alternativa al trayecto de la ruta CH-60, se desvía por la ciudad de Viña del Mar pero comparten el trayecto desde la ciudad de Quillota hasta La Calera. Tiene un largo aproximado de 65Km, el trayecto en condiciones normales toma un tiempo aproximado de 1 h 23 m (ver figura 4.3), mientras que si se hace en horario critico este tiempo aumenta a casi dos horas de viaje.

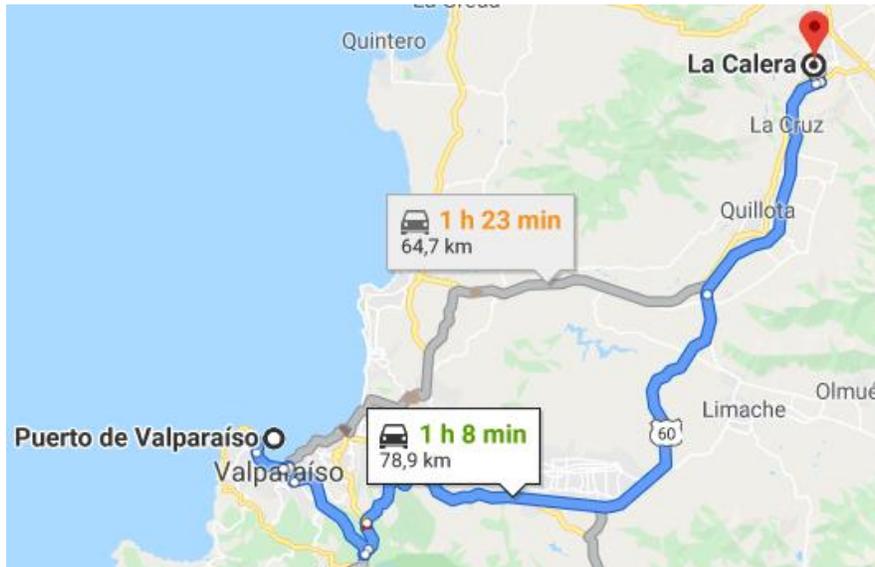


Figura 4.3. Tiempos aproximados de viaje.

Con estos datos se puede deducir fácilmente que la extensión del Merval hasta La Calera ayudará a la descongestión diaria de las rutas más usadas en el valle central de la región, ya que al compartir tantos medios de transportes las mismas vías existen momentos críticos del día en que se vuelve inviable y totalmente sobrepasada en cuanto a su capacidad. Por otro lado los usuarios tendrían un medio de transporte constante y con los horarios establecidos, ya que un ferrocarril puede controlarse de forma segura y eficiente, asegurando un mayor confort en el viaje de los usuarios. También es posible realizar el trayecto por vías secundarias, así evitando el pago de peajes pero a la vez aumentando los tiempos de viaje ya que muchas se consideran desvíos. Para el alcance de este estudio preliminar no se ha tenido en cuenta ningún estudio de demanda de la zona. Como recomendación se aconseja realizar un análisis más en profundidad de demanda.

4.3.3. Servicio Bus + Metro.

Actualmente para dotar a las comunas y poblados cercanos de acceso a Merval se tienen en marcha el servicio de autobuses de acercamiento los cuales se hacen en la estación terminal de Limache, ya sea para abordar el tren en dirección al puerto de Valparaíso o para descender de este e ir a las zona donde no llegan los trenes. Las combinaciones se realizan por medio de buses identificados con una letra específica que transporta

pasajeros a las localidades de Quillota, Limache Viejo, La Calera y Olmué. Cada uno de estos tramos está delimitado por horarios y sus respectivos costos dependiendo del paradero que se quiera acceder.

La modalidad de uso es simple, desde la estación terminal Limache el pasajero deberá esperar su autobús correspondiente, cada uno de estos independientes del trayecto tiene una frecuencia de doce minutos, realizando un recorrido circular, por lo que el autobús inicia y termina el viaje en Limache. También existe un horario establecido dependiendo del día para el funcionamiento de los autobuses, lo que hace limita un poco el acceso a este servicio.

Si bien este es un servicio en conjunto que da soluciones para la población, la comodidad del viaje al usar autopistas o carreteras que pueden estar congestionadas y los trasbordos hacen plantear una nueva solución para los usuarios, como extender las líneas de llegada del metro Merval a nuevas ciudades.

4.3.4. Otros medios de transporte.

En cuanto a otros medios de transportes en la zona, no existen actualmente otros más que la vía por autopista o carreteras secundarias. Para las vías aéreas, al ser la zona central de Chile un espacio tan angosto no hay explotación de líneas aéreas para pasajeros, las únicas conexiones existentes son mediante el aeropuerto internacional de Santiago hasta otro punto no menor a 400 Km aproximados por lo que el uso de transporte aéreo para la región central se hace toda en la zona de Santiago, si se requiere movilizarse se debe llegar por autopista a esta.

Es por esto que ciudades muy turísticas como Viña del Mar y Valparaíso no poseen aeropuerto propio, es un tanto inviable dada la cercanía con Santiago, en que un trayecto hasta el aeropuerto internacional no tarda más de una hora. Como se ve en la imagen 6.4 el área de influencia del Aeropuerto internacional de Santiago es basta, abarcando prácticamente casi toda la zona central de Chile.



Figura 4.4. Área influencia aeropuerto Santiago de Chile.

4.4. Estudio de las ciudades.

Como se ha nombrado anteriormente, la población beneficiada por la extensión del servicio Merval incluye a dos grandes conurbados, este proyecto en sí tendrá su trayecto por una de estas áreas, más concreto Quillota – La Calera, por lo que el estudio de las ciudades solo incluirá a esta zona. El otro conurbado también se verá beneficiado con la llegada del tren, de forma indirecta, esto facilitando aún más el transporte a otras zonas alejadas, despejando rutas y autopistas y pudiendo aumentar la flota de autobuses en un futuro. No se considerará a la ciudad de Limache dado que el trayecto parte de la estación terminal de la ciudad.

Las comunas implicadas a estudiar para el proyecto son las siguientes.

Comuna	Población hab
Quillota	90.517
La Calera	50.554
Nogales	22.120
La Cruz	22.098

Tabla 4.1. Población comunas. [14]

Las ciudades implicadas a estudiar por donde pasará el trayecto son.

Comuna	Ciudad	Población hab
Quillota	San Pedro	4.093
Quillota	Quillota	73.261
La Cruz	La Cruz	19.408
La Calera	La Calera	47.072

Tabla 4.2. Población ciudades. [14]

4.4.1. San Pedro.

Es una localidad perteneciente a la comuna de Quillota, ubicada a siete kilómetros aproximados en dirección sur de Quillota, con una superficie total de 1,45 Km², su población es de 4.093 hab y posee 1.255 viviendas. [14]

Por lo largo de los años ha sido destacada como un poblado campesino basando su economía en el trabajo de las tierras y campos, además de turismo de folklor nacional. Posee a sus alrededores extensas tierras en las cuales se cultivan frutos típicos de la zona y ganadería. La economía interna de la ciudad es pequeña pero activa, de la cual su población se nutre a diario. Las viviendas son en su mayoría de material de adobe. Es un pueblo tradicional que vio pasar en el siglo XX el ramal Valparaíso-Santiago por lo que contaba con estación ferroviaria.

4.4.2. Quillota.

Quillota es una ciudad y comuna ubicada en la zona centro de Chile en la Región de Valparaíso, es la capital de la provincia de Quillota y de ella depende el poblado de San Pedro entre otras. Sus coordenadas geográficas son paralelo 32° 54' de latitud sur y el meridiano 71° 16' de longitud oeste, se encuentra rodeado por cerros de la cordillera de la costa que pueden alcanzar los 1000 msnm destacando el cerro la Campana con 1880 msnm y se encuentra a orillas del río Aconcagua lo que transforma a la zona dada las condiciones meteorológicas en una zona potencial para el cultivo de los frutos como aguacate (palta) y chirimoyas. Actualmente con el Censo realizado en el año 2017 cuenta con 73.261 habitantes y 27.291 viviendas. [14]

La historia de la ciudad se remota antes de la llegada de los españoles a la zona, Quillota perteneció al imperio Incaico y era habitada por grupos de aborígenes. La fundación oficial de la ciudad se realizó el 4 de Julio de 1717 a través de una junta de poblaciones que la conformaban con la finalidad de formar una unión entre ellas para fomentar la seguridad.

En cuanto a su clima se presenta en forma seca algo prolongada. Según datos obtenidos de sus estaciones meteorológicas la temperatura máxima promedio anual alcanza los 21,1°C y la mínima de 7,9°C. Su mes más lluvioso es en Junio con un acumulado de 100,9 mm. La zona normalmente se cataloga con un clima llamado “mediterráneo con influencia oceánica”. (Anexo n°6)

“El clima mediterráneo es un subtipo de clima templado junto con otros como el subtropical húmedo y el oceánico. Se caracteriza por inviernos templados y lluviosos y

veranos secos y calurosos o templados, con otoños y primaveras variables, tanto en temperaturas como en precipitaciones. El nombre lo recibe del mar Mediterráneo, área donde es típico este clima y adquiere mayor extensión geográfica, pero también está presente en otras zonas del planeta, aunque con variaciones en cuanto a la distribución de las temperaturas. Las lluvias no suelen ser muy abundantes, aunque hay zonas donde se sobrepasan los 1000 mm. Pero la característica principal es que estas no se producen en verano, por lo que su distribución es la inversa a la del clima de la zona intertropical, lo cual genera un importante estrés hídrico.” (“Climatography of the United States No. 20 (1971–2000) - Los Angeles Downtown USC, CA”). [15]

Las precipitaciones sufren grandes variaciones inter anuales. Luego de años muy lluviosos se presentan años muy secos, es una tendencia de casi todas las ciudades del centro de Chile. Uno de los factores más importantes es el ENOS (El Niño oscilación del sur), dependiendo de su estado, existe una alta probabilidad de sufrir grandes variaciones de lluvia durante el invierno. Durante el verano no existe relación conocida entre El Niño-La Niña y las precipitaciones, que de por si son nulas o casi nulas en ciudades como Quillota y Limache. Las temperaturas también se ven afectadas, en un evento La Niña los inviernos son fríos y durante un evento El Niño son más cálidos de lo normal.

En cuanto a su economía destaca en el turismo y el comercio a nivel nacional e internacional, la mayor parte en la agricultura con extensos campos de plantaciones a los alrededores de la ciudad una gran variedad de frutas y verduras se producen aquí junto con las semillas de siembra. Para el año 2016 las empresas establecidas en Quillota exportaron un total de \$13,4 millones de dólares, es importante indicar que ha existido un decrecimiento de las exportaciones con una caída de -21% desde el año 2011, siendo Cuba el país donde van la mayor parte de las exportaciones. Las importaciones de empresas establecidas en Quillota sumaron \$49,24 millones de dólares siendo Argentina el principal país de intercambio. [16]

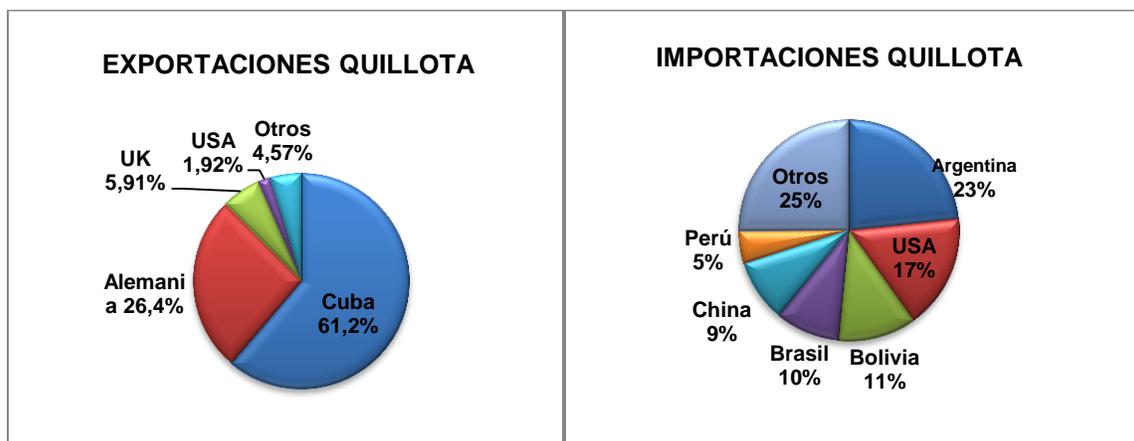


Figura 4.5. Exportaciones e importaciones Quillota. [16]

En 2014, Quillota generó una producción total de \$ 565,6 miles de millones. La productividad laboral basada en producción industrial en Quillota fue de \$17,8 millones

pesos anuales por empleado. Las principales industrias de Quillota son comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas, agricultura, ganadería, silvicultura y pesca y transporte y almacenamiento. Las ocupaciones más comunes en Quillota, según el número de trabajadores, son trabajadores no calificados, oficiales, operarios y artesanos de artes mecánicas y de otros oficios y Trabajadores de los servicios y vendedores de comercios y mercados.

Según la encuesta CASEN (Caracterización Socioeconómica Nacional) la ciudad posee un 98,4% de conectividad a la red eléctrica, 88,9% conectividad a la red de agua pública y el 67,5% de las viviendas se basa en la calefacción con fuego. A su vez se tiene una tabla resumen con los servicios más importantes promedio a encontrar en la ciudad.

Servicio	Cuadras a la redonda	Kilómetros cuadrados	Porcentaje
Transporte público	8	2,01	88,10%
Mercado	20	12,56	88,60%
Areas verdes	20	12,56	80,60%
Centro educacional	20	12,56	82,40%
Cajero automático	20	12,56	86,10%
Centro de salud	20	12,56	54,40%
Centro deportivo	20	12,56	76,40%
Farmacia	20	12,56	60,30%

Figura 4.6. Servicios en Quillota. [16]

4.4.3. La Calera.

Es una ciudad y comuna de la Región de Valparaíso, situada a orillas del río Aconcagua en dirección norte de la ciudad de Quillota, comúnmente se dice que es parte de la conurbación del Gran Quillota. Se ubica en las coordenadas paralelo 32°47' latitud sur y el meridiano 71°13' latitud oeste. La ciudad cuenta con una población total de 47.072 habitantes. [14]

La Calera posee un clima mediterráneo continentalizado con estación seca prolongada en verano, clima típico de la depresión intermedia y de los valles de la zona central de Chile. Una característica especial es su microclima con nublados matinales produciendo un efecto moderador muy importante en las temperaturas, favorables para cultivos y

plantaciones. En general, se presenta una humedad relativa del aire del orden del 60 %, y la temperatura promedio anual está entre los 18 °C. Al poseer un clima mediterráneo, las cuatro estaciones están bien marcadas: El verano es seco y caluroso, el otoño es fresco y algo húmedo, el invierno es frío y húmedo, y la primavera es agradable, con temperaturas que normalmente no superan los 23 o 24 grados. (Anexo n°6)

Para el año 2016 las firmas establecidas en Calera exportaron US\$ 1,73 millones. Durante los últimos años, las exportaciones de Calera han crecido a una tasa promedio anual del 4%, desde US\$ 1,42 millones en 2011 hasta US\$ 1,73 millones en 2016. Las principales exportaciones de Calera son las cebollas, que representa 42% del total de las exportaciones de Calera, seguida por frutas tropicales que representa el 25%. [16]

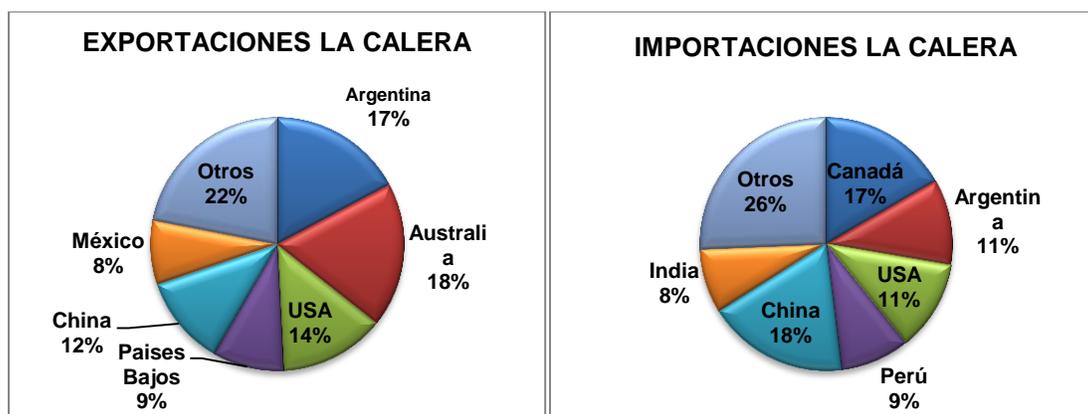


Figura 4.7. Exportaciones e importaciones La Calera. [16]

Según la encuesta CASEN (Caracterización Socioeconómica Nacional) la ciudad posee un 100% de conectividad a la red eléctrica, 99,8% conectividad a la red de agua pública y el 55,8% de las viviendas se basa en la calefacción con fuego. A su vez se tiene una tabla resumen con los servicios más importantes promedio a encontrar en la ciudad.

Servicio	Cuadras a la redonda	Kilómetros cuadrados	Porcentaje
Transporte público	8	2,01	96,40%
Mercado	20	12,56	93,80%
Areas verdes	20	12,56	90,20%
Centro educacional	20	12,56	94,80%
Cajero automático	20	12,56	95,00%
Centro de salud	20	12,56	93,60%
Centro deportivo	20	12,56	89,20%
Farmacia	20	12,56	42,40%

Figura 4.8. Servicios en La Calera. [16]

4.4.4. La Cruz.

Es una comuna y poblado de la Región de Valparaíso, se le considera parte del conurbado del Gran Quillota junto a La Calera, Nogales y Quillota, su zona es famosa por ser la capital nacional de la palta debido a la gran cantidad de cultivos que se producen y la calidad de sus productos. Se ubica en las coordenadas paralelo 32°48' latitud sur y el meridiano 71°14' latitud oeste. Posee uno de los estándares más alto de mejor calidad de vida en comparación al país y bajo riesgo de vulnerabilidad. Su población es de 22.098 habitantes hasta el Censo del año 2017. [14]

Está compuesto en su mayoría por plantaciones y predios agrícolas, cuenta con gran cantidad de explotación de árboles frutales destacando las paltas y la chirimoya muy características de esta zona todo gracias al cruce que hace el río Aconcagua que nutre de agua y minerales todo su valle. La población se distribuye en pequeños poblados rurales y también una zona urbana que concentra los principales comercios. El clima de La Cruz, en invierno es una época de lluvias y en verano hay una ausencia de estas, acompañada de una leve sequía que dura hasta la vuelta del invierno, lo que permite la presencia de una rica cantidad y variedad de flora y fauna. Gracias a este clima, es que en la comuna se destaque la producción de frutas y hortalizas.

En 2016 las firmas establecidas en La Cruz exportaron US\$ 2,59 millones. Durante los últimos años, las exportaciones de La Cruz han crecido a una tasa promedio anual del 14%, desde US\$ 1,32 millones en 2011 hasta US\$ 2,59 millones en 2016. Las principales exportaciones de La Cruz son Frutas Tropicales, que representa 85% del total. En 2016

las importaciones de empresas establecidas en La Cruz sumaron US\$ 1,63 millones. Durante los últimos años, éstas han decrecido a una tasa promedio anual del -9%, desde US\$ 2,62 millones en 2011 hasta US\$ 1,63 millones en 2016. Las principales importaciones de La Cruz son Frutas Tropicales, que representa 25%. [16]

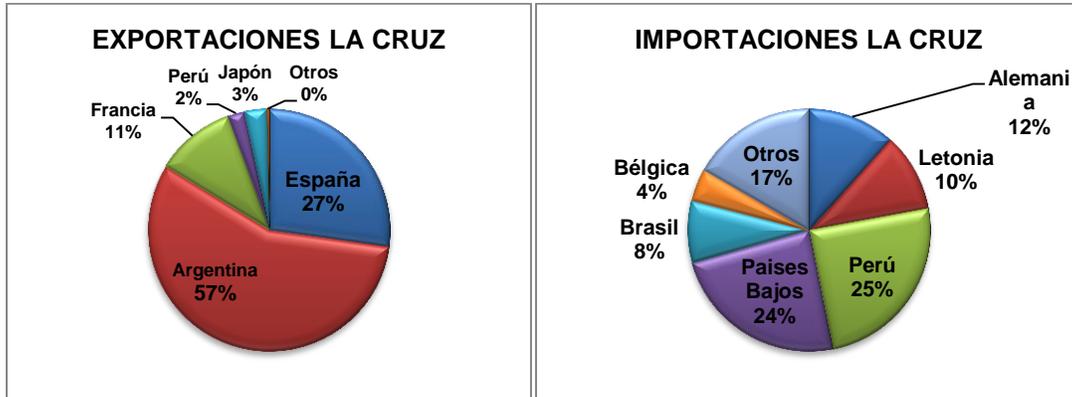


Figura 4.9. Exportaciones e importaciones La Cruz. [16]

4.5. Planteamiento de alternativas del trazado.

En un principio y según lo estipulado por la Empresa de ferrocarriles del Estado en sus términos de referencia para la licitación del proyecto en Noviembre del año 2017 se considerará la rehabilitación de la faja actual existente, la cual tiene una longitud de 25 Km aproximado y compuesto de una sola vía. También se propondrán alternativas de trazado según criterios propios para comparar si existe una opción viable y a la vez descartar opciones inviables, con el fin de buscar y comparar las diversas opciones disponibles.

Las alternativas al trazado original nacerán en primer lugar al buscar una alternativa en el sector de Quillota tal como lo propone EFE en sus términos de referencia, en la zona entre las estaciones Quillota Sur y San Pedro, desplazando la vía al poniente lo más cercano a la Ruta CH-60.

Por último el túnel San Pedro actualmente posee un ancho capaz de aceptar una sola vía, por lo que las alternativas en los trazados para el túnel varían según el paso que se realice por el o la alternativa de construcción de un túnel paralelo a él para el paso de la segunda vía.

4.5.1 Opciones de trazado posible.

A continuación se presentarán tres alternativas de trazado para el proyecto de extensión del MERVAL, cada una de las opciones se escogen en base al máximo aprovechamiento de la vía existente junto con propuestas de nuevos trazados en terrenos aledaños.

4.5.1.1. Opción 1.



Figura 4.10. Trazado satelital opción 1.

La primera opción de trazado será la utilización de la vía existente, actualmente sirve de transporte de carga compuesta por una trocha ancha de 1676 mm y un largo de 24,9 Km.

Esta vía sigue la faja del antiguo ferrocarril Valparaíso – Santiago, comenzando en la estación Limache con una primera curva en sentido izquierdo para tomar un tramo de 1.200 m en dirección Noroeste la cual tiene su desarrollo de forma paralela a la ruta F-62. La vía gira levemente hacia la derecha para adentrarse al inicio del túnel San Pedro, la orografía del sector provoca que este túnel sea la única solución factible para cruzar el cordón montañoso pero a la vez solo tiene ancho con capacidad de una trocha. El túnel tiene una longitud aproximada de 480 m. (Anexo n°9 figura A54)

La salida se produce en una zona rodeada por la vegetación en dirección Noreste y en forma recta por unos 1.000 m aproximados hasta encontrar una curva en sentido izquierdo que toma rumbo Norte y otra curva hacia la derecha con la cual se hace ingreso al poblado de San Pedro. Aquí se ubicará la segunda estación del trazado, la vía cruza el poblado prácticamente por el centro de este por lo cual tendrá una accesibilidad cómoda para todos los usuarios. (Anexo n°9 figura A54)

Esta opción de trazado deja desde la entrada a San Pedro hasta la llegada a la estación Quillota Sur un trayecto recto con el cual se optimiza el tránsito del servicio, en dirección Noreste y con una longitud aproximada de 6.530 m. El trazado rodea la ciudad de Quillota por su costado derecho no accediendo a una zona céntrica. Antes de entrar a la siguiente curva se ubicará la estación Quillota Centro. La vía toma una curva hacia la izquierda para continuar recorrido dirección Norte por 1.800 m y una siguiente curva hacia la derecha para salir de la ciudad de Quillota por el Norte de esta. (Anexo n°9 figura A54)

A continuación viene un tramo recto con un leve giro hacia la izquierda en la mitad de este, la longitud total es aproximadamente 6.000 m y hace su recorrido hasta el poblado de La Cruz siguiendo por el costado a la ruta CH-60 (autopista de los Andes). Aquí se ubicará la penúltima estación del trazado en la zona centro de este. (Anexo n°9 figura A55).

Finalmente la última sección de la vía hasta la estación de La Calera se produce con dos curvas hacia la derecha accediendo a la ciudad en dirección Noreste a un costado de la ruta CH-60 (Anexo n°9 figura A55).

En el capítulo 6 se detallan las curvas que contiene esta opción de trazado.

A grandes rasgos para la Opción 1 se tienen las siguientes ventajas y desventajas.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Trazado sigue a la faja original, no se necesitan demasiadas expropiaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • La vía no se encuentra electrificada para aceptar al material rodante de Merval.
<ul style="list-style-type: none"> • Existe un ancho adecuado en gran parte de la faja para la construcción de una doble vía. 	<ul style="list-style-type: none"> • Existencia de un túnel con capacidad para una sola vía.
<ul style="list-style-type: none"> • Vía optimizada con tramos rectos de gran longitud. 	<ul style="list-style-type: none"> • Traviesas existentes son de madera, no se podrán reutilizar en la vía.
<ul style="list-style-type: none"> • Traviesas de madera pueden reutilizarse como cerramiento perimetral en algunas zonas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gran cantidad de pasos a nivel.

Tabla 4.3. Ventajas y desventajas opción 1.

Si bien todo el trazado está hecho con una sola vía, se aprecia que existen los terrenos adecuados y espacios para poder construir una segunda sin la necesidad de efectuar demasiadas expropiaciones, a continuación se analizarán los estados del ancho de la vía en diversos puntos de esta con una medición aproximada de su ancho.

En el primer tramo que corresponde a la salida de la estación Limache hasta el ingreso al túnel San Pedro se tiene parcialmente una doble vía y posteriormente una sola, pero con un ancho promedio de terreno disponible de 15 m. Si bien tiene al costado la ruta F-62, entre ellos existe una separación de tierra con vegetación tipo palmera mientras que por el otro costado de la vía férrea existe vegetación tipo matorral.

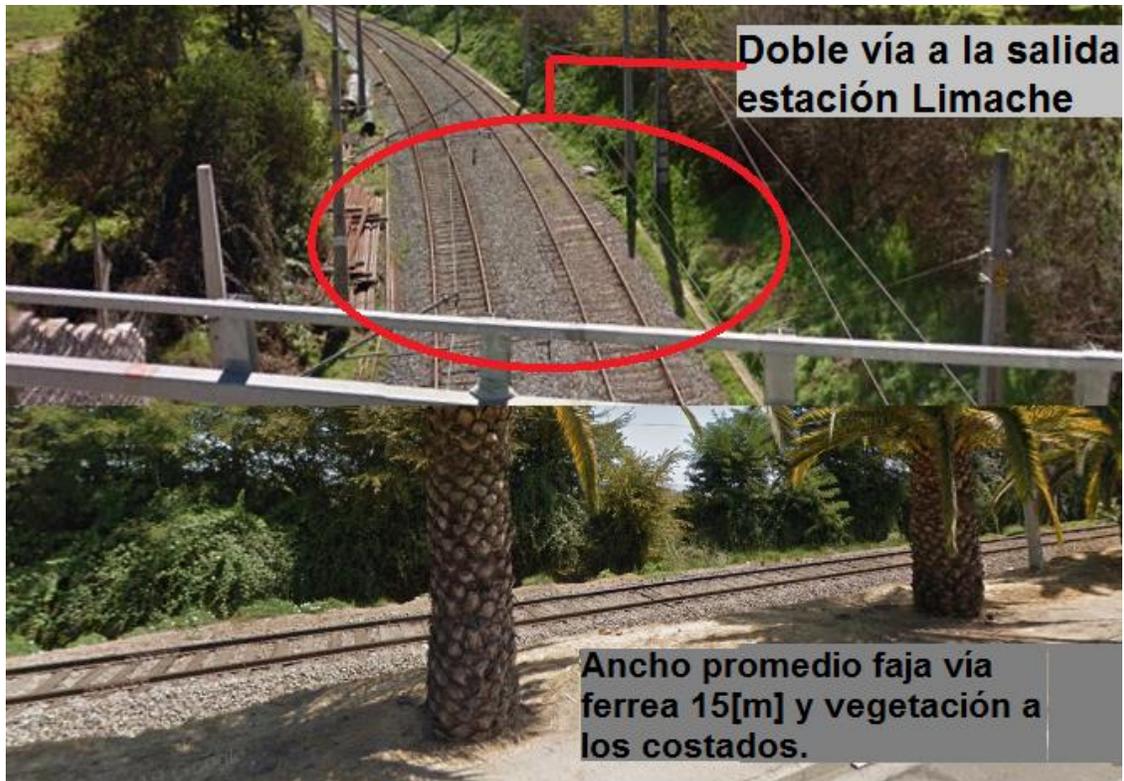


Figura 4.11. Ancho de faja.

En las trincheras de entrada y salida del túnel no existe un ancho adecuado para la construcción de la segunda vía, la trinchera es roca solida por lo que dependiendo de la solución adoptada para la zona del túnel se deberán tomar las medidas necesarias. En la salida dirección norte ya una vez fuera de las trincheras se cuenta con un trayecto recto en zona rural rodeado de campos, por lo que es más fácil el desarrollo de una doble vía, sin embargo el ancho existente es de promedio 15 m, suficiente para una futura construcción.



Figura 4.12. Ancho de faja salida túnel San Pedro.

La vía continua con leves curvas hasta el poblado de San Pedro en donde hace ingreso por la parte sur de éste cruzando una ruta de carretera e ingresando al centro de la ciudad. Aquí al existir desde el siglo pasado una estación con motivo al ferrocarril Valparaíso-Santiago hay espacio suficiente para la construcción de una doble vía y de la estación solicitada por el proyecto, hay vestigios de restos ferroviarios y el poblado ha crecido en torno a la vía. Desde la salida norte de San Pedro hasta la estación Quillota Sur el tramo es recto con una longitud aproximada de 5.000 m, lo que hace un tramo ideal para alcanzar la máxima velocidad dado que es una zona rural sin cruces ni pasos de nivel tan concurridos.

La llegada a Quillota se produce por la zona sur, aquí se dispondrá una de las dos estaciones de la ciudad, la característica es que la vía rodea a la ciudad por la zona este, la estación centro tiene como fin darle accesibilidad a la población de la ciudad que habita las zonas norte y oeste, con esto se cruza de sur a norte la ciudad abarcando a todos los usuarios que quieran acceder al servicio. Al entrar a la localidad por la zona sur la línea férrea cruza a la Autopista de los Andes (figura 4.13), esta última posee un paso sobre nivel y desde ella se aprecia que existe un espacio adecuado para la construcción de una doble vía.



Figura 4.13. Ancho de faja cruce autopista los andes.

Desde Quillota hasta La Cruz existe un ancho promedio de 13 m de faja disponible, rodeada por vegetación y con el espacio suficiente para poder ampliar y construir la doble vía, en la figura 4.14 se puede apreciar en un paso a nivel el estado de la vía y la posibilidad que existe para el proyecto. Este ancho disponible se mantiene hasta la salida norte del poblado de La Cruz por lo que existe una condición adecuada para el trabajo.



Figura 4.14. Ancho faja en paso a nivel.

La salida norte de La Cruz cuenta con un ancho promedio disponible de 12 m así hasta llegar a la ciudad de La Calera, se destaca que existen construcciones a los costados de la faja de la vía que están separadas por muros perimetrales de las viviendas que colindan, también existe vegetación a lo largo del desarrollo de este proyecto.



Figura 4.15. Ancho de faja en sector Quillota.

Ya en el final del recorrido en las cercanías de la ciudad de La Calera la faja de la vía sigue teniendo un ancho promedio de 12 m y se desarrolla de forma casi paralela con la Autopista de los Andes, en esta parte la vía tiene por su lado derecho vegetación tipo matorral y árboles y por su lado izquierdo viviendas con muros perimetrales. En el kilómetro 23,6 Km existen vestigios de una antigua doble vía.



Figura 4.16. Doble vía existente.

Así de esta forma se comprueba la capacidad existente de la faja en toda su extensión, por lo que a primera vista se puede concluir que existe terreno disponible para el ensanchamiento de la faja y construcción de la doble vía, de otro modo en puntos críticos que puedan existir se puede llegar a hacer expropiaciones pero que en su mayoría corresponderán a terrenos sin viviendas de particulares. Un aproximado nos indica que el 70% del desarrollo del trayecto se hace en zona rural o campo y el otro 30% dentro de poblados o ciudad. En este trazado existen diversos cruces a nivel que serán analizados en el capítulo 8, pero destacando que en su mayoría corresponden a vías poco transitadas de carácter rural. En el anexo n°11 se especifican los pasos a nivel que posee la Opción 1.

El perfil longitudinal a primera vista extraído del software Google Earth nos da una mirada preliminar de cómo está dispuesta la faja de la vía a lo largo de su desarrollo, destaca la zona del túnel en donde se tienen las máximas elevaciones. A medida que nos vamos acercando a la ciudad de La Calera la altitud del terreno va aumentando. Se respetan las pendientes de 2% admitidas por la vía férrea.

4.5.1.2. Opción 2.

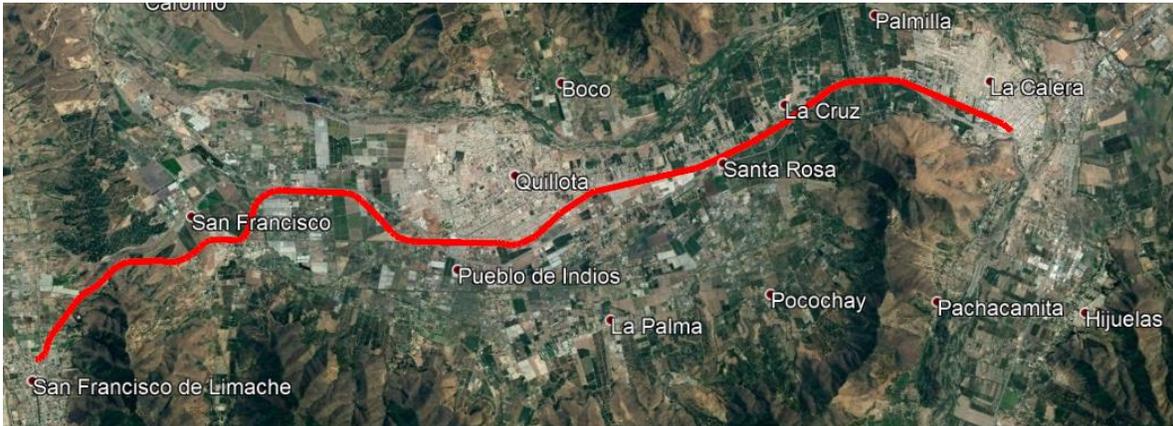


Figura 4.17. Trazado satelital opción 2.

La segunda opción de trazado será la utilización del 65% de la vía existente, completando el porcentaje restante con un nuevo trazado. Se diferencia de la opción 1 en el kilómetro 6,06 Km en donde se produce un cambio en la ruta a la salida norte del poblado de San Pedro para buscar una alternativa propuesta por EFE en sus términos de referencia con el fin de acercar la línea férrea a la ruta CH-60, el trazado estará compuesto por una trocha ancha de 1676 mm y un largo de 25,8 Km.

Esta vía ocupa parte de la antigua faja del ferrocarril Valparaíso Santiago, por lo que comparte gran parte de esta con la opción 1. En la salida norte de San Pedro la vía gira en dirección noroeste por cerca de 1.500 m para recorrer paralelamente la zona con la ruta CH-60 (Autopista de los Andes) en dirección noreste, así se desarrolla el trazado por 1.200 m hasta girar en dirección derecha para tomar rumbo a la entrada sur de Quillota. Esta diferencia de trazado es de aproximadamente 5 Km en comparación a la opción 1 quien hace esta parte del trazado de forma recta sin ninguna curva. El trazado antes y después de esta variación comparte la misma vía que la solución 1. (Anexo n°9 figura A56)

En el capítulo 6 se detallan las curvas que contiene esta opción de trazado.

A grandes rasgos para la Opción 2 se tienen las siguientes ventajas y desventajas.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Trazado sigue en gran parte a la faja original, se aprovecha la vía existente. 	<ul style="list-style-type: none"> • La vía no se encuentra electrificada para aceptar al material rodante de MERVAL.
<ul style="list-style-type: none"> • Existe un ancho adecuado en gran parte de la faja para la construcción de una doble vía. 	<ul style="list-style-type: none"> • Existencia de un túnel con capacidad para una sola vía.
<ul style="list-style-type: none"> • La alternativa propuesta por EFE se desarrolla en un campo con de inclinación promedio 0,8%. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se necesitan hacer expropiaciones en terreno rural.
<ul style="list-style-type: none"> • Se aleja la vía de zonas y poblados 	<ul style="list-style-type: none"> • .Construcción de nueva faja de la

rurales para acercarlo a una autopista.

vía.

Tabla 4.4. Ventajas y desventajas opción 2.

Este desvío propuesto se produce en una zona agrícola con múltiples terrenos de cultivos y existencia de construcciones del tipo invernaderos. La pendiente del terreno es en su mayoría plana variando como máximo hasta el 2%. Al hacer este tramo se perdería una consistencia en el camino que es el tener un tramo recto para aprovechar el máximo rendimiento del servicio pero se acercaría la vía férrea a la autopista que ayudaría a tener las vías de transporte más juntas en caso de producirse un accidente en alguna de ellas y así tener una fácil accesibilidad en caso de problemas.

Como se estudió en la opción 1, el trazado en casi toda su longitud no tendría problemas para la construcción de doble vía ya que se cuenta con un ancho adecuado para esto, en la opción 2 al proponer la nueva parte del trazado se deberán realizar expropiaciones en los terrenos agrícolas, mayores movimientos de tierra y nuevos pasos a nivel entre los kilómetros 6,06 Km y 10,7 Km. En el anexo n°11 se especifican los pasos a nivel que posee la Opción 2.

El perfil longitudinal de la opción 2 nos muestra que una vez pasada la zona montañosa del túnel San Pedro el terreno asciende a una pendiente promedio del 1% hasta llegar a la ciudad de La Calera. En la nueva zona considerada para esta alternativa la pendiente tiene un valor máximo de 1,5% que puede ser corregido al momento de realizar la construcción de la nueva faja.

4.5.1.3. Opción 3.

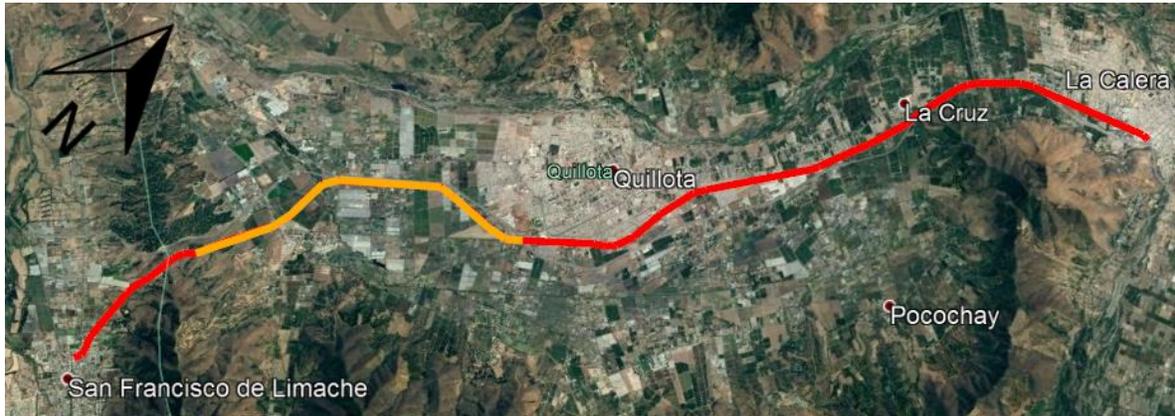


Figura 4.18. Trazado satelital opción 3.

Esta opción tiene una longitud de 25,7 km y por una trocha ancha de 1676 mm, se destaca por usar un 60% del trazado propuesto en la opción 1 y un 40% de nuevo trazado. La diferencia se produce en el punto 3,35 Km en donde la vía se desvía con una curva hacia la izquierda para tomar rumbo norte, de esta forma el paso por la ciudad de San Pedro se hace por un costado y no haciendo ingreso al centro de la ciudad. A sí mismo la vía férrea se prolonga hasta llegar a un costado de la ruta CH-60 de forma similar a la opción 2, para luego retomar la faja de la vía existente al sur de la ciudad de Quillota y continuar por esta vía existente. (Anexo n°9 figura A59)

Como se hará un desvío a 1500 metros de la entrada sur de la ciudad de San Pedro la vía pasará por terrenos en los que hay presencia de viviendas privadas, tratando de abrirse paso lo más cerca de la ciudad, con esto se agrega otra opción para ser evaluada y puede llegar a ser interesante en los intereses del mandante, ya que se evita tener el paso de ferrocarriles por el centro de la ciudad llevando a las periferias todo el tráfico y ruido que pudiera generar.

En la figura 4.19 se aprecia remarcado en color rojo el paso de la opción 3, el nuevo trazado hace una línea recta hasta entrar a San Pedro y pasa muy cerca de viviendas en donde puede ubicarse la potencial estación de la ciudad. El nuevo trazado pasa por terrenos agrícolas en donde existen plantaciones varias.



Figura 4.19. Desvío opción 3 antes de llegar a San Pedro.

A grandes rasgos para la Opción 3 se tienen las siguientes ventajas y desventajas.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Trazado sigue en gran parte a la faja original, se aprovecha la vía existente. 	<ul style="list-style-type: none"> • La vía no se encuentra electrificada para aceptar al material rodante de Merval.
<ul style="list-style-type: none"> • Existe un ancho adecuado en gran parte de la faja para la construcción de una doble vía. 	<ul style="list-style-type: none"> • Existencia de un túnel con capacidad para una sola vía.
<ul style="list-style-type: none"> • La alternativa propuesta por EFE se desarrolla en un campo con de inclinación promedio 0,8%. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se necesitan hacer expropiaciones en terreno rural y agrícola.
<ul style="list-style-type: none"> • Alejar la vía de la ciudad de San Pedro ayuda a sacar el tráfico ferroviario del centro de la población. 	<ul style="list-style-type: none"> • .Construcción de nueva faja de la vía.

Tabla 4.5. Ventajas y desventajas opción 3.

El nuevo desvío pasaría por terrenos agrícolas que deben ser expropiados sumados a esto algunas viviendas privadas existentes en la entrada de San Pedro. La vía haría un recorrido parecido a la opción 2 acercándose a la ruta CH-60. La faja existente a aprovechar no tiene problemas de anchura para una doble vía. Se deben hacer nuevos pasos de nivel correspondientes a la zona de entrada a San Pedro existiendo un cruce de importancia con la principal vía de acceso automovilística del poblado. En el anexo n°11 se especifican los pasos a nivel que posee la Opción 3.

El perfil longitudinal de la opción 3 nos muestra que una vez pasada la zona montañosa del túnel San Pedro el terreno asciende a una pendiente promedio del 1% hasta llegar a la ciudad de La Calera. En la nueva zona considerada para esta alternativa la pendiente tiene un valor máximo de 1,9% que puede ser corregido al momento de realizar la construcción de la nueva faja.

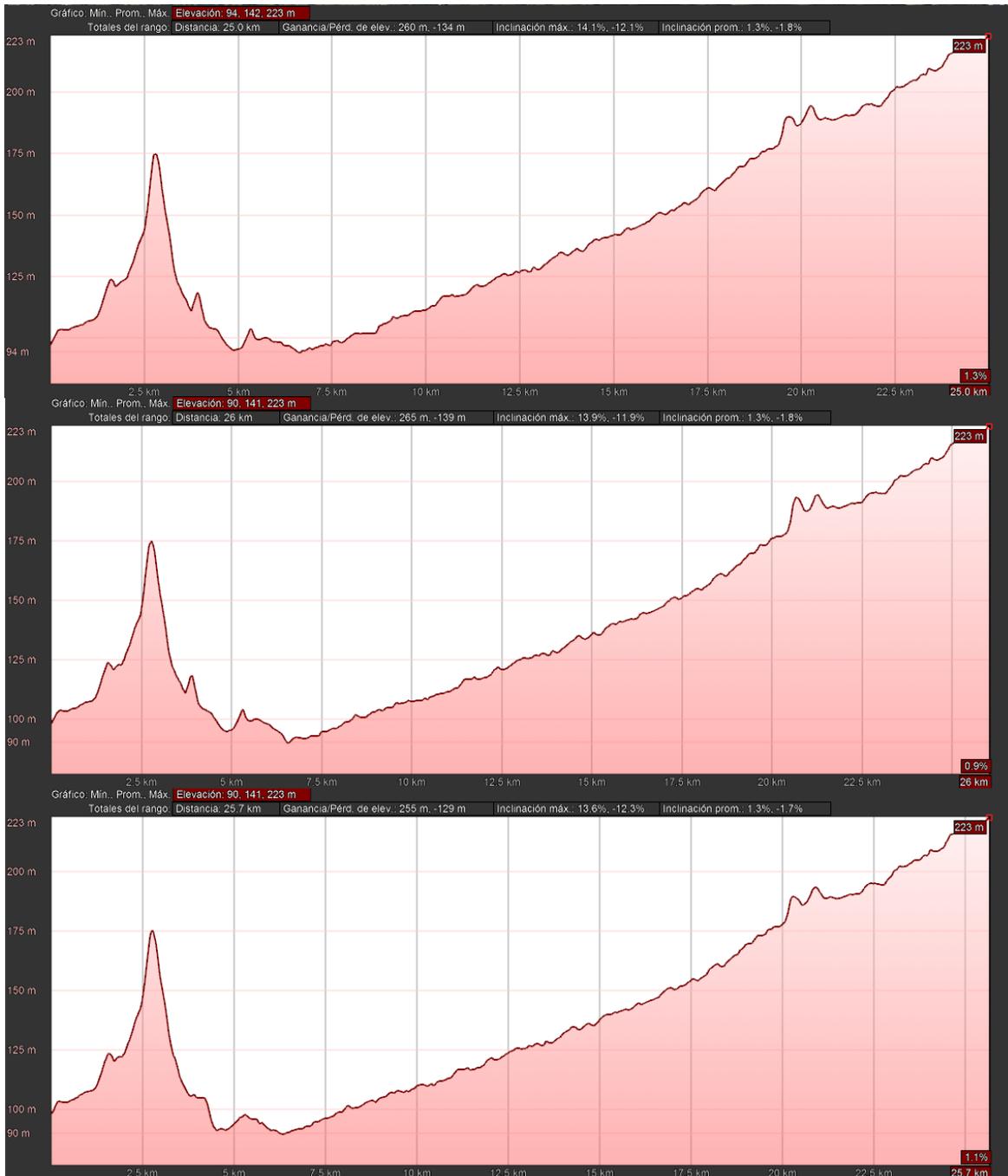


Figura 4.20. Perfiles longitudinales de las tres opciones

4.6. Características nuevas estaciones.

Según lo estipulado por la Empresa de Ferrocarriles del Estado en sus términos de referencia para la licitación del proyecto en noviembre del año 2017 se considera la construcción de cinco nuevas estaciones en superficie y la rehabilitación de la Estación Limache para transformarla de estación terminal a estación de paso. Como característica

para estas estaciones su conexión entre andenes deberá ser soterrada y dispuesta con una mesanina también soterrada. [17]

Así las estaciones que compondrán este nuevo trazado serán.

Ciudad	Nombre	Condición	Servicio
Limache	Limache	Reacondicionada	Paso
San Pedro	San Pedro	Nueva	Paso
Quillota	Quillota Sur	Nueva	Paso
Quillota	Quillota Centro	Nueva	Paso
La Cruz	La Cruz	Nueva	Paso
La Calera	La Calera	Nueva	Terminal

Tabla 4.6. Estados nuevas estaciones.

El número de estaciones será fijo independiente del trazado que se elija como más favorable, todas las alternativas deberán proponer la misma solución para los pasajeros pudiendo variar en cada una de ellas la posición de la estación dentro de la ciudad. EFE no detalla las coordenadas específicas para la ubicación física de las estaciones, pero el criterio a escoger será la de mejor acceso para los usuarios y conectividad de la ciudad, dependiendo por donde pase el trazado de la vía férrea.

Las cinco nuevas estaciones al ser nuevas y de paso (salvo la estación La Calera) deberán estar ubicadas en un espacio lo suficientemente amplio para contener dos vías, dos andenes y la conexión de paso subterránea, además de los accesos a esta desde una calle accesible y lo más céntrica posible para el beneficio de la población.

Por último la presentación de las estaciones para Merval sería la siguiente.



Figura 4.21. Red de las nuevas estaciones.

4.6.1. Estación Limache.

Fue construida en el año 1863 y reinaugurada en 2005, en sus alrededores cuenta con talleres de infraestructura, revisión y mantenimiento de los trenes. Los usuarios que llegan a la estación se encuentran en la salida con la conexión Bus+Metro propuesta por Merval. La estación Limache como se dijo anteriormente debe ser reacondicionada, esto porque actualmente funciona como estación terminal y no está adecuada para el uso de estación de paso, no cuenta con adecuada conexión entre andenes ni la seguridad propia, requerirá modificarse con vías y andenes nuevos.

La estación se encuentra en el centro de una curva de radio aproximado 300,00 m como muestra la figura 4.22.



Figura 4.22. Vista satelital estación Limache.

La idea principal para esta estación es la construcción de un nuevo edificio que cuente con los estándares de EFE para prestar servicios a la nueva población de usuarios que llegaran provenientes de La Calera y Quillota, de esta forma se cambiaría la fachada de la antigua estación por una construcción más moderna. También existe la posibilidad de mantener el antiguo edificio junto a una nueva construcción, de esta forma se mantendría el patrimonio de la ciudad de Limache. Para las tres alternativas de trazado este será el punto de partida del proyecto.

4.6.2. Estación San Pedro.

La primera estación fue inaugurada en 1863 y estuvo en funcionamiento hasta la clausura en el año 1995, tenía una importancia operacional en la línea de EFE puesto que en ella se bifurca la línea hacia el poblado costero de Ventanas extendiéndose como sub ramal de la línea principal. Estaba ubicada en el centro del pueblo ($32^{\circ}56'17''S$ $71^{\circ}16'35''O$) teniendo un excelente acceso para todos los usuarios de la época y con espacios amplios para la carga y descarga de material de transporte pesado. La estructura original de la estación fue consumida casi por completo en un incendio ocurrido el 9 de julio de 2017 ocasionando la pérdida del edificio histórico que estaba en estudio para ser declarado Patrimonio Nacional de Chile.



Figura 4.23. Estación San Pedro luego del incendio. [36]

La ubicación de la nueva estación propuesta para el servicio dependerá de la alternativa a analizar ya que San Pedro es el único punto en que el trazado cambia según la opción que se escoja, cabe destacar que las opciones de trazado 1 y 2 hacen su paso por el centro del poblado y la solución de la estación será igual para estas dos. Cada análisis de las opciones tomará como base la mejor conexión para los usuarios y acceso cómodo del transporte público y la futura estación será considerada como de paso similar a las múltiples existentes ya en la red, por lo que no se considerará la construcción de un edificio ya que no es necesario debido a la demanda que tendrá la red en este punto.

4.6.2.1. Solución opción 1 y 2.

Esta opción es común para ambos trazados ya que consideran la faja original de la vía que hace paso por San Pedro de forma muy céntrica. Al analizar los terrenos que rodean la vía existen muchas alternativas disponibles para ubicar la futura estación. La ubicación elegida será frente a la avenida Alfredo Dueñas, en esta zona existe un terreno adecuado para la construcción de la estación de paso con bastante ancho para recibir la construcción.

La zona está ubicada en la coordenada $32^{\circ}56'09.1''S$ $71^{\circ}16'29.6''W$, en el momento del estudio no hay obras ni edificaciones cercanas al terreno. A su frente existen viviendas particulares y la conexión vehicular por la avenida es lo suficientemente cómoda para prestar servicios de locomoción pública para el acercamiento.



Figura 4.24. Ubicación satelital estación Limache.

La estación contará con un acceso que será a través de torniquetes para validar el pago para usar el servicio, al ser dos vías de paso ferroviario se construirán un andén de subida y bajada para cada sentido en que circule el tren con una zona techada para la espera del servicio, estos andenes deberán estar conectados entre sí para el cambio de dirección de manera soterrada, teniendo un paso subterráneo facilitando la seguridad de los usuarios, también contará con ascensores para personas con movimiento reducido. El largo total de la estación será de 100 m aproximados y el ancho de cada andén será aproximadamente de 2,5 m debido a que esta estación no es considerada de alta demanda de usuarios.

En la figura 4.25 se puede ver un ejemplo de cómo será la estación basada en su homónima de la ciudad de Quilpué "Estación Sol". La primera fotografía muestra una vista general de las vías férreas con su respectiva separación según dice la normativa técnica NT-01-01-01, se aprecia el ancho disponible de tránsito para los usuarios y las zonas de esperas. En la segunda foto se muestra la terminación del andén de espera, con separaciones metálicas entre la estación la vía pública de manera de evitar posibles traspasos no autorizados de peatones y sirviendo de salida o acceso inmediato ante cualquier emergencia que se pueda presentar.

En general las otras dos opciones compartirán el mismo tipo de diseño arquitectónico de estación.



Figura 4.25. Interior estación El Sol.

4.6.2.2. Solución opción 3.

La opción 3 considera un desvío y no usa la faja original del trazado que recorre el centro de San Pedro, el desvío se produce en la entrada sur trazando una recta de 400 m, se considerará que la ubicación de la estación estará después del paso a nivel con el principal acceso carretero a San Pedro. Así de esta forma se decide su ubicación en los terrenos frente a la villa que existe en la zona con coordenadas $32^{\circ}56'15.4''S$ $71^{\circ}16'48.3''W$, en esta zona existe un terreno adecuado para la construcción de la estación de paso con bastante ancho para recibir la construcción.



Figura 4.26. Ubicación satelital estación San Pedro.

La forma arquitectónica y detalles de la estación serán las mismas consideradas en el Anexo n°2. Para las soluciones 1 y 2. A destacar es el acceso que se tendrá a la estación por medio de la calle Teniente Merino ubicada al frente del terreno a construir, el paso entre andenes será soterrado y contará con todas las medias de seguridad que así lo indica EFE en su normativa.

4.6.3. Estación Quillota.

La ciudad de Quillota contará con dos estaciones según lo estipulado por la Empresa de Ferrocarriles del Estado en sus términos de referencia para la licitación del proyecto en noviembre del año 2017, y serán construidas en las zonas sur y centro de la ciudad, considerados puntos estratégicos para abarcar la mayor cantidad de usuarios debido a que la ciudad tiene una longitud de 5 km aproximados. Actualmente no existen estaciones operativas en la ciudad ya que la faja de la vía fue cambiada a la original del ferrocarril Valparaíso-Santiago.

La primera línea férrea que circuló por Quillota hacia su paso por la actual Avenida Condell, arteria vehicular céntrica de suma importancia en la actualidad, por esta línea existían dos estaciones que daban servicio al ferrocarril. La línea fue removida debido a la constante expansión que tenía la ciudad. Años más tardes se construyó la actual faja que rodea la ciudad por el sector oriente. En la figura 4.27 se aprecia la distancia que tiene la actual faja de la vía férrea en comparación a las antiguas estaciones, que fueron quedando relegadas en el centro de la ciudad.



Figura 4.27. Vista satelital distancia antiguas estaciones de Quillota con nueva faja.

La antigua estación sureste de la ciudad tenía por nombre Corvi, debida al sector en que se ubicaba, fue inaugurada en el año 1958 y clausurada en 1995 con una posterior destrucción del edificio era considerada secundaria en comparación a la antigua estación central de la ciudad.

La estación Quillota era la de mayor importancia de la ciudad y se ubicaba en pleno centro de esta en aquellas épocas, inaugurada en 1856 y clausurada en 1995. Hoy en día

se emplaza un centro cultural en el sector debido a que la edificación original sufrió un incendio en el año 2004.



Figura 4.28. Fotografías de las antiguas estaciones de Quillota. (izq. Corvi; der Quillota.) [37]

4.6.3.1. Solución estación Quillota Sur.

La solución para esta estación será la misma para las tres opciones de trazado debido a que se considera que estas ocupan la faja actual de la vía. La posición de la estación se enfocará en abarcar el sector sur de la ciudad sirviendo de transporte para una cantidad mayor de usuarios en comparación a la estación San Pedro y debiendo hacer frente a los horarios picos en los cuales se verá sometida a grandes flujos de pasajeros.

La línea férrea hace ingreso a Quillota por el sector sureste cruzando la ruta CH-60 por un paso inferior lo cual no provoca una disminución de velocidad, más adelante se encuentra una zona de alto nivel comercial en el cual existe un centro de comercio muy concurrido por la población y diversas viviendas particulares. Al consultar fotos aéreas se nota la presencia de terrenos baldíos sin construcciones en los cuales existe espacio suficiente la ubicación de la estación.

El punto escogido es en la coordenada $32^{\circ}53'48.7''S$ $71^{\circ}14'34.3''W$, aquí la línea férrea tiene a su izquierda un importante centro comercial y a su derecha terrenos agrícolas que pueden ser expropiados para la construcción de la estación. Se escoge este punto por que puede existir la capacidad de conectar el centro comercial con la estación a través de un paso superior para peatones con el fin de comunicarlos directamente a los servicios que necesiten, de esta forma se abarca a la población que quiera acceder o retirarse del comercio y también conectar la estación a una de las calles que la rodean para que la circulación sea independiente a la del paso superior y puedan acceder al transporte las personas que habiten la zona.

En la figura 4.29 se ve la ubicación de la futura estación, en ella se aprecia lo cerca que está del centro comercial y de las viviendas.



Figura 4.29. Vista satelital ubicación nueva estación Quillota Sur.

La estación contará con un acceso que será a través de torniquetes para validar el pago para usar el servicio, al ser dos vías de paso ferroviario se construirán un andén de subida y bajada para cada sentido en que circule el tren con una zona techada para la espera del servicio, estos andenes deberán estar conectados entre sí para el cambio de dirección de manera soterrada, teniendo un paso subterráneo facilitando la seguridad de los usuarios, también contará con ascensores para personas con movimiento reducido. El largo total de la estación será de 120 m aproximados y el ancho de cada andén será aproximadamente de 3 m.

En la figura 4.30 se puede ver un ejemplo de cómo será la estación basada en su homónima de la ciudad de Valparaíso “Estación Francia”. En ella se puede ver el ancho de los andenes de espera y la zona techada para los usuarios, una vista general de las vías férreas con su respectiva separación según dice la normativa técnica NT-01-01-01.



Figura 4.30. Ejemplo interior futura estación Quillota Sur.

4.6.3.2. Solución estación Quillota Centro.

Al igual que la Estación Sur esta solución será la misma para las tres opciones de trazado debido a que se considera que estas ocupan la faja actual de la vía. Será considerada como la estación principal de Quillota debido a la zona en donde será ubicada, teniendo muy cerca las principales calles y avenidas céntricas de la ciudad marcando una buena conexión con la locomoción colectiva que exista en sus alrededores. Deberá ser capaz de soportar grandes flujos de pasajeros sobre todo en horarios pico debido a que la ciudad moviliza gran cantidad de usuarios a diario hacia los diversos poblados de la región.

La ubicación será en la coordenada $32^{\circ}52'33.0''S$ $71^{\circ}14'09.3''W$ distante a unos 2m aproximados de la Estación Sur, la zona cuenta con terrenos baldíos para ser expropiados y capaces de recibir la construcción, está rodeada por múltiples villas con viviendas privadas, colegios, hoteles y un importante centro comercial a los cuales se puede acceder con facilidad una vez llegado a destino. El proyecto puede considerar la unión de la estación con alguna calle que los rodea para dar mayor facilidad al acercamiento mediante vehículos.

La figura 4.31 muestra la fotografía aérea de la ubicación de la construcción.



Figura 4.31. Vista satelital ubicación nueva estación Quillota Centro.

La estación contará con un acceso que será a través de torniquetes para validar el pago para usar el servicio, al ser dos vías de paso ferroviario se construirán un andén de subida y bajada para cada sentido en que circule el tren con una zona techada para la espera del servicio, estos andenes deberán estar conectados entre sí para el cambio de dirección de manera soterrada, teniendo un paso subterráneo facilitando la seguridad de los usuarios, también contará con ascensores para personas con movimiento reducido. El largo total de la estación será de 120 m aproximados y el ancho de cada andén será aproximadamente de 3 m.

En general compartirá el mismo tipo de diseño arquitectónico de estación con la vista en el Anexo n°2. Diferiendo en su ubicación.

4.6.4. Estación La Cruz.

La estación fue inaugurada en 1863 cuando recibió por primera vez al tren que circulaba por la zona, contaba con bodegas de almacenamiento de productos que debían ser transportados o que eran recibidos para su comercialización. La estación también fue conocida como "La estación de las flores", ya que dos o tres vagones se colmaban diariamente con verduras o flores que serían posteriormente vendidas en Santiago o Valparaíso. Fue clausurada en 1995 cancelando los servicios de pasajeros, el edificio aún existe pero para fines privados, la línea férrea en la actualidad solo es transitada por ferrocarriles de carga.

La solución será la misma para las tres opciones de trazado ya que todas coinciden en ocupar la faja existente en este punto del trayecto. La ubicación será en la misma zona de la ex estación en la coordenada $32^{\circ}49'30.6''S$ $71^{\circ}13'26.7''W$, debido a que se cuentan con terrenos disponibles para la construcción y es un punto estratégico del poblado que al ser un poco disperso y no concentrado lograría abarcar a casi toda la población que la habita. Al ver la figura 4.32 se aprecia que la estación estaría ubicada a metros de un paso a nivel, teniendo buen acceso y conexión con los vehículos que quieran acercarse para usar el transporte ferroviario. A su vez el proyecto está muy cerca de la ruta CH-60 lo cual puede servir como solución si se presenta una emergencia en la zona.



Figura 4.32. Paso a nivel estación La Cruz, en el fondo se ve el antiguo edificio de la estación.

Las características de la estación serán similares a las vistas en el Anexo n°2 debido a que el poblado de San Pedro y La Cruz abarca una población parecida de futuros usuarios.



Figura 4.33. Vista satelital ubicación nueva estación La Cruz.

4.6.5. Estación La Calera.

La ciudad de La Calera era un importante punto de conexión entre los ferrocarriles del norte de Chile y la capital Santiago, debido que en este punto se hacía el trasbordo de pasajeros y mercancías de ambos lados. Para poder abarcar tal magnitud en la época se construyó la estación de ferrocarriles de La Calera inaugurando sus servicios en el año 1861 alcanzando gran importancia en 1920, por lo que EFE en la época decidió ampliar la estación construyendo grandes bodegas para recibir con gran capacidad todos los productos que llegaban de diversas zonas del país y tornamesas para los ferrocarriles. La Calera igualmente era un lugar estratégico, desde aquí se podía acceder a los puertos de la zona central o cruzar Los Andes en el ferrocarril trasandino. La estación fue cerrada y clausurada en 1995. En la actualidad el edificio se encuentra abandonado, con una superficie aproximada de 80.000 m², por ella cruza la línea férrea solo para transporte de mercancías y frecuentes ferrocarriles turísticos.



Figura 4.34. Imagen actual del interior estación La Calera. [37]

Su ubicación se encuentra en un punto de gran importancia para la ciudad, en la coordenada 32°47'23.4"S 71°11'25.8"W tiene cerca el centro que abarca grandes comercios, colegios y servicios. Este punto da una gran conexión para los futuros usuarios que quieran moverse ya sea de subida o bajada pudiendo recibir grandes afluencias en horarios picos.

La nueva estación de La Calera debiera aprovechar la estructura existente construida en su época con cemento portland previa evaluación estructural de todos sus elementos, se cuenta con el espacio suficiente para la realización de las obras y elevar la calidad a estándares exigidos por EFE en sus normativas. De esta forma se recuperaría un monumento nacional conservando gran parte del edificio histórico de forma similar como se hizo en la ciudad de Rancagua, Región de O'Higgins, con el edificio figura 4.35, el cual conservó su histórica estructura y construyendo un nuevo edificio en su costado con todas las seguridades exigidas.



Figura 4.35. Estación de ferrocarriles Rancagua. [1]

Las nuevas obras incluirían la rehabilitación de la estructura original considerando el edificio principal, la zona de espera techada y servicios básicos de los usuarios, también la construcción de doble vía para los ferrocarriles, construcción de paso soterrado entre los andenes y equipos ascensores para usuarios con movilidad reducida.



Figura 4.36. Vista satelital ubicación estación La Calera.

4.7. Recopilación y análisis de antecedentes.

4.7.1. Antecedentes Cartográficos.

Gracias al apoyo de la fotografía aérea extraída de Google Earth y la cartografía Chilena se puede observar que la zona de proyecto corresponde a un valle ubicado entre dos cadenas montañosas de grandes pendientes por lo cual la vía férrea se ubicará buscando la menor variación de pendientes posibles, en esta zona de valle se encuentran las localidades y poblados de interés para el proyecto acompañado del paso del río Aconcagua el cual cruza la región de este a oeste para terminar en el océano Pacífico.

Existe vegetación en gran parte de la región en donde prevalecen los terrenos de uso agrícola, con plantaciones vegetales típicas de la zona, y posible uso para ganado. No se aprecian bosques o zonas con gran densidad de árboles. La población está concentrada en las grandes ciudades como Quillota y La Calera pero por la ruta secundaria que las une existen diversos poblados.



Figura 4.37. Vista satelital de la zona del proyecto.

Las soluciones de alternativa de trazado por lo tanto deberán concentrarse dentro de los límites impuestos por las cadenas montañosas, el río Aconcagua y la mejor conexión entre poblados para abarcar la mayor cantidad de futuros usuarios. Si bien ya existe una línea en uso de mercancías, esta servirá como referencia para las demás alternativas.

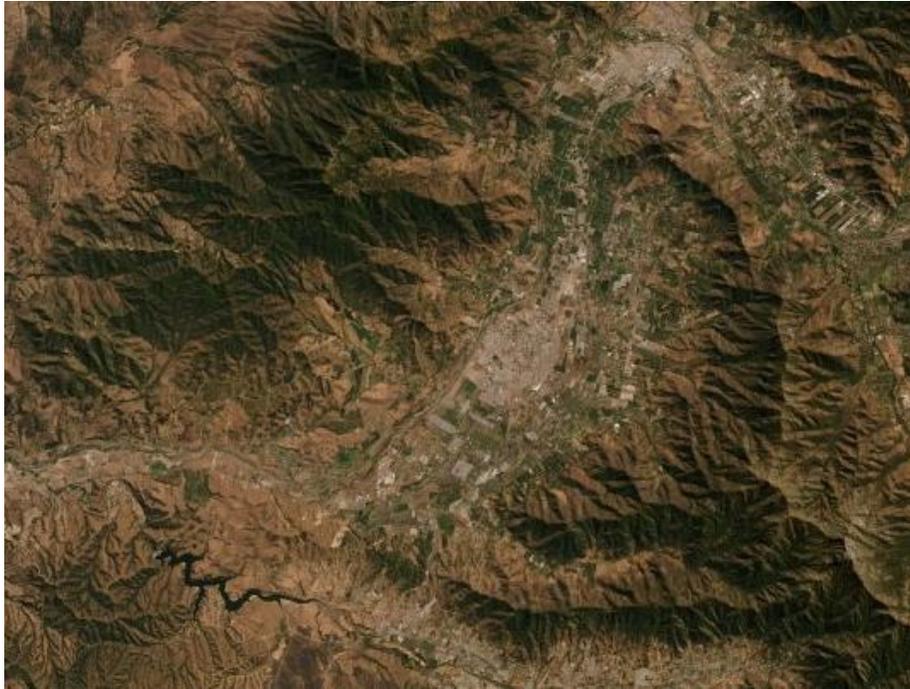


Figura 4.38. Vista satelital de la zona del proyecto. [1]

4.7.2. Antecedentes Geológicos.

Al consultar el mapa geológico de Chile proporcionado por el SERNAGEOMIN con escala 1:1000000, las opciones de trazado cruzan por tres tipos de suelos distintos los cuales corresponden a los clasificados como Jsg (rocas intrusivas), Q1 y Qf (secuencias sedimentarias).



Figura 4.39. Tipos de suelos que cruza el trazado del proyecto. [39]

Este suelo se justifica, en primer lugar por la ubicación de la Roca intrusiva, esta formación está presente como una elevación del terreno por donde hace paso el túnel San Pedro formando una zona montañosa de pendientes muy variadas. La secuencia

sedimentaria Q1 corresponde a un depósito aluvial, en la figura 4.39 se aprecia una zona extensa que se ha formado por el arrastre de sedimentos debidos a las grandes cadenas montañosas que lo rodean, en las cuales podemos encontrar diversas cuencas de variadas pendientes. Finalmente el suelo calificado como Qf se trata de un depósito fluvial que tiene como recorrido el río Aconcagua, el cual transporta el material en sus cercanías.

A continuación se presenta la tabla resumen de estos tipos de suelo.

Tipo de suelo según mapa geológico de Chile	Color de suelo según mapa geológico de Chile	Característica de suelo según mapa geológico de Chile	Epoca / Periodo
Jsg		Rocas Intrusivas	Jurásico Medio-Superior (180-142 Ma)
Q1		Secuencias sedimentarias	Pleistoceno-Holoceno
Qf		Secuencias sedimentarias	Pleistoceno-Holoceno

Tabla 4.7. Resumen tipos de suelo del proyecto. [39]

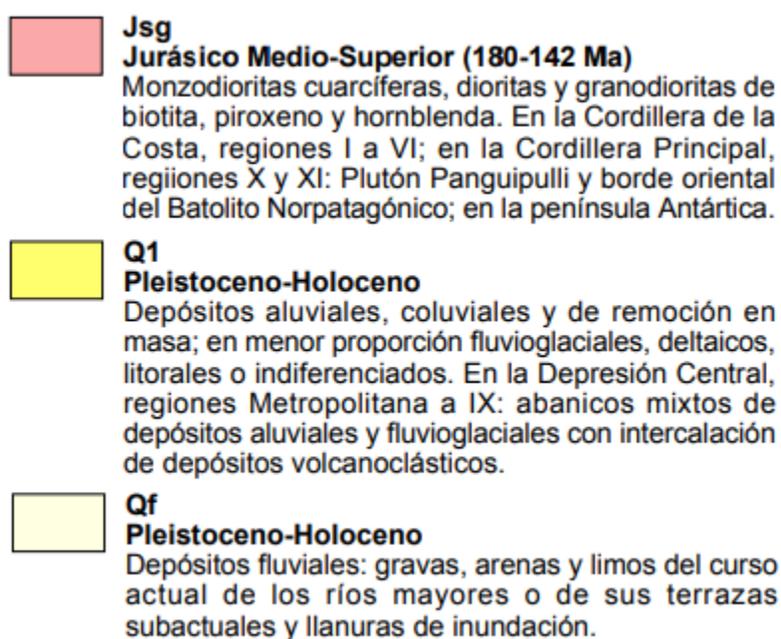


Figura 4.40. Características de suelos del proyecto. [39]

4.7.2.1. Características del suelo.

Al tratarse de un estudio preliminar de pre factibilidad de trazado, los parámetros geotécnicos se estimarán en base a una tabla tipo de suelos existente en Chile que fue extraída de diversos estudios para ser usada como material de apoyo. En ella podemos apreciar 16 tipos de suelos distintos y podemos relacionar el más adecuado de ellos para cada tipo de suelo visto en los antecedentes geológicos.

En primer lugar se descarta la presencia de un tipo de suelo con característica especial de Chile, estos destacan en su presencia por condiciones que no se encuentran tan masificados, como por ejemplo suelo salinos del Norte de Chile, suelos con origen de ceniza volcánica del Sur de Chile. El suelo más cercano que podría asemejarse puede ser el llamado Maicillo por lo que no se descarta su influencia.

Nombre	Ubicación por región	Clasificación USGS	Observaciones
Chusca	I y II	ML	Mezclada con sulfatos. Suelos de grano fino y liviano
Suelos Salinos	I, II y III	CH o MH	Principales: sulfato de calcio y de sodio. Grano fino, Límites de Consistencia altos, peso específico mediano
Pumacita	Metropolitana: - Sector poniente - Depósitos aluviales al poniente - Provincia de Melipilla	SM o ML	Ceniza volcánica, sin plasticidad, grano anguloso y liviano
Trumaos	IX y X	ML o MH	Origen Volcánico, suelos de grano fino, semiangular, alargado, plano y fracturable
Maicillo	Cordillera de la costa sector centro sur	SM, SC o CL	Origen de la meteorización o desintegración de la roca granítica. Granos angulares y fracturables.
Fierrillo	X	GP, GM o GP-GM	Grava arenosa fuertemente cementada, impermeable.
Mazacote	XII	MH o CH	Elevados Límites de Atterbeg y Humedad
Tosca	-		Suelos duros a excavar, muy cementados
Cancagua	X	MH en estado alterado	Roca blanca llamada limolita

Tabla 4.8. Suelos especiales Chile. [40]

En la tabla 4.9 se adjuntan los suelos tipo existentes en Chile, como se trata de un estudio preliminar se seleccionaran algunos que puedan asemejarse al presente en la zona de proyecto, y para realizar los cálculos en los siguientes capítulos se optará por la opción más conservadora.

Símbolo	Suelo Tipo	γ_d^{max} (gr/cm ³)	e_{opt} (%)	Características de Resistencia (kg/cm ²)					Coeficiente de permeabilidad (cm/seg)	C.B.R.	Módulo de Reacción (kg/cm ²)
				Cohesión Compactada	Cohesión Saturada	Capacidad de Carga	ϕ	$\tan \phi$			
GW	Gravas Limpias Bien Graduadas Gravos y arenas mezcladas	2,00-2,20	8-11	0	0	3,6-5,0	> 38	> 0,79	1×10^{-4}	40-80	8,31-13,9
GP	Gravas Limpias Mal Graduadas Gravos y arenas mezcladas	1,80-2,20	11-14	0	0	3,2-4,5	> 37	> 0,74	> 10	30-60	6,93-11,08
GM	Gravas Limosas Mal Graduadas Mezcla de grava-arena-limo	1,90-2,23	8-12	-	-	2,2-4,2	> 34	> 0,67	$> 1 \times 10^{-5}$	25-60	2,8-11,1
GC	Gravas Arcillosas Mal Graduadas Mezcla Grava-Arena-Arcilla	1,85-2,25	9-14	-	-	3,2-4,6	> 31	> 0,60	$> 1 \times 10^{-6}$	20-40	2,8-8,3
SW	Arenas Limpias Bien Graduadas Arenas Gravosas	1,76-2,08	9-16	0	0	2,5-5,0	38	0,79	$> 10^{-2}$	20-40	5,5-8,3
SP	Arenas Limpias Mal Graduadas Arenas Gravosas	1,64-2,04	12-21	0	0	1,3-2,6	37	0,74	$> 10^{-2}$	10-40	5,5-8,3
SM	Arenas Limosas Mal Graduadas Mezcla Arena y Limo	1,70-2,06	11-16	0,52	0,21	1,2-2,8	34	0,67	1×10^{-4}	10-40	2,8-8,3
SM-SC	Arenas con Mezcla de Limo y Arcilla ligeramente Plástico	1,78-2,06	11-15	0,52	0,15	1,3-3,4	33	0,66	4×10^{-5}	-	-
SC	Arena Arcillosa. Mezcla de Arena y Arcilla Pobremente Graduada	1,70-2,10	11-19	0,76	0,11	2,1-3,7	31	0,60	1×10^{-6}	5-20	2,8-8,3
ML	Limos inorgánicos y Limos Arcillosos	1,48-2,00	12-24	0,69	0,09	0,6-2,2	32	0,62	1×10^{-4}	15 o menos	2,8-5,5
ML-CL	Mezclas de Limos y Arcillas Inorgánicas	1,48-2,00	12-22	0,66	0,23	0,6-3,0	32	0,62	1×10^{-6}	-	-
CL	Arcilla Inorgánica de baja o mediana plasticidad	1,45-2,00	12-24	0,88	0,13	0,6-3,5	28	0,54	1×10^{-5}	15 o menos	1,4-5,5
OL	Limos y Arcillas Limosas Orgánicas de baja plasticidad	1,40-1,65	21-33	-	-	0,4-0,8	-	-	-	5 o menos	1,4-2,8
MH	Limos Inorgánicos, Limos Plásticos	1,20-1,60	24-40	0,74	0,21	0,6-1,9	25	0,47	1×10^{-6}	10 o menos	1,4-2,8
CH	Arcillas Inorgánicas de Alta Plasticidad	1,30-1,85	19-36	1,05	0,11	0,5-3,5	19	0,35	1×10^{-6}	15 o menos	1,4-4,2
OH	Arcillas Orgánicas y Arcillas Limosas Orgánicas	1,18-1,70	21-45	-	-	0,4-0,7	-	-	-	5 o menos	0,7-2,8

Tabla 4.9. Suelos tipo Chile. [40]

Al tratarse de alrededores de un río se seleccionaran gravas con mezcla arena limo, además de la sedimentación aluvial se seleccionarán similares al suelo tipo Maicillo.

“El maicillo es el producto de la meteorización de rocas graníticas del batolito costero y es uno de los suelos residuales más comunes y abundantes en Chile. El batolito costero es una gran masa de roca intrusiva que se ha formado en paralelo a la zona de subducción, a partir del enfriamiento del magma a varios kilómetros de profundidad y que se emplaza a lo largo de la cordillera de la costa desde Valparaíso hasta la Cordillera de Nahuelbuta en el sur de Chile.” [29]

Así las características del suelo presente en el proyecto serán las mostradas en la tabla 4.10.

Símbolo	Suelo Tipo	γ_d^{max} [gr/cm ³]	Característica de Resistencia [Kg/cm ²]					C.B.R.	Modulo de Reacción [Kg/cm ²]
			Cohesión Compactada	Cohesión Saturada	Capacidad de Carga	ϕ	$\tan \phi$		
GP	Gravas Limpias mal graduadas gravas y arenas mezcladas	1,80-2,20	0	0	3,2-4,5	>37	>0,74	30 - -60	6,93-11,08
SM	Arenas limosas mal graduadas mezcla arena y limo	1,70-2,06	0,52	0,21	1,2-2,8	34	0,67	10 - -40	2,8-8,3

Tabla 4.10. Suelos del proyecto. [40]

Con estos datos se dispondrán sus valores de capacidad de carga para realizar los cálculos y procedimientos correspondientes para obtener los valores necesarios de la infraestructura de la vía.

Los suelos seleccionados se pueden considerar favorables para el desarrollo del proyecto, poseen una calidad aceptable para recibir una infraestructura tanto vial como de ferrocarriles, en este último caso se debe estudiar si necesita ser reforzada con una capa de forma que mejora el trabajo del balasto y sub-balasto.

4.7.3. Características de la vía.

4.7.3.1. Gálibo.

El material rodante tanto vehículos de pasajeros como de carga deberá poder circular sin obstrucciones por la totalidad de la vía férrea del proyecto. Al momento de diseñar la infraestructura y pasos en donde existan elementos naturales como vegetación o rocas se tendrá en cuenta el gálibo de los equipos considerando la interacción de las siguientes características.

- Dimensiones de los vehículos: ancho, altura y longitud.
- Posición de los centros de los carros cuando los hay, o de la base rígida para los vehículos de dos ejes.
- Velocidad de Marcha.
- Características de la suspensión del vehículo.
- Parámetros de comodidad de marcha definidos al vehículo.

Para evitar accidentes debido a un eventual enredo de algún elemento del equipo rodante en los rieles de enlace, cruzamientos y agujas de las zonas de cambios, se debe disponer una norma de seguridad que fije la altura mínima que deben tener todos los elementos ubicados debajo del chasis y del carro, entre las ruedas de los vehículos.

En los ferrocarriles chilenos se ha fijado esta altura en 160 mm sobre la cabeza del riel para el equipo cuando está con sus llantas nuevas y la suspensión en buen estado. Cuando los resortes se encuentran completamente comprimidos (a sólido), las llantas en su límite de desgaste aceptable (límite de condenación) y una vez considerados todos los desgastes posibles, la holgura mínima es 75 mm. [18]

En el anexo n°10 se aprecia las dimensiones de los gálibos presentes en la vía usada para el proyecto con un ancho de trocha de 1676 mm.

4.7.3.2. Traviesas.

EFE especifica que para el proyecto se deberán reemplazar las traviesas de madera existentes por traviesas de hormigón monobloque pretensados en 126 metros lineales de vía aptos para tráficos intensos y de alta velocidad. Se seleccionaran estas en el momento de realizar los cálculos sin detallar un modelo más específico. Se usarán de un largo de 2,6m.

Las traviesas de monobloque pretensados y postensados están armadas con barras de acero de alta resistencia. Las principales funciones de este elemento es asegurar el apoyo de los rieles y la repartición de las cargas sobre el balasto. Para esto se deben

cumplir unas condiciones de contacto directo entre la base del riel con la traviesa interponiendo entre ellos una lámina de material elástico ya sea de caucho u otro material y nunca se debe colocar la traviesa en zonas donde la plataforma sea inestable.

Los materiales componentes de la traviesa de hormigón tanto en su proceso de fabricación como en el transporte deberán ser aprobados por EFE cumpliendo con los siguientes requerimientos:

- a) Identificación de la fábrica de donde proviene el material.
- b) Especificación de la naturaleza y características de los áridos en la composición del hormigón.
- c) Especificación de cada una de las fases del proceso de fabricación de la traviesa.
- d) Especificación del proceso de control de las traviesas.
- e) Especificación de los ensayos a los cuales fueron sometidos el hormigón y las barras componentes de la traviesa.
- f) Especificación de las condiciones de recepción de las traviesas y su estado.

Para poder utilizar las traviesas de monobloque se deben considerar las siguientes indicaciones:

- a) Debe ser utilizada prioritariamente sobre plataformas con características buenas y medias.
- b) Su utilización ofrece estabilidad lateral superior a traviesas de madera pero inferior a las bibloque.
- c) En todos los casos para su utilización se requiere un espesor de balasto no inferior a 20 cm sobre una capa de sub-balasto no inferior a 10 cm.

4.7.3.3. Riel.

En Chile dado la antigüedad de los trazados hay instalados una gran variedad de perfiles de riel distintos, la mayoría ya está obsoleta y no corresponden a los normalizados. En la actualidad se utilizan los AREMA mostrados en la tabla 4.11, las dimensiones se pueden comprobar en la figura A68 del anexo N°14.

El tipo de perfil utilizado en la filial Merval de EFE es el “115 RE”.

Perfil	a [mm]	b [mm]	c [mm]	d [mm]	e [mm]	f [mm]	g [mm]	h [mm]	i	k [mm]	m	P [kg/ml]
115RE	69,06	42,86	96,80	28,60	15,90	73,03	139,70	168,28	1/4	31,75	1/4	56,85
119RE	67,50	47,60	96,80	28,60	15,90	73,03	139,70	173,03	1/4	31,75	1/4	58,88
132RE	76,20	44,45	106,36	30,16	16,67	78,58	152,40	180,98	1/4	31,75	1/4	65,33
133RE	76,20	49,21	100,01	30,16	17,46	76,20	152,40	179,39	1/4	31,75	1/3	66,18
136RE	74,61	49,21	106,36	30,16	17,46	78,58	152,40	185,74	1/4	31,75	1/4	67,66
140RE	76,20	52,39	103,19	30,16	19,05	76,20	152,40	185,74	1/4	31,75	1/3	69,25

Tabla 4.11. Perfiles normalizados AREMA. [41]

4.7.3.4. Elección de la categoría de línea.

En primer lugar se clasificara la vía del proyecto utilizando tanto la en la normativa EFE, como la española, las cuales clasifican las vías según sus velocidades máximas admisibles de operación y según el tipo de tren que opera por la línea férrea. Según la tabla 4.12 y viendo el proyecto de Limache-La Calera la vía como mínimo aceptable puede ser Clase C ya que se espera que los trenes circulen a no menos de 100 Km/h, de igual forma la vía también puede clasificarse como Clase D, esto porque el material rodante de MERVAL tiene como velocidad máxima 120 Km/h.

Clase de Vías	Velocidad máxima admisible para trenes de carga [km/hr]	Velocidad máxima admisible para trenes de pasajeros [km/hr]
Clase A	20	30
Clase B	40	50
Clase C	65	100
Clase D	100	130
Clase E	130	160
Clase F	160	180

Tabla 4.12. Clase de la vía según la velocidad. [42]

A continuación se presenta la comparación entre las clases C y D según la normativa de EFE indicando en que se diferencian al momento de construcción y seguridad de la vía.

4.7.3.5. Entrevía.

En las líneas férreas con dos o más vías las distancias entre los ejes de las vías en curvas con peralte no convergente no podrá ser inferior a los valores que se indican a continuación.

Radio de la Curva	Clases A y B	Clases C y D	Clases E y F
R < 500 m	4,50 m	4,55 m	4,60 m
R > 500 m	4,45 m	4,50 m	4,60 m

Tabla 4.13. Entrevía de la clase según radio de la curva. [43]

4.7.3.6. Alineación.

La alineación respectiva a la flecha medida en el punto medio de una cuerda de largo "L" m debe estar dentro de los siguientes límites.

Clase de Vía	Desviaciones en Vía Recta [mm]		Desviaciones en Vía Curva [mm]	
	L = 20 m	L = 10 m	L = 20 m	L = 10 m
A	100	25	100	25
B	60	15	60	15
C	45	11	45	11
D	38	9	38	9
E	19	5	15	4
F	12	3	9	3

Tabla 4.14. Alineación máxima según clase de la vía. [43]

4.7.3.7. Trazado de la vía férrea.

En el trazado en planta el radio de una curva no debe ser menor que los límites establecidos en la siguiente tabla.

Clase de Vía	A y B	C y D	E y F
Radio Mínimo [m]	180	300	500

Tabla 4.15. Radio mínimo de la vía. [43]

El trazado debe estar previsto de una alineación recta de al menos quince metros entre dos curvas de sentido contrario y con radios iguales o inferiores a trescientos metros.

La pendiente del trazado no debe exceder los veinticinco milímetros por metro (2,5%) en todo trayecto de la vía y dos coma cinco milímetros por metro (0,25%) en las estaciones.

Entre dos tramos de vía con pendientes diferentes en más de seis milímetros por metro (0,6%) es necesario incorporar una curva vertical (enlace de pendiente) cuyo radio depende de la velocidad de la vía, pero en ningún caso el radio debe ser inferior o la variación de pendiente mayor a los valores establecidos en la tabla que se indica a continuación.

Clase de Vía	A y B	C y D	E y F
Radio de la Curva de Enlace [m]	2.000	5.000	10.000

Tabla 4.16. Radio de curva de enlace. [43]

4.7.3.8. Nivelación.

La vía debe estar nivelada y mantenerse dentro de los límites siguientes.

Concepto	Clase de Vía					
	A	B	C	D	E	F
La desviación del peralte en una curva de enlace respecto al diseño no puede ser mayor que [mm]	15	14	11	7	5	4
La variación del nivel transversal entre dos secciones separadas a 10 m. de distancia en una curva de enlace, no puede ser mayor que en [mm]	45	41	30	25	19	12
La desviación respecto de un nivel transversal cero en cualquier punto de una vía en recta o respecto al peralte de diseño en el tramo circular no puede ser mayor que [mm]	23	21	17	12	9	5
La diferencia en el nivel transversal entre dos puntos, distanciados a menos de 10 metros, en vías en recta y en curvas circulares, no puede ser mayor que [mm]	23	21	17	12	9	6

Tabla 4.17. Nivelación que deben tener las vías. [43]

4.7.3.9. Defectos geométricos de la vía.

El defecto geométrico máximo del perfil longitudinal de la vía férrea, medido sobre una base de diez metros, no puede exceder los valores en milímetros establecidos en la tabla que se indica a continuación.

Concepto	Clase de Vía					
	A	B	C	D	E	F
Defecto máximo del perfil longitudinal [mm]	15	13	12	11	8	6

Tabla 4.18. Defecto geométrico máximo. [43]

El alabeo máximo de la vía férrea, medido sobre una base de tres metros, no puede exceder los valores en milímetros establecidos en la tabla que se indica.

Concepto	Clase de Vía					
	A	B	C	D	E	F
Valor máximo del alabeo [mm]	20	18	15	12	6	6

Tabla 4.18. Alabeo máximo. [43]

Cualquier desajuste de los rieles en las juntas no puede ser mayor que los valores establecidos en la tabla que se indica a continuación.

Clase de Via	En la superficie de rodado de los extremos de los rieles [mm]	En la línea de trocha de los extremos de los rieles [mm]
A	5	5
B	5	5
C	3	3
D	2	2
E	2	2
F	1	1

Tabla 4.19. Desniveles máximos. [43]

Para la Clase D, E y F con traviesas de hormigón se deberán respetar los siguientes valores en cuanto a los rieles.

Peso del Riel [kg/ml]	Radio Mínimo de Curva [m]
$55 < P$	600
$48 < P < 55$	500
$P < 48$	450

Tabla 4.20. Radio mínimo según peso del riel. [43]

4.7.3.10. Inspecciones de la vía.

Las inspecciones se deben realizar con los periodos que se indican a continuación.

Clase de Via	A y B(1)	C y D(2)	E y F(3)
Frecuencia mínima de inspección	1 vez al mes	2 veces al mes	1 vez a la semana

- 1 Al menos veinte (20) días de intervalo entre dos (2) inspecciones.
- 2 Al menos diez (10) días de intervalo entre dos (2) inspecciones.
- 3 Al menos cinco (5) días de intervalo entre dos (2) inspecciones.

Tabla 4.21. Inspecciones de la vía. [43]

5. CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA DE LA VÍA.

Los cálculos de dimensionamiento, volúmenes y materiales de los elementos que compongan a la estructura y superestructura de la vía serán estudiados y calculado a continuación en base al largo de cada alternativa elegida para el proyecto. Se tomará como base que los materiales existentes como balasto o durmientes no se reutilizarán, por lo que todo cálculo implicará nuevos materiales. A su vez para cada tramo elegido como alternativa no se considerará el trayecto del interior del túnel, esta zona será evaluada individualmente en el capítulo 7.2.

5.1. Cálculo de superestructura.

Se realizará a través de dos métodos basado en la normativa usada en Chile por EFE y por la normativa usada en España por ADIF basado en la UIC, para así poder comparar sus características y resultados.

5.1.1. Determinación de la calidad del suelo.

Para la determinación de la calidad del suelo se sigue el procedimiento de la norma “NAV 2-1-0.0” Obras en tierra, calidad de la plataforma. Para esto se analiza y compara el suelo presente en la zona de proyecto con las tablas dispuestas en la norma, la calidad está dividida en cinco grupos, para esto se toman los resultados del estudio de antecedentes geotécnicos vistos en el capítulo 4.7.2.

- Qs0: Suelos difícilmente mejorables, inadecuados para realizar las capas subyacentes a la de forma o esta misma.
- Qs1: Suelos malos, que pueden mejorarse, aceptables con un buen drenaje.
- Qs2: Suelos medianos.
- Qs3: Suelos buenos.

Utilizando estos suelos pueden obtenerse las siguientes clases de plataformas, en función de la calidad del suelo que constituye la capa de forma y del espesor de ésta:

- P1 - Plataforma de mala capacidad portante. $CBR \leq 5$.
- P2 - Plataforma de capacidad portante media. $5 < CBR \leq 20$.
- P3 - Plataforma de capacidad portante buena. $CBR > 20$

Con estos datos del suelo y teniendo los siguientes.

Símbolo	Suelo Tipo	C.B.R.
GP	Gravas Limpias mal graduadas gravas y arenas mezcladas	30 - -60
SM	Arenas limosas mal graduadas mezcla arena y limo	10 - -40

Tabla 5.1. CBR de los suelos del proyecto. [40]

La calidad de suelo portante escogido para el proyecto es:

Tipo de suelo	Calidad suelo portante
Qs2	P3

Tabla 5.2. Calidad del suelo del proyecto.

Calidad del suelo soporte	Capa de forma a constituir para obtener una plataforma con capacidad portante determinada		Capacidad portante obtenida
	Calidad del suelo	Espesor mínimo [m]	
QS1	QS1	-	P1
	QS2	0,5	P2
	QS3	0,35	P2
	QS3	0,5	P3
QS2	QS2	-	P2
	QS3	0,35	P3
QS3	QS3	-	P3

Tabla 5.3. Capa de forma a construir según tipo de suelo. [44]

Como se debe conseguir una capacidad portante P3, se necesita una calidad de suelo QS3, por lo que se debe mejorar el suelo QS2 hasta QS3 agregando una capa de forma de 0,35 m como mínimo.

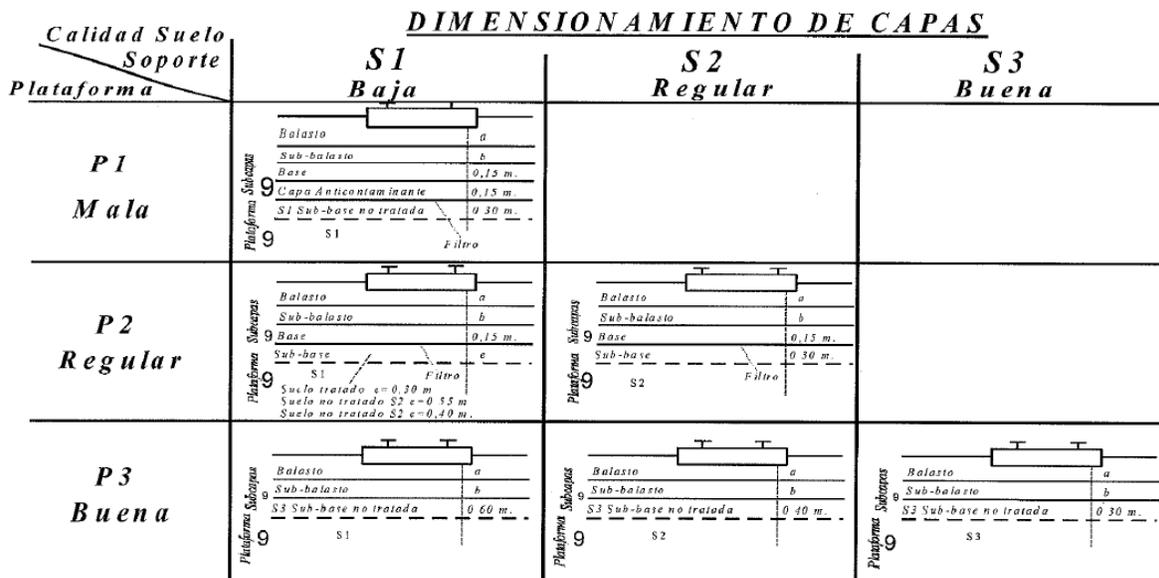


Figura 5.1. Dimensionamiento de capas. [45]

5.1.2. Estimación tráfico.

Para los cálculos de diseño de la vía se necesita conocer el peso del tráfico que circulará por la red, para este dato se estimará un peso para el transporte de pasajeros,

mercancías y locomotoras que serán ocupados en el apartado de cálculos en los capítulos siguientes.

5.1.2.1. Tráfico de pasajeros.

Como se sabe los vehículos que circularán por la vía serán los X'Trapolis Modular que están compuestos por dos carros y un peso de 81 toneladas. [19] Este tren circulará por la vía en forma simple y también lo podrá hacer acoplando los carros como se muestra en la figura 5.2 para aumentar su capacidad de transporte de pasajeros, lo que significa que se tendrán dos vehículos acoplados.



Figura 5.2. X'Trapolis Modular circulando con dos carros por Valparaíso. [26]

La capacidad de cada tren es de 92 pasajeros sentados y fácilmente pueden entrar 100 pasajeros más de pie, lo que daría un total de 192 pasajeros por carro, suponiendo un peso promedio de 80 Kg por pasajero y por motivos de seguridad aproximado a 100 Kg, de esta forma se puede obtener el peso total de los vehículos en circulación a carga completa.

Así el peso total del tráfico de pasajeros sería:

Vehículo	Peso en Toneladas
Tren x 2	$100 * 2 = 200$
Pasajeros x 2	$384 * 0,08 = 31$
Total	231

Tabla 5.4. Peso total servicio pasajeros. [26]

Una vez obtenido el peso máximo que tendrá un vehículo en circulación se debe obtener el peso de tráfico diario máximo para este. La longitud de recorrido entre la ciudad de Limache y La Calera en cada una de las alternativas propuestas rondan los 25 kilómetros aproximados. Se tiene propuesto en hora punta un servicio con intervalo de trenes cada 5 minutos y en horario normal cada 12 minutos, en promedio circulará un tren cada 9 minutos desde las 6:30 am hasta las 11:00 pm y una velocidad promedio de 70 Km/h de los vehículos que circulen.

Con estos datos se obtiene que en un día hábil circularan aproximadamente 110 servicios por vía lo que da un peso diario de 25.410 toneladas, como la red será doble vía el peso total es 50.820 toneladas acumuladas.

5.1.2.2. Tráfico de mercancías.

El paso de mercancías lo hace la empresa FEPASA en horario nocturno y algunas veces con recorrido de día, al consultar la flota de la empresa en su “Memorial Anual 2018” se observa que poseen varias locomotoras diésel que varían en su tamaño, se elegirá como modelo representativo la locomotora tipo SD39-2M de trocha 1676 mm. Esta locomotora tiene un peso de 92 toneladas y 6 ejes. También Fepasa cuenta con 1887 carros a disposición para el transporte de mercancías que varían entre 30 toneladas y 60 toneladas, se tomará como peso de los carros el de 60 toneladas.



Figura 5.3. Tren de mercancías circulando por San Pedro.

Fuente: Google Earth.

Por lo tanto el peso del tráfico de mercancías sería:

Vehículo	Peso en Toneladas
Locomotora	92
Carros (69)	69*60 = 4140
Total	4232

Tabla 5.5. Peso total servicio mercancías. [3]

Se estima el paso de tres ferrocarriles de carga a diario por cada vía de la red lo que da un peso total de 12.696 toneladas, como la red será doble vía el peso total es 25.392 toneladas.

5.1.2.3. Tráfico de locomotoras.

El paso de locomotoras es más acotado para la red, se resume a equipos de mantenimiento con un peso máximo de 25 toneladas y a servicios turísticos ocasionales para fechas específicas. El paso se estima a cuatro circulaciones mensuales por vía lo que da un peso de 0.84 toneladas diarias y al ser doble vía el peso es de 1.7 toneladas diarias.

5.1.3. Cálculo de infraestructura con N.R.V. 3-4-1.0.

Usando los datos obtenidos en el apartad anterior el cálculo de tráfico arroja los siguientes valores.

Tipo de tráfico	Peso toneladas
Pasajeros	50820
Mercancías	25392
Locomotoras	1,7

Tabla 5.6. Tabla resumen pesos de los servicios.

El cálculo del tráfico diario se hará en base a la normativa N.R.V. 3-4-1.0. "Balasto dimensionamiento de la banqueta". En el capítulo 4.7.3 se consulta la tabla del tráfico ficticio diario, con ella se puede identificar el grupo al cual pertenece la vía.

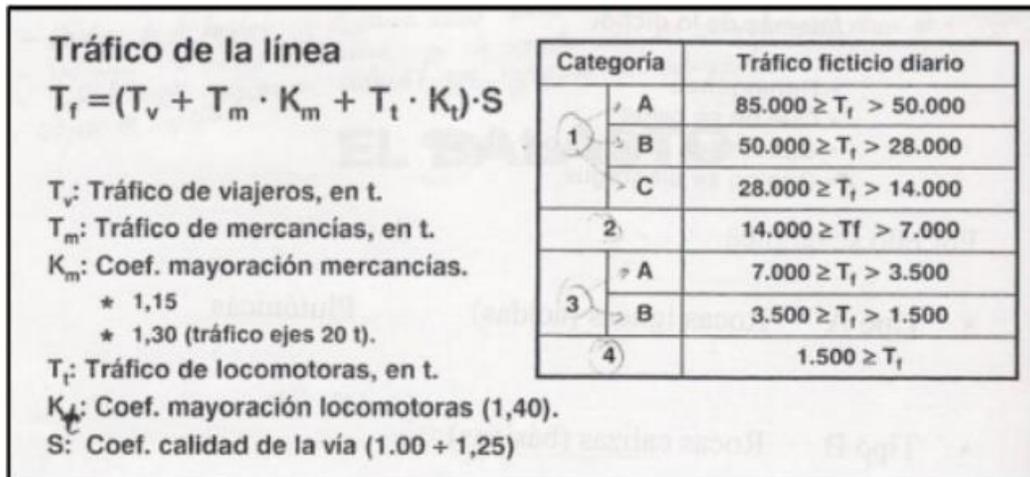


Figura 5.4. Trafico ficticio diario. [45]

La fórmula del tráfico de línea será completada según el valor de los coeficientes de mayoración (K_m y K_t) y el coeficiente de calidad de la vía (S), los valores a utilizar serán los más desfavorables para asegurar que la vía cumpla todas las necesidades, de igual forma no se trata de un sobredimensionamiento dado el valor del tonelaje que se tiene en el tráfico de locomotoras.

$$T_f = (T_v + (T_m * K_m) + (T_t * K_t)) * S$$

Dónde:

T_f = Tráfico de la línea.

T_v = Tráfico de viajeros 50820 T

T_m = Tráfico de mercancías 25392 T

T_t = Tráfico de locomotoras 1,7 T

K_m = Cpeficiente mercancías 1,15

K_t = Coeficiente locomotoras 1,4

$$S = C_{\text{eficiente calidad de la vía}} 1,0$$

$$T_f = (50820 + (25392 * 1,15) + (1,7 * 1,4)) * 1,0 = 80023,18 \text{ T}$$

Según la figura 5.4 se clasifica el tonelaje obtenido lo que da un valor de categoría **1A**, se consulta la tabla de dimensionamientos de capas de balasto y sub-balasto para una vía doble y así obtener las dimensiones de construcción.



Figura 5.5. Dimensionamiento capas de balasto. [45]

Finalmente, el perfil de la plataforma será con los siguientes valores:

- Espesor de balasto y sub-balasto ($e_b = e_{sb}$)=23 cm.
- Distancia entre vías a_{en} =234 cm.
- Hombro (H)=105 cm.
- Capa de enrase: 2 cm por debajo del punto más bajo del patín del carril.
- Pendiente transversal i : 5%

Por último queda corroborar los espesores en conjunto de balasto y sub-balasto por medio del trabajo de la traviesa y el tonelaje del tráfico ficticio diario utilizando la figura 5.5.

Tenemos $T_f=80023,18 \text{ T}$ y una plataforma P3, utilizando una traviesa hormigón de longitud $> 2,4 \text{ m}$ (2,6 m según 4.7.3.2.). Con traviesas de hormigón de esa longitud el espesor de balasto y sub-balasto es de 0,45 m. En este caso cada capa será de 0,225 m aproximando a 0,25 m, valor mayor al obtenido en el cálculo por medio de la figura 5.6.

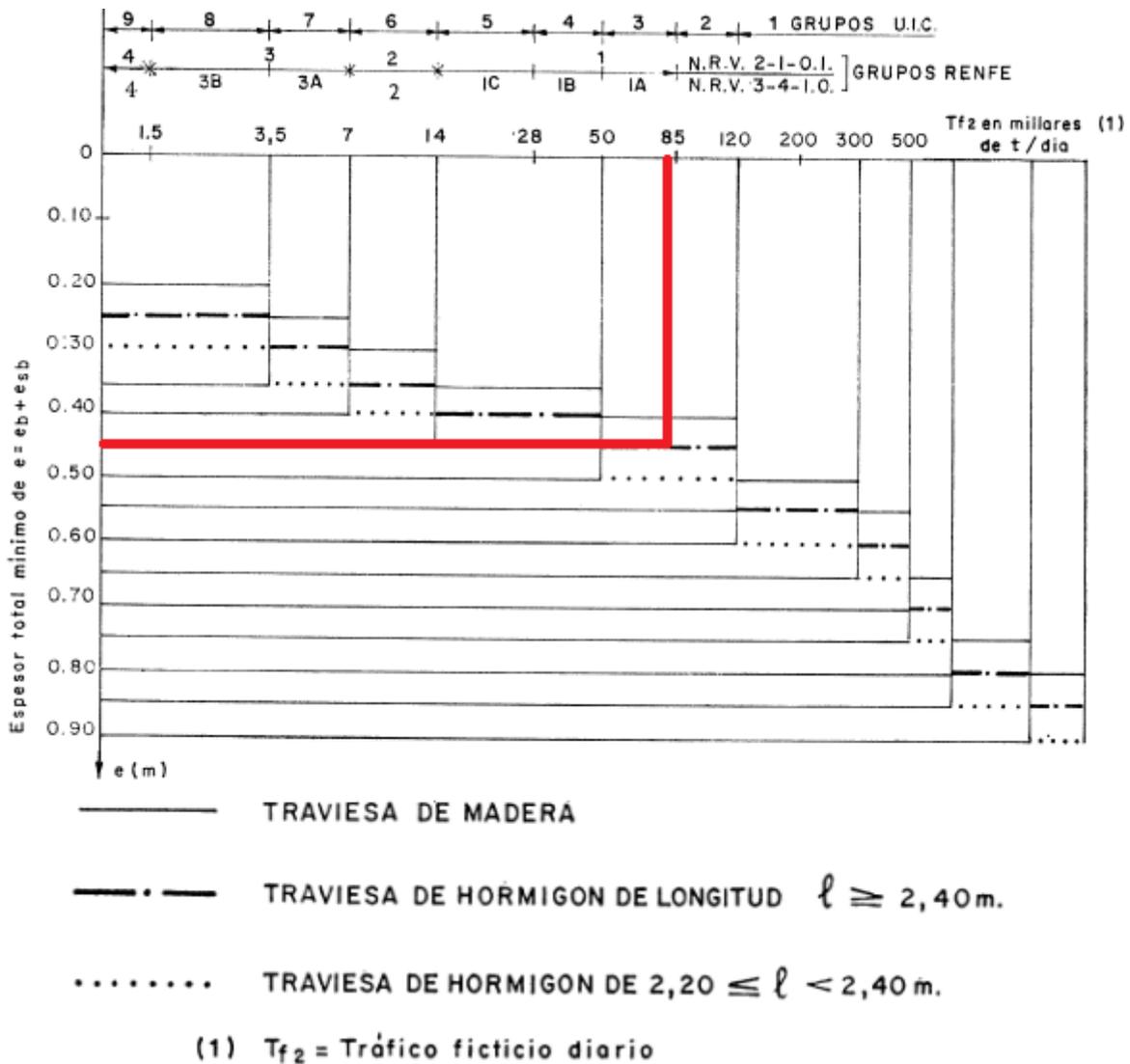


Figura 5.6. Espesor mínimo global de balasto y de sub-balasto bajo traviesa. [45]

Por lo tanto para estar del lado de la seguridad la vía se diseñara de la siguiente forma:

- Vía doble trocha ancha de 1676 mm.
- Traviesas de hormigón 2,6 m (pretensado).
- Espesores de balasto y sub-balasto ($e_b = e_{sb}$) = 0.25 m.
- Distancia entre vías $a_{en} = 234$ cm.
- Hombro (H) = 105 cm.
- Capa de enrase = 2 cm por debajo del punto más bajo del patín del carril.
- Pendiente transversal = 5%.
- 0,35 m de capa de forma con suelo QS3 no tratado.
- Pendiente H:V 5:4

La solución quedaría de la siguiente forma según se indica en las figuras siguientes:

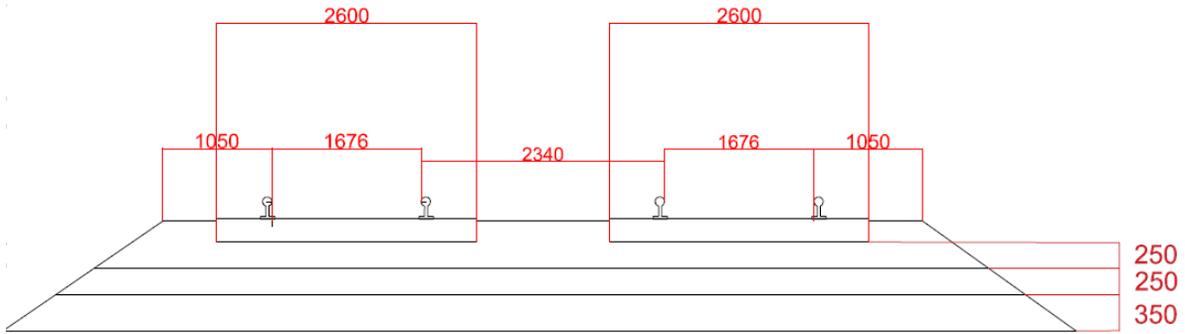


Figura 5.7. Diseño de la faja de la vía, valores en milímetros.

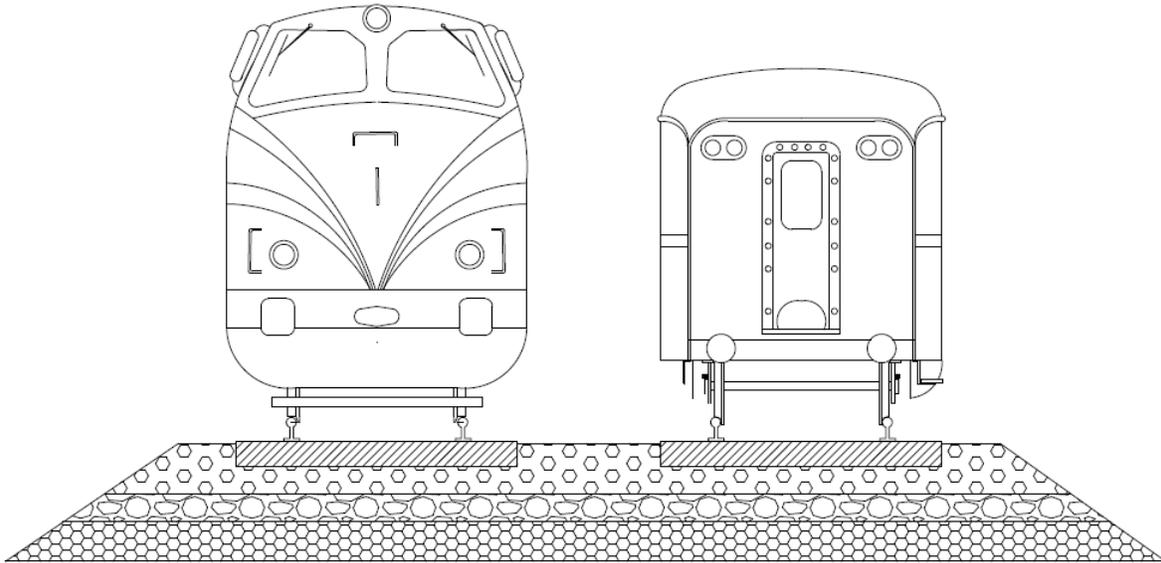


Figura 5.8. Ejemplo del paso de ferrocarriles por la vía diseñada.

5.1.4. Cálculo de infraestructura con UIC code 719-R.

La normativa UIC (International Union of Railways) nos indica que la capa de balasto y sub balasto juntas (e) son la suma de un conjunto de valores que dependen de las características del suelo como la capacidad de carga, características del tráfico, tipo de traviesas y espacios entre estas.

A continuación se detallará el proceso.

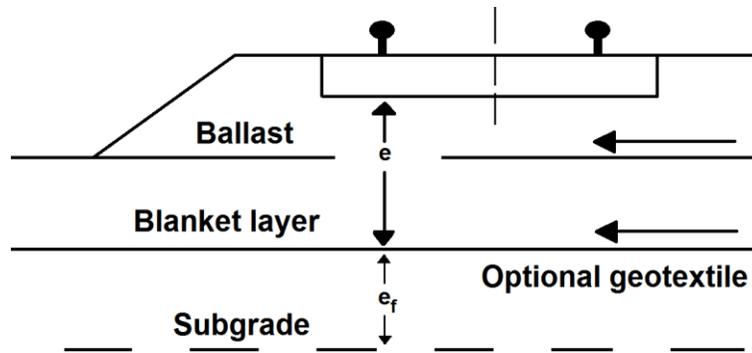


Fig. 15 - Calculation of minimum thickness (e) of track bed

Figura 5.9. Cálculo del espesor de las capas por medio de UIC, fig. 15. [44]

El cálculo del espesor se hace mediante la siguiente fórmula.

$$e = E + a + b + c + d + f$$

Dónde:

- e = mínimo espesor capa de apoyo (balasto + sub balasto) en m
 e_f = capa de forma en m
- $E = 0,70$ m, para suelos con capacidad de carga clase P1
 $E = 0,55$ m, para suelos con capacidad de carga clase P2
 $E = 0,45$ m, para suelos con capacidad de carga clase P3
- $a = 0$, para grupos UIC 1-4
 $a = -0,10$ m, para grupos UIC 5 y 6
- $b = 0$, para traviesas de madera de largo 2,60 m
 $b = \frac{2,5-L}{2}$ m, para traviesas de concreto de largo L (b con posibilidad de ser negativa si $L > 2,50$ m)
- $c = 0$, para dimensiones usuales
 $c = -0,10$ m, casos especiales donde las condiciones de trabajo sean difíciles en líneas existentes.
- $d = 0$, cuando la carga máxima por eje nominal de los vehículos no excede 200 KN
 $d = +0,05$ m, cuando la carga máxima por eje nominal de los vehículos no excede 225 KN
 $d = +0,012$ m cuando la carga máxima por eje nominal de los vehículos no excede 250 KN
- $f = +$, se debería incluir un geotextil si el subsuelo preparado se forma a partir de suelos de clase de calidad QS1 o QS2
 $f = 0$, (no es requerido el geotextil) si el subsuelo preparado está formado por suelos calidad QS3.

Para obtener el parámetro E se consultarán las tablas 5.2 y 5.3, en ellas se calificó el suelo de fundación como clase P3 y debe llevar una capa de forma por lo cual:

$E = 0,45 \text{ m}; e_f = 0,35 \text{ m}.$

El parámetro a hace referencia al folleto de UIC 714 edición 1.1.89 sobre la clasificación de la línea según su mantenimiento, la misma de la figura 5.4 por lo que la vía del proyecto se encontrará en el grupo 3.

$a = 0 \text{ m}.$

El parámetro b habla sobre las traviesas, en el capítulo 4.7.3.2 se detalló que serán de concreto y de un largo de 2,6 m, por lo cual:

$b = -0,05 \text{ m}.$

El parámetro c habla sobre la condición de construcción, si bien será una vía existente en gran parte, al momento de ejecutar las obras no existirán problemas por lo cual.

$C = 0 \text{ m}.$

El parámetro d habla sobre la carga máxima por eje de los vehículos, con los valores obtenidos de las tablas 5.4 y 5.5 tenemos que el tren de pasajeros al contar con 8 ejes tendrá una carga máxima de 28,8 T (288 KN) y el tren de mercancías tendrá carga máxima por eje de 30,6 T (306 KN) por lo que superan a las opciones dada por la norma, de igual forma el valor d se mantendrá como el máximo.

$d = +0,12 \text{ m}.$

Por último el parámetro f se refiere a la existencia del geotextil, como se dijo en el capítulo 5.1.1 se considera QS3 con una capa de forma de 0,35 m por lo cual:

$f = 0 \text{ m}.$

Con todos los valores:

$$e = 0,45 + 0 + (-0,05) + 0 + 0,12 + 0 = 0,52 \text{ m}.$$

La capa de balasto y sub balasto serán "e/2" cada una, por lo cual los valores son de 0,26 m, se muestran en la figura 5,10. Por temas constructivos se pueden aproximar estas capas a 0,3 m cada una.

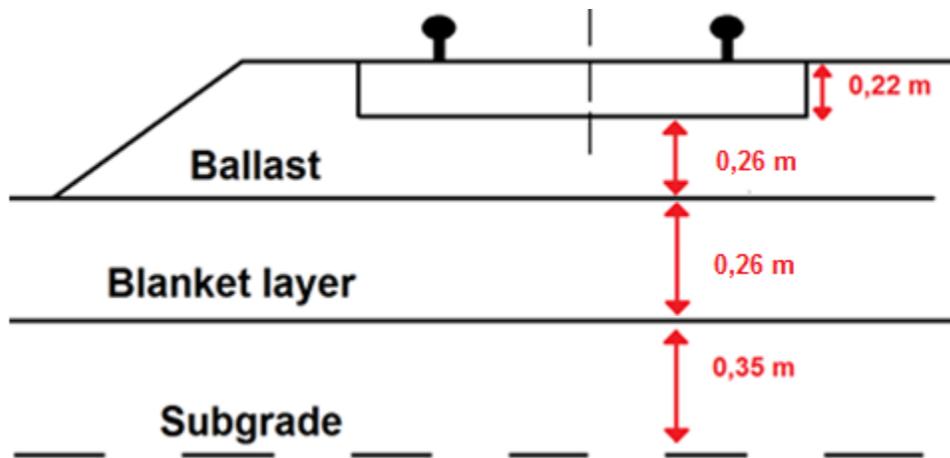


Figura 5.10. Valores de las capas de la vía por método UIC.

5.1.5. Comparación de resultados.

Al realizar los dos métodos podemos darnos cuenta que los resultados son muy parecidos entre las dos normativas variando en un centímetro las capas de balasto y sub balasto. Si se requieren medidas aproximadas cada 5 cm los valores obtenidos por medio del UIC quedarían en 30 cm para balasto y sub balasto, lo que es un valor adecuado dado que esta normativa es más conservadora.

La opción a elegir para el proyecto sería la normativa usada en Chile [45], la cual tiene valores aceptables en su dimensión.

	Balasto (cm)	Sub balasto (cm)	Capa de forma (cm)
N.R.V. 3-4-1.0	25	25	35
UIC 719R	26	26	35

Tabla 5.7. Tabla comparación capas aproximados para ejecutar construcción.

6. TRAZADO GEOMÉTRICO DE LAS VÍAS.

El estudio de las características geométricas de la vía se hará en base a las consideraciones y exigencias incluidas en la Norma técnica de Vías Férreas, Construcción de la Vía [46] y Norma de Seguridad para Vías Férreas [43].

6.1. Clasificación de las curvas.

El primer paso será identificar las curvas existentes en cada alternativa de trazado, para esto se clasificarán en dos grupos, curvas sencillas y curvas compuestas tal como muestra la figura 6.1.

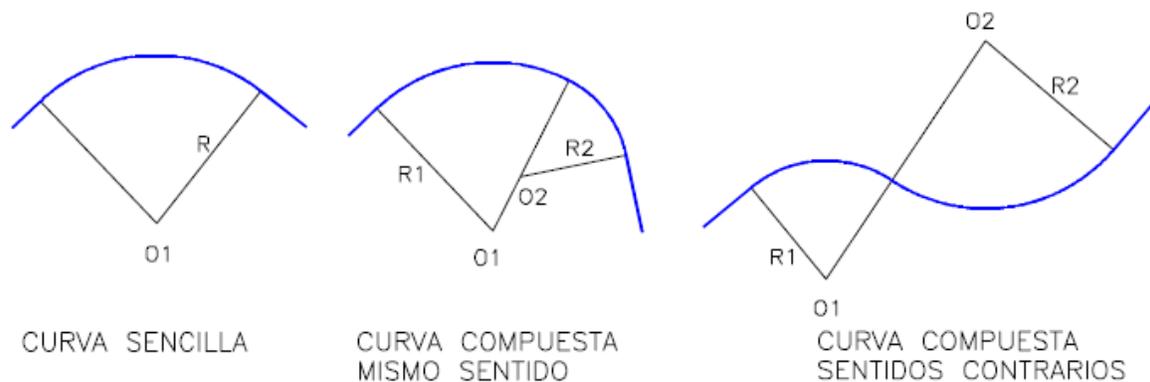


Figura 6.1. Tipos de curvas ferroviarias. [46]

Trazado 1		
Kilómetro	Radios m	Tipo de curva
0 - 0,74	300 - 950	Compuesta sentidos contrarios
1,6 - 2,1	1000	Curva sencilla
4,1 - 5,45	900 - 575	Compuesta sentidos contrarios
12 - 12,7	875	Curva sencilla
14,3 - 14,7	900	Curva sencilla
16,3 - 19,5	4000	Curva sencilla
20,2 - 22,7	1550 - 1850	Compuesta mismo sentido
Trazado 2		
Kilómetro	Radios m	Tipo de curva
0 - 0,74	300 - 950	Compuesta sentidos contrarios
1,6 - 2,1	1000	Curva sencilla
4,1 - 5,45	900 - 575	Compuesta sentidos contrarios
5,58 - 6,16	400	Curva sencilla
6,6 - 7,4	700	Curva sencilla
9,03 - 9,5	720	Curva sencilla
10,4 - 11	735	Curva sencilla
13,1 - 13,8	875	Curva sencilla
15,4 - 15,8	900	Curva sencilla
16,3 - 19,5	4000	Curva sencilla
21,3 - 23,8	1550 - 1850	Compuesta mismo sentido
Trazado 3		
Kilómetro	Radios m	Tipo de curva
0 - 0,74	300 - 950	Compuesta sentidos contrarios
1,6 - 2,1	1000	Curva sencilla
4,75 - 5	800	Curva sencilla
5,3 - 5,6	900	Curva sencilla
6,12 - 6,9	1050	Curva sencilla
8,6 - 9,3	730	Curva sencilla
10,2 - 11	735	Curva sencilla
13,1 - 13,8	875	Curva sencilla
15,4 - 15,8	900	Curva sencilla
16,3 - 19,5	4000	Curva sencilla

Tabla 6.1. Caracterización de las curvas de los trazados.

6.2. Radio mínimo.

En base a la normativa, para la trocha usada en el actual proyecto de 1676 mm aparecen serios problemas en la inscripción de radios menores a 100 m. EFE establece un radio mínimo de 180 m para vías eclipsadas y 550 m para vías soldadas en forma continua.

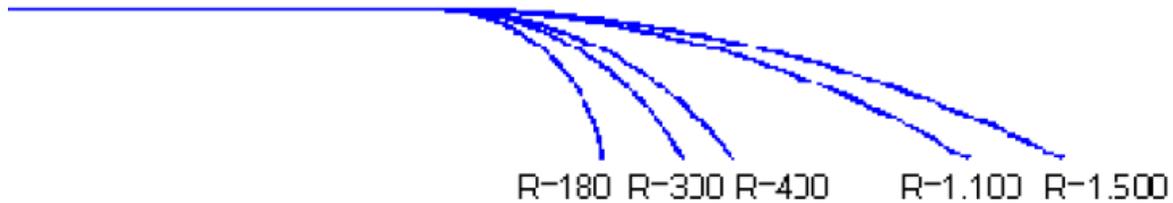


Figura 6.2. Radios mínimos de la vía. [46]

6.3. Peralte.

Se debe considerar un adecuado peralte en las curvas de la vía con el fin de evitar los siguientes problemas originados por un exceso de fuerza centrífuga.

- Desrielo. Se considera que se produce pasado el límite de 5,9 m/s².
- Volcamiento. Se considera que en forma normal se produce pasado el límite de 6,5 m/s². Depende de la altura del centro de gravedad del vehículo.
- Desplazamiento de la vía. Se considera que en forma normal se produce pasado el límite de 3,7 m/s². Depende del afianzamiento lateral de la vía en la curva.
- Arrancamiento de las sujeciones. Depende del tipo de sujeción y de su capacidad de retención.
- Desgaste prematuro del riel exterior de la curva.
- Incomodidad del viajero.

El cálculo de la diferencia de alturas en los rieles que arroja el peralte se realiza con la siguiente ecuación.

$$h = T * \frac{V^2}{g * R}$$

Dónde:

- h es el peralte (mm).
- T es la distancia entre los ejes de los rieles (no es la trocha).
- V es la velocidad de circulación (Km/h).
- g es la aceleración de gravedad.
- R es el radio de la curva (m).

En la figura 6.3 se detallan las diversas acciones que interactúan en el peralte.

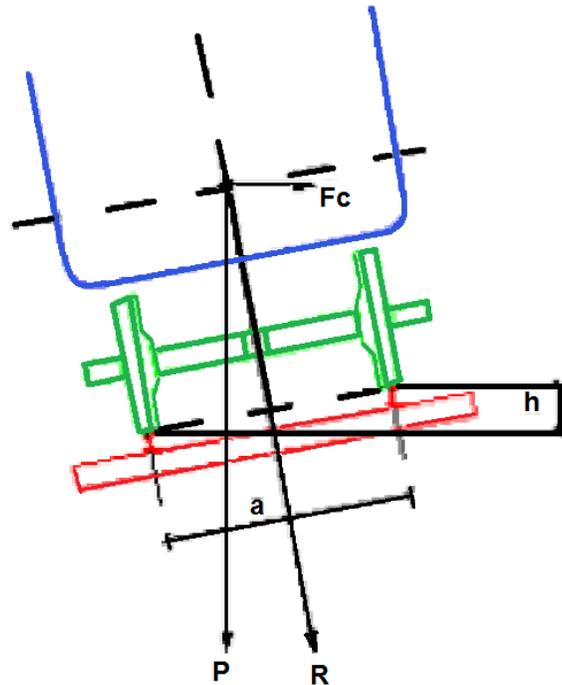


Figura 6.3. Acciones efectivas en peralte. [46]

De norma EFE para las trochas predominantes en Chile los valores de T son:

T = 1.746 mm (para trocha 1.676 mm).

T = 1.070 mm (para trocha 1.000 mm).

Así el peralte teórico para la velocidad de diseño es:

Para trocha 1676 mm.

$$h = 13,7 * \frac{V^2}{R}$$

Para trocha 1000 mm.

$$h = 8,4 * \frac{V^2}{R}$$

Como en la vía del proyecto circularán trenes de diferentes velocidades en distintos horarios del día (carga y pasajeros), se puede adoptar un peralte práctico, que es una fracción del teórico.

$$h_{práctico} = \frac{2}{3} * h_{teórico}$$

EFE limita el peralte máximo por razones de seguridad y comodidad a 170 mm, aproximadamente $(1/10)*T$.

Al fijar el peralte práctico inferior al teórico limitando su valor, queda una aceleración centrífuga sin compensar. EFE establece que esta aceleración no deberá sobrepasar $0,4 \text{ m/s}^2$ al igual que lo establecido en el Plan Director Europeo de Infraestructura. Con esto la insuficiencia de peralte será:

- 71 mm para trocha 1676 mm.
- 44 mm para trocha 1000 mm.

Así la ecuación para obtener el peralte de una vía de trocha 1676 mm es:

$$h_{min} = 13,7 * \frac{V^2}{R} - 71$$

En algunas curvas se deberá limitar la velocidad de circulación de los ferrocarriles debido a que los radios son pequeños obteniendo un peralte límite de 170 mm, de las fórmulas de peralte podemos obtener la fórmula de la velocidad máxima de circulación cuando se aplica peralte máximo.

$$V_{máximo} = 4,2 * \sqrt{R}$$

Dónde:

- R es el radio de la curva m.

6.4. Obtención del peralte.

De los radios aproximados de las curvas de la tabla 6.1 y con una velocidad de diseño de 120 Km/h se puede obtener los peraltes teóricos y prácticos del proyecto.

Trazado 1						
Kilómetro	Radio m	Peralte teórico mm	Peralte práctico mm	Peralte definitivo mm	Velocidad máxima Km/h	Comentarios
0	300	587	391	170	72,7	Se debe limitar la velocidad de circulación de los ferrocarriles a una menor a la de diseño
0,74	950	137	91	91	120,0	
1,6 - 2,1	1000	126	84	84	120,0	
4,1	900	148	99	99	120,0	
5,45	575	272	181	170	100,7	Se debe limitar la velocidad de circulación de los ferrocarriles a una menor a la de diseño
12 - 12,7	875	154	103	103	120,0	
14,3 - 14,7	900	148	99	99	120,0	
16,3 -	4000	-22	-14	0	120,0	El peralte en esta curva será

19,5						innecesario.
20,2	1550	56	38	38	120,0	
22,7	1850	36	24	24	120,0	
Trazado 2						
Kilómetro	Radio m	Peralte teórico mm	Peralte práctico mm	Peralte definitivo mm	Velocidad máxima Km/h	Comentarios
0	300	587	391	170	72,7	Se debe limitar la velocidad de circulación de los ferrocarriles a una menor a la de diseño
0,74	950	137	91	91	120,0	
1,6 - 2,1	1000	126	84	84	120,0	
4,1	900	148	99	99	120,0	
5,45	575	272	181	170	100,7	Se debe limitar la velocidad de circulación de los ferrocarriles a una menor a la de diseño
5,58 - 6,16	400	422	281	170	84,0	Se debe limitar la velocidad de circulación de los ferrocarriles a una menor a la de diseño
6,6 - 7,4	700	211	141	141	120,0	
9,03 - 9,5	720	203	135	135	120,0	
10,4 - 11	735	197	132	132	120,0	
13,1 - 13,8	875	154	103	103	120,0	
15,4 - 15,8	900	148	99	99	120,0	
16,3 - 19,5	4000	-22	-14	0	120,0	El peralte en esta curva será innecesario.
21,3	1550	56	38	38	120,0	
23,8	1850	36	24	24	120,0	
Trazado 3						
Kilómetro	Radio m	Peralte teórico mm	Peralte práctico mm	Peralte definitivo mm	Velocidad máxima Km/h	Comentarios
0	300	587	391	170	72,7	Se debe limitar la velocidad de circulación de los ferrocarriles a una menor a la de diseño
0,74	950	137	91	91	120,0	
1,6 - 2,1	1000	126	84	84	120,0	
4,75 - 5	800	176	117	117	120,0	
5,3 - 5,6	900	148	99	99	120,0	
6,12 - 6,9	1050	117	78	78	120,0	
8,6 - 9,3	730	199	133	133	120,0	
10,2 - 11	735	197	132	132	120,0	
13,1 - 13,8	875	154	103	103	120,0	
15,4 - 15,8	900	148	99	99	120,0	
16,3 - 19,5	4000	-22	-14	0	120,0	El peralte en esta curva será innecesario.

21,3	1550	56	38	38	120,0	
23,8	1850	36	24	24	120,0	

Tabla 6.2. Cálculo de peraltes de las curvas.

Como se puede apreciar en la tabla 6.2 y para cada una de las alternativas de trazado, se tendrán algunas curvas en las que no se podrá lograr la velocidad de diseño de 120 Km/h.

La curva n°1 para todas las alternativas presentará una velocidad máxima de 72,7 Km/h dado que aquí se requiere el mayor peralte de todo el trayecto, lo cual es fácil de respetar dado esta curva se encuentra a la entrada y salida de la Estación Limache por lo que los trenes de pasajeros al tener la necesidad de realizar una parada en esta estación irán con una velocidad acorde al radio. También las tres alternativas comparten una curva en la que el radio es de 4000 m y el peralte es innecesario.

La opción 2 presenta dos curvas seguidas en la que se limita la velocidad debido al radio pequeño que presentan.

En el resto de las curvas de los trazados se logrará la velocidad de diseño de 120 Km/h con sus respectivos peraltes.

6.5. Ensanche de trocha.

En algunas curvas existen dificultades para los ferrocarriles y carros al momento de circular, para facilitar esto se le da un sobre ancho a las curvas. EFE establece los siguientes sobre anchos.

Radio R [m]	Ensanche E [mm]
$R \leq 180$	25
$180 < R \leq 300$	20
$300 < R \leq 350$	15
$350 < R \leq 450$	10
$450 < R \leq 550$	5
$550 < R$	0

Tabla 6.3. Sobre anchos de la trocha en las curvas. [46]

Así las curvas menores a un radio de 550 m deberán tener en consideración la variación en su trocha.

6.6. Tramos rectos entre curvas.

En zonas donde se encuentren dos curvas con sentido opuesto EFE en su normativa indica que es necesario disponer de un tramo recto con una longitud mínima equivalente a $V/9$. Para curvas con radio igual o inferior a 300 m este tramo recto deberá ser de 15 m.

Al analizar las alternativas en el software satelital se aprecia que se cumplen los requisitos dispuestos anteriormente.

6.7. Curvas de transición.

EFE en su normativa indica que un tramo de vía recta y una curva deberán estar intercalados por una curva de transición si se cumple la siguiente relación.

$$R = \frac{V^2}{5,2}$$

Dónde:

- R es el radio de la curva m.
- V es la velocidad máxima de circulación Km/h.

En la tabla siguiente se indica las curvas de cada alternativa que necesitarán la transición.

Kilómetro	Radio (m)	Curva de transición
Trazado 1		
0	300	Si
0,74	950	Si
1,6 - 2,1	1000	Si
4,1	900	Si
5,45	575	Si
12 - 12,7	875	Si
14,3 - 14,7	900	Si
16,3 - 19,5	4000	No
20,2	1550	Si
22,7	1850	Si
Trazado 2		
0	300	Si
0,74	950	Si
1,6 - 2,1	1000	Si
4,1	900	Si
5,45	575	Si
5,58 - 6,16	400	Si
6,6 - 7,4	700	Si
9,03 - 9,5	720	Si
10,4 - 11	735	Si
13,1 - 13,8	875	Si
15,4 - 15,8	900	Si
16,3 - 19,5	4000	No
21,3	1550	Si
23,8	1850	Si
Trazado 3		
0	300	Si
0,74	950	Si
1,6 - 2,1	1000	Si
4,75 - 5	800	Si
5,3 - 5,6	900	Si
6,12 - 6,9	1050	Si
8,6 - 9,3	730	Si
10,2 - 11	735	Si
13,1 - 13,8	875	Si
15,4 - 15,8	900	Si
16,3 - 19,5	4000	No
21,3	1550	Si
23,8	1850	Si

Tabla 6.4. Curvas de transición de los trazados.

6.8. Alineación del perfil.

6.8.1. Rampas máximas.

Para evitar problemas de deslizamientos y desgastes en las vías EFE establece las pendientes máximas que puede tener la vía en diversos puntos de un recorrido y limitada por razones económicas y de seguridad indicando que la rampa máxima no debe exceder 25% en plena vía y 2,5% en estaciones (porcentajes en relación a mil).

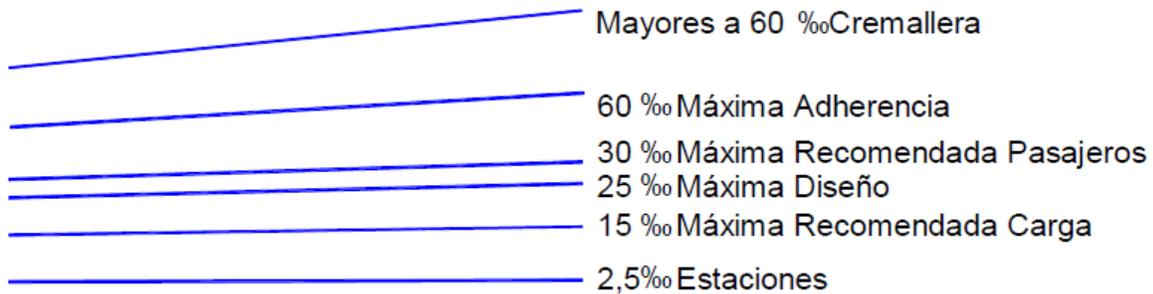


Figura 6.4. Pendientes máximas en la vía. [46]

El punto de inicio del nuevo tramo en la ciudad de Limache tiene una altura de 93 msnm y el destino final en la ciudad de La Calera se encuentra a 180 msnm. Esto quiere decir que el trazado deberá contener pendientes de ascenso a medida que avanza en su recorrido, sumado a las condiciones orográficas que se deban sortear.

6.8.2. Curvas verticales.

Las curvas cóncavas y convexas del trazado deberán estar relacionadas con la velocidad de circulación mediante las siguientes formulas.

$$R > V^2$$

Con un mínimo exigible de:

$$R = \frac{V^2}{5,2}$$

EFE limita los radios de las curvas cóncavas y convexas señalando que en rampas que difieren más de 6 mm/m deberá utilizarse curvas verticales cuyo radio varía según la velocidad máxima admisible en la vía.

Velocidad [km/h]	Radio [m]
50	2.000
130	5.000
180	10.000

Tabla 6.5. Curvas de acordamiento vertical. [46]

Así dependiendo de la velocidad de circulación de los trenes en cada tramo se limitarán los radios de estas curvas.

7. ESTRUCTURAS.

Según las opciones escogidas para el trazado, este tendrá determinado número de estructuras por donde cruzara, de todas las evaluadas se comparten entre ellas la existencias de un túnel el cual será analizado a continuación.

7.1. Viaductos.

Ninguna de las opciones escogidas como alternativa para el trazado cuenta con viaductos en su trayecto.

7.2. Túneles.

Solo existe la presencia del túnel San Pedro en el recorrido del trayecto.

7.2.1 Túnel San Pedro.

Está ubicado en las afueras de la ciudad de Limache a 2,5 Km desde la estación central de la ciudad. Fue construido en el año 1860, posee forma de herradura y tiene una longitud de 488 m (de los 1.952 que se cuentan con la trinchera). Es de una sola vía con un ancho de base aproximado de 3,4 m y un galibo que cumple con lo establecido en las normas de EFE. Tiene su recorrido en dirección sur a norte desde Limache hasta San Pedro.

Las dos entradas del túnel están revestidas con albañilería y un notorio deterioro por el paso del tiempo, la erosión y vegetación del sector. En la entrada poniente por el costado derecho posee una canalización de aguas (ver anexo n°8) siendo posible que sea de aguas residuales.

El túnel presenta filtraciones, en ambas entradas y también a 100 metros de la salida norte, en menor cantidad, en el sector central. Además, presenta un insuficiente drenaje longitudinal, aunque el trazado posee pendientes hacia ambos portales. También se presentan afloramientos de agua en los taludes laterales del portal oriente, observándose socavaciones en las base de los cortes.

No presenta ninguna iluminación y cuenta con tres nichos de protección en su costado derecho. No se aprecian desprendimientos del revestimiento pero es probable que esté deteriorado en algunos sectores, particularmente en aquellos de abundantes filtraciones.

La sección de la vía como se aprecia en el Anexo n°8 figura A50 está deteriorada en ambas entradas, situación que cambia en el interior del túnel en donde mantiene sus

traviesas. A simple vista se ve con mucha humedad, terreno irregular y presencia de rocas en los alrededores.

De acuerdo a la situación apreciada se deberán realizar trabajos de reparación y mejoramiento en el túnel. Básicamente estos trabajos consistirán en el tipo de obras siguientes:

- Captación de filtraciones de aguas, mediante sello de grietas y sistema drenante.
- Refuerzo de sectores del túnel, manteniendo galibo requerido.
- Reconstrucción del sistema de drenaje de la plataforma interior y su conducción al exterior.
- Iluminación del túnel.
- Dotación de nichos de seguridad.
- Un sistema de seguridad para el tránsito de personal de mantenimiento y para una eventual evacuación de emergencia de pasajeros.
- Estructura de la vía del túnel.

7.2.2. Reacondicionamiento.

Los trabajos al interior del túnel deben ser:

- Inspección: En primer lugar se debe comprobar cada lugar del interior, identificando zonas críticas y ubicaciones de tuberías de conducción de agua, comprobar existencia de filtraciones y desprendimiento de elementos.
- Remoción: Se eliminarán todos los vestigios de la antigua vía, tanto la estructura de rieles y traviesa como las capas de balasto y escombros.
- Limpieza: Parte importante para este túnel, la humedad en varios puntos ha ocasionado la aparición de hongos en los muros que disminuyen la resistencia.
- Comprobar resistencia: Se deberán hacer estudios de resistencia al interior del túnel para asegurarse que la estabilidad no está comprometida.
- Construcción: La nueva estructura de la vía, mejorar las paredes y techo, sistema de seguridad ante problemas en el interior como nichos de emergencia y de evacuación de gases, instalación de luminaria interior.
- Seguridad: Se debe dotar con elementos como casetas de llamado de emergencia, sistema anti incendios y señalética de escape.

7.2.3. Estructura de la vía.

Se propone como solución para el túnel la construcción de una vía en placa en contra de vía en balasto, el tipo específico de método constructivo dependerá de la evaluación general en estudios posteriores, a continuación se darán a conocer las ventajas que presentará este tipo de vía para el túnel San Pedro.

- Será una gran ventaja en costos de mantención y limpieza, ya que las entradas se encuentran rodeadas de vegetación y levantamiento de partículas de polvo que

puedan acumularse por el constante paso de los trenes, también ante algún derrame o desprendimiento se puede acceder con facilidad para su remoción.

- Se ha comprobado por el catastro en imágenes del túnel que presenta humedad y agua en su interior, así como el paso de tuberías, la vía en placa posee un sistema de drenaje sencillo y de gran ayuda en estos casos.
- Si bien el costo de construcción será mayor, con el tiempo se compensará dado la poca mantención que requiere dando un gran ahorro, debido a que los materiales son de gran durabilidad y vida útil.
- El túnel al tener un galibo y ancho establecido limita la construcción con balasto provocando capas más gruesas, con la vía en placa no existiría ese problema.
- Para el proyecto reduciría los tiempos de trabajo, considerado que se deberán hacer trabajos interiores para re acondicionar el túnel, de esta forma se genera un ahorro de dinero.
- Si se requiere acceder al interior del túnel con otro vehículo motorizado que no sea un tren o ferrocarril se puede hacer con facilidad, esto es importante ante emergencias o incendios.

7.2.4 Elementos de seguridad.

Se proponen la construcción de nichos de seguridad y evacuación al interior del túnel con el fin de servir como salida de emergencia ante cualquier accidente o imprevisto que ocurra. Estos nichos se dispondrán en los costados de la vía férrea debiendo describir más en profundidad en un estudio futuro la ubicación precisa de estos. Su construcción será en uno de los muros del túnel por lo que se deben hacer trabajos y estudios minuciosos para no dañar la estabilidad. También se debe estudiar un punto conveniente en cuando a altura para que sea adecuado a todos los usuarios.

Sistemas de evacuación de gases a lo largo de todo el túnel, tanto como dispensadores, ventiladores y canalización de estos con el fin de evitar problemas ante accidentes, imprevistos o derrames.

Elementos dispensadores de agua a lo largo del túnel para combatir posibles incendios que se produzcan.

Señalética adecuada y bien iluminada que ayuden a guiar a los usuarios y maquinistas en caso de accidentes.

7.3. Puentes

A lo largo de los trazados propuestos la vía cruzará por algunos riachuelos y esteros que sirven para abastecer de agua poblados y zonas de regadío no cruzando por el gran flujo de agua de la región que es el río Aconcagua. Los cursos de agua no son de gran dimensión, teniendo un ancho máximo de 2 m en algunos casos por lo que no se necesitaran estructuras de puentes tan grandes, si se consideran estructuras prefabricadas de poca luz con los que se puede dar solución.

El número específico de cruces es difícil de obtener si no se hace un catastro directo de la zona ya que algunas están obstruidas por la vegetación haciendo difícil su apreciación por imagen satelital.

Se debe tener en consideración este punto al momento de hacer un estudio final para el proyecto.

8. PASOS A NIVEL.

8.1. Cruces vehiculares.

Para el trazado con la faja de vía original los cruces son usados en la actualidad presentando diferentes condiciones en su señalización. En cuanto a los nuevos trazados se deberán construir nuevos pasos con caminos rurales usados en la zona.

Al estudiar los cruces viales se puede comprobar que algunos presentan barreras, señales luminosas o de sonido mientras que otros solo cuentan con señalización fija vertical. Los estados de la conservación de estos son muy variados pero en la mayoría de los casos se encuentran deteriorados o no funcionando. Cabe destacar que todos tienen la señalización vial de norma.

Otro punto importante es la visibilidad que se cuenta en los cruces siendo este un elemento de variada condición, en algunos casos es bastante restringida y precaria dando claros rasgos de peligrosidad por lo que se debe considerar en el proyecto para evitar algún accidente futuro. El pavimento de los cruces es de distinta calidad y deterioro, se presenta en algunos como losetas prefabricadas, asfalto sobre un emparrillado de rieles y otros solo de tierra.

En el anexo n°11 se caracterizarán los pasos a nivel de cada una de las alternativas en base al estudio realizado por “CIS Asociados Consultores en Transporte Ltda.” [20]

En el anexo n°11 tabla A12 se caracterizan los pasos a nivel de la opción 1, todos estos cruces son vehiculares y capaces de recibir tránsito a diario, después de realizar el catastro de las condiciones actuales se hace notar la poca seguridad en la que se encuentra tanto para el paso de los trenes como de los vehículos. La señalética fija se hace presente con información de detención vehicular antes de llegar al cruce, hace falta barreras vehiculares y reparación de los sistemas de sonido ante la proximidad de ferrocarriles.

La tabla A13 del anexo n°11 muestra la caracterización de la opción 2, aquí la diferencia se produce en la necesidad de construir ocho nuevos pasos a nivel en la zonas a expropiar, esto ya que al ser zona agrícola existen diversos caminos rurales que conectan el sector, estos caminos en su mayoría son de tierra y no tienen un tráfico constante, de igual forma se pueden considerar soluciones de seguridad en los cruces para evitar cualquier tipo de accidente.

De la misma forma para la caracterización de la opción 3 se deberán construir ocho nuevos pasos a nivel en el kilometraje mostrado en la tabla A14 del anexo n°11.

Los elementos de seguridad existentes se aprecian en la figura 8.1, en ella se ven la señalética fija para vehículos, semáforos, señales sonoras y barrera de automóviles, mientras que en la figura 8.2 se ve el paso a nivel típico compuesto por asfalto y emparrillado de rieles.



Figura 8.1. Tipos de señalética del trazado.



Figura 8.2. Emparrillado de las vías.

8.1.1. Geometría de los cruces.

La construcción de nuevos cruces a nivel en Chile es cada vez más escasa ya que existen pocos proyectos de nuevos trazados férreos, pero de igual forma hay que tener en consideración algunas consideraciones sobre su geometría ya sea para la construcción

de nuevas obras o el mejoramiento de los existentes. De esta forma se puede evaluar los cruces tabulados en el anexo n°11.

8.1.2. Índice de Peligrosidad (P)

En la Ley chilena se distinguen los cruces a nivel de carácter público y los particulares, para los primeros se rigen diversas disposiciones, la más importante es el Decreto Supremo N°38 del año 1986, en el cual se establece el Índice de Peligrosidad de los cruces a nivel públicos, dado por la siguiente expresión.

$$P = \frac{V * T}{4 \text{sen} \emptyset} \left(\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_4} \right) * (1 + \sum b_i)$$

Dónde:

V = Número de vehículos carreteros que circulan por el cruce en las 12 horas de mayor tránsito, adoptando el promedio de los censos realizados en 3 días consecutivos.

T = Número de trenes que circula por el cruce en 12 horas, correspondiente al día del censo caminero más cercano al valor V calculado.

\emptyset = Ángulo del cruce entre el camino y la vía férrea.

f_n = Factor de visibilidad.

b_i = Factores dependientes de condiciones locales del camino y la vía férrea.

Los factores de visibilidad f_n se determinan mediante la fórmula:

$$f_n = 1 - \frac{\sum L_n}{5v}$$

Dónde:

$\sum L_n$ = Suma de las proyecciones de los obstáculos fijos o temporales existentes dentro del rombo de visibilidad sobre el eje de la vía más próxima, tomando como centro de proyección uno de los vértices del rombo de visibilidad ubicado en el eje del camino, correspondiente a cada uno de los cuadrantes de dicho rombo de visibilidad.

v = Velocidad máxima de los trenes en el sector del cruce, en km/h.

En la figura 8.3 se muestra como determinar los valores del factor “L”.

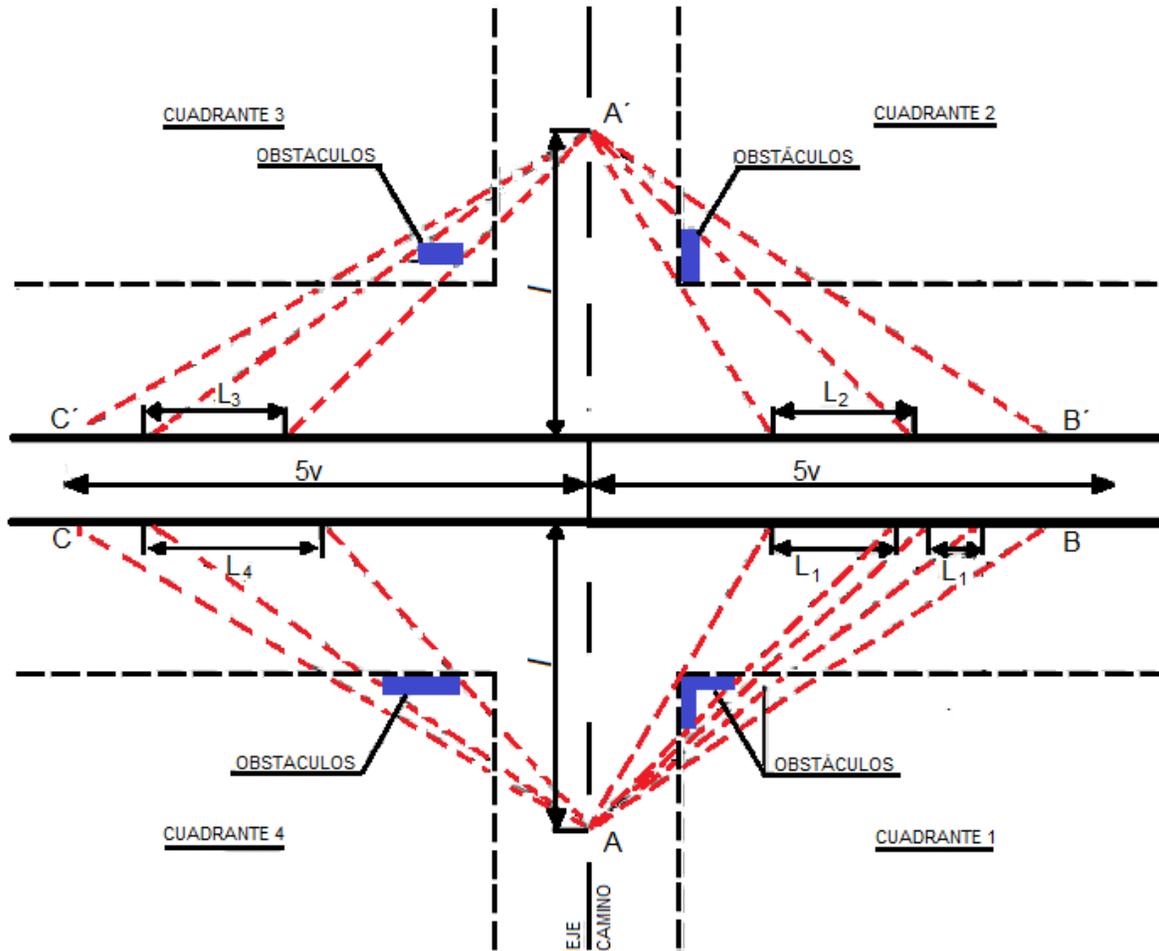


Figura 8.3. Esquema de cruce con valores de L. [47]

Como se ve en el esquema se tiene:

L_n = Proyecciones de los obstáculos sobre el eje de la vía en cada cuadrante.

l = el cual varía según tipo de camino, 15m para caminos de tierra y 30m para caminos pavimentados.

A su vez el cálculo de los "f" es:

$$f_1 = 1 - \frac{L_1 - L_1''}{5v}; f_2 = 1 - \frac{L_2}{5v}; f_3 = 1 - \frac{L_3}{5v}; f_4 = 1 - \frac{L_4}{5v}$$

Los factores b se estiman según los siguientes criterios:

- b1 gradiente del camino totalizando hasta 8% en ambos lados hasta 0,30.
- b2 gradiente del camino totalizando hasta 4% en un solo lado hasta 0,15.
- b3 caminos laterales desembocando dentro de 20 m del cruce hasta 0,15.
- b4 cruce angosto hasta 0,10.

- b5 vías férreas múltiples: doble vía hasta 0,10.
- b6 vías férreas múltiples: triple vía hasta 0,20.
- b7 vías férreas múltiples: cuatro o más hasta 0,30.
- b8 reflejo del sol hasta 0,15.

Como se ve, en este método de cálculo del Índice de peligrosas influyen muchos factores haciéndolo muy complejo y engorroso, puede ser utilizado si se conocer todos los elementos necesarios. Por otra parte el resultado de aplicar estas fórmulas arrojará un número que debe ser analizado, la normativa establece que los cruces cuyo índice “P” es menor o igual a 12.000 llevarán sólo señalización fija (“Cruce Ferroviario”, “PARE” y “Sin Guarda cruce”), y aquellos cuyo P es mayor de 12.000 llevarán señalización automática o barreras de operación manual.

En vista a lo anterior EFE preparó la Norma de Seguridad EFE-NSF-51-001 para cruces de nivel en el cual se evalúa el Momento de circulación y trae nuevas mejoras como la simplificación del método anteriormente explicado para el cálculo del índice, introducción de más categorías de evaluación de los cruces, mayor regulación de las medidas de protección y plantea la necesidad de desnivelar algunos cruces cuando se alcanza cierto límite de cálculo.

Así las seis nuevas categorías son las siguientes:

Categoría cruce a nivel	Momento de circulación	Visibilidad
Categoría 1	$MC \leq 5.000$	visibilidad suficiente
Categoría 2	$MC \leq 5.000$	visibilidad insuficiente
Categoría 3	$5.000 < MC \leq 50.000$	visibilidad suficiente
Categoría 4	$5.000 < MC \leq 50.000$	visibilidad insuficiente
Categoría 5	$50.000 < MC \leq 100.000$	visibilidad suficiente
Categoría 6	$50.000 < MC \leq 100.000$	visibilidad insuficiente

Tabla 8.1. Categorías momento de circulación. [48]

La categorización permite establecer los requerimientos que la norma exige para cada cruce a nivel, como lo muestra la tabla siguiente:

Categoría cruce a nivel	Tipo de señalización requerida
Categoría 1	Señalización Fija
Categoría 2	Señalización Fija + Señalización Activa
Categoría 3	Señalización Fija + Señalización Activa
Categoría 4	Señalización Fija + Señalización Activa + Dos Semi barreras
Categoría 5	Señalización Fija + Señalización Activa + Dos Semi barreras
Categoría 6	Señalización Fija + Señalización Activa + Cuatro Semi barreras

Tabla 8.2. Señalización según categoría de cruce. [48]

El momento de circulación está definido como el producto aritmético de la media diaria de la circulación ferroviaria por la media diaria de la circulación vial o, en su defecto, del 125% de estos tráficos entre 7:30 y 19:30 hrs.

La media diaria se define como el promedio de los flujos diarios de un martes, miércoles y jueves consecutivos, de marzo a noviembre, sin considerar feriados o días extraordinarios.

Para estimar la visibilidad se aplica la siguiente formula:

$$R1 = 0,8V\sqrt{(n + 5,6)}$$

Dónde:

R1 = distancia a la cual un observador situado a 1,5m de altura y a 5m del riel más cercano, deba ver al tren más rápido que circule por el sector.

V = Velocidad máxima de los trenes en el sector.

N = Número de vías férreas.

Si la distancia R1 es mayor de 600 m, el cruce se califica como de visibilidad insuficiente.

8.1.3. Calculo de Momento de circulación.

Para el cálculo se necesitan los valores aproximados de trenes diarios en circulación por los cruces y el flujo de vehículos a diario. Este último dato se puede extraer del catastro hecho por “CIS Asociados Consultores en Transporte Ltda” en el año 2008 en donde se ha medido en base al método de estimación de tráfico “TMDA”. Como estos datos son de hace más de 10 años se deberá actualizar a un número aproximado de hoy en día, en base al crecimiento del parque automotriz en Chile y el crecimiento de la población en las comunas beneficiadas.

El parque automotriz en Chile en el año 2008 fue de 2.955.303 unidades [21] y en el año 2019 fue de 5,5 millones de unidades traducido en un aumento del 86%.

En la tabla 8.3 se aprecian los cruces con catastro de tráfico vehicular en la faja de vía existente (opción 1), estos serán los cruces de mayor importancia en el trayecto y en los que no se cuenta con datos se podrá establecer una solución acorde en base a los ya estudiados. Para las nuevas opciones de trazado existirán cruces nuevos que deberán ser construidos por lo que es imposible establecer el tráfico vehicular, pero si dar un valor aproximado para establecer su importancia en cuanto a seguridad y señalética.

Cruce	Cruces catastrados	
	Km	Conteo de tráfico
San Pedro ruta F-382	5,27	Si
San Pedro ruta F-382	7,58	No
Vía rural de tierra	8,51	No
Quillota calle Carlos Condell	10,5	No
Quillota calle Callejón Moreno	11,6	No
Quillota calle Arauco	12	Si
Quillota calle Rafael Ariztía	13,6	Si
Quillota calle Tte. Ignacio Serrano	14	Si
Quillota calle Prieto	15,8	Si
La Cruz calle El Llano	17	No
La Cruz calle Fuenzalida	17,2	No
La Cruz calle Pedro Aguirre Cerda	17,5	Si
La Cruz calle Augusto Best	18,4	No
La Cruz calle Ricardo Santa Cruz	18,7	Si
La Cruz vía rural de tierra	19	No
La Cruz calle Simpson	19,5	Si
La Cruz calle 21 de Mayo	20,4	Si

Tabla 8.3. Cruces catastrados faja vía existente. [20]

Como se puede observar en la tabla anterior, hay 9 cruces con catastro de vehículos repartidos en los poblados de San Pedro, Quillota y La Cruz. En base al crecimiento del parque automotriz se puede aumentar estimativamente el número de circulación de estos por los cruces para dar una primera vista que luego en posteriores informes deberá ser detallada con exactitud.

A su vez del capítulo 5.1.2 se extraen los datos de servicios diarios de ferrocarriles dando un valor de 110 pasos diarios de pasajeros y 3 de mercancías.

Cruce	Cruces catastrados				
	Km	Número vehiculos día hábil ambos sentidos año 2008	Número vehiculos día hábil ambos sentidos año 2019	Número trenes día hábil ambos sentidos	Momento de circulación cruce a nivel
San Pedro ruta F-382	5,27	9490	17082	113	1930266
Quillota calle Arauco	12	3198	5756,4	113	650473,2
Quillota calle Rafael Ariztia	13,6	7820	14076	113	1590588
Quillota calle Tte. Ignacio Serrano	14	1604	2887,2	113	326253,6
Quillota calle Prieto	15,8	2361	4249,8	113	480227,4
La Cruz calle Pedro Aguirre Cerda	17,5	5295	9531	113	1077003
La Cruz calle Ricardo Santa Cruz	18,7	448	806,4	113	91123,2
La Cruz calle Simpson	19,5	546	982,8	113	111056,4
La Cruz calle 21 de Mayo	20,4	1367	2460,6	113	278047,8

Tabla 8.4. Cálculo del Momento de Circulación. [20]

A su vez la tabla 8.5 muestra la visibilidad de los cruces catastrados.

Cruce	Cruces catastrados					
	Km	Velocidad máxima de los trenes del sector [Km/h]	Velocidad máxima de los trenes del sector [m/s]	Número de vías	Visibilidad [m]	Categoría
San Pedro ruta F-382	5,27	60	16,7	2	36,8309783	Suficiente
Quillota calle Arauco	12	100	27,8	2	61,3114488	Suficiente
Quillota calle Rafael Ariztia	13,6	100	27,8	2	61,3114488	Suficiente
Quillota calle Tte. Ignacio Serrano	14	100	27,8	2	61,3114488	Suficiente
Quillota calle Prieto	15,8	100	27,8	2	61,3114488	Suficiente
La Cruz calle Pedro Aguirre Cerda	17,5	90	25	2	55,136195	Suficiente
La Cruz calle Ricardo Santa Cruz	18,7	90	25	2	55,136195	Suficiente
La Cruz calle Simpson	19,5	110	30,6	2	67,4867027	Suficiente
La Cruz calle 21 de Mayo	20,4	110	30,6	2	67,4867027	Suficiente

Tabla 8.5. Cálculo de visibilidad de cruces.

Con los datos obtenidos en las tablas anteriores se clasifican los cruces con su señalética recomendada.

Cruce	Cruces catastrados				
	Km	Momento de circulación cruce a nivel	Visibilidad	Categoría	Señalización requerida
San Pedro ruta F-382	5,27	1930266	Suficiente	-	Señalética Fija + Señalización Activa + Dos semi barreras
Quillota calle Arauco	12	650473,2	Suficiente	-	Señalética Fija + Señalización Activa + Dos semi barreras
Quillota calle Rafael Ariztía	13,6	1590588	Suficiente	-	Señalética Fija + Señalización Activa + Dos semi barreras
Quillota calle Tte. Ignacio Serrano	14	326253,6	Suficiente	-	Señalética Fija + Señalización Activa + Dos semi barreras
Quillota calle Prieto	15,8	480227,4	Suficiente	-	Señalética Fija + Señalización Activa + Dos semi barreras
La Cruz calle Pedro Aguirre Cerda	17,5	1077003	Suficiente	-	Señalética Fija + Señalización Activa + Dos semi barreras
La Cruz calle Ricardo Santa Cruz	18,7	91123,2	Suficiente	5	Señalética Fija + Señalización Activa + Dos semi barreras
La Cruz calle Simpson	19,5	111056,4	Suficiente	-	Señalética Fija + Señalización Activa + Dos semi barreras
La Cruz calle 21 de Mayo	20,4	278047,8	Suficiente	-	Señalética Fija + Señalización Activa + Dos semi barreras

Tabla 8.6. Señalética necesaria de los cruces.

Como refleja la tabla 8.6, la mayoría de los cruces supera el límite establecido en la norma para la clasificación del momento de circulación (100.000) provocando no poder clasificarlos, la recomendación para los cruces con estas características según EFE es plantear de forma tácita la necesidad de desnivelar el cruce dado la cantidad de tráfico que lo circulará. Si se aplicara esta medida el costo del proyecto aumentaría considerablemente, siendo los cruces más críticos son en San Pedro (kilómetro 5,27), en el cual el paso de la vía férrea se hace por una avenida principal muy concurrida del poblado, lo que es preocupante ya que se vería afectada a cortes constantes en el paso vehicular. Se podría plantear como solución hacer un desnivel para el paso vehicular que facilitaría la circulación por esta vía. Otro punto preocupante es en la ciudad de Quillota (kilómetro 17,5) aquí el momento de circulación es muy grande y al ser una ciudad céntrica e importante para el conurbado, también se plantea la solución de desnivelar el cruce. En caso de no desnivelar los cruces existirán problemas de seguridad para los peatones del entorno de la vía.

De todos modos a cada cruce estudiado se le plantea la señalética informada en la tabla 8.6 como medida mínima para la seguridad, los cruces menos concurridos no tabulados contarán con la señalética mínima para el paso de vehículos y los nuevos cruces propuestos para las opciones 2 y 3 también se considerarán como cruces no tabulados con condiciones mínimas de señalética.

8.1.4. Disposiciones en Planta.

Los cruces ferroviarios en la medida de lo posible deberán ser ortogonales entre la vía férrea y los caminos vehiculares, esto arroja las siguientes ventajas:

- Permite la máxima visibilidad de la aproximación de los trenes a los vehículos viales.
- Reduce la extensión de la carpeta de rodado y por lo tanto de la interferencia entre la vía y el camino.
- Reduce los costos de construcción y mantenimiento del cruce.

En las tres alternativas de trazado propuestas no siempre será posible disponer de los cruces en forma ortogonal debiendo tratar de hacerlos lo menos esviado que se pueda. El costo de la carpeta de rodado crece proporcionalmente cuando está más esviada, por ejemplo en un cruce con ángulo 45° la carpeta de rodado debe ser 50% más larga en sentido de la vía férrea.

El análisis del ángulo de los cruces para cada una de las alternativas de proyecto está detallado en el anexo n°11. En ellas se aprecia que los ya existentes varían entre 45° a los 90° y en el caso de los trazados 2 y 3 donde se propone la construcción de nuevos cruces, estos están lo más ortogonal posible con las vías vehiculares de la zona.

8.2. Cruces peatonales.

La seguridad para los peatones se verá reflejada en la construcción de pasos autorizados para el libre tránsito de ellos, en zonas específicas, y de común interés de la población con él fin de evitar accidentes en el sistema. Las tres alternativas propuestas para el proyecto tienen el paso de su faja por algunas zonas con alta presencia de viviendas en las cuales la vía férrea corta el normal desarrollo urbano provocando que los transeúntes hagan paso a través de los rieles, más aun si no se cuenta con una protección perimetral adecuada que impida acciones riesgosas.



Figura 8.4. Situación actual de algunos pasos de peatones.

Como prioridad se considerarán pasos soterrados bajo la faja de la vía, por los cuales puedan circular peatones y ciclistas dando mayor seguridad en desmedro de pasos sobre nivel desde los cuales se pueden desprender objetos al interior de la zona de tránsito de ferrocarriles.

Para los cruces a nivel estudiados en el capítulo 8.1 también se contará con paso de peatones, estos los harán por la acera de la vía pública y al igual que el servicio vehicular contarán con sistemas de seguridad tales como semáforos o barreras cuando sea necesario.

El número total de pasos para peatones dependerá de cada opción de trazado, variando su número total, como así también si se requiere agregar alguno que no esté tabulado o identificado y sea necesario dada la importancia para cierta población dado el exponente crecimiento que tienen los poblados chilenos, pueden ser considerados en estudios futuros.

Los pasos inferiores deberán ser construidos en las áreas con alta concentración de vivienda, tal es el ejemplo en el poblado de La Cruz en donde la vía férrea es paralela a la Avenida Santa Cruz, el paso del ferrocarril divide una zona de viviendas en la cual a diario circulan cientos de personas por la vía férrea (figura 8.5). Aquí es conveniente hacer un paso soterrado bajo la vía que ayuda a facilitar el tránsito de los peatones.



Figura 8.5. Paso de la faja de la vía por zona de viviendas dividiendo la comunidad.

Los cruces peatonales que se aplicarán en los diseños de las tres alternativas se clasifican como pasos superiores, inferiores y a nivel, los cuales se detallarán a continuación.

8.2.1. Pasos peatonales superiores.

La estructura para ferrocarriles es similar a la que se encuentra en los pasos viales, formado por dos rampas de acceso, una en cada lado de la vía más un puente que las une. Su materialidad puede ser de hormigón, perfiles de acero o una combinación de ambas.

En cuanto a las rampas de acceso lo normal es que sean rectas o helicoidales desarrollándose fuera de la faja ferroviaria. Gradiente de la rampa es de 15% para permitir el tránsito de sillas de rueda. (Anexo n°12)

En cuanto a los pasos viga puente la altura es variable y depende del gálibo del ferrocarril que circulará, como la vía debe ser electrificada EFE exige un altura libre de 8 m salvo en algunos casos excepcionales. En las vías electrificadas se fija a las vigas de los pasos peatonales, viseras de protección sobre la catenaria, con el objeto de prevenir el acercamiento de personas u objetos desde el puente a las líneas electrificadas.

8.2.2. Pasos peatonales inferiores.

Estos pasos son similares a las alcantarillas, formados por un tubo rectangular de hormigón armado con sus respectivas alas y guarda lastres. Su cálculo y diseño debe atenerse a las normas de diseño de alcantarillas.

En cuanto a sus dimensiones se recomienda una altura libre mínima de 2,5 m y ancho entre 3 a 4 m. Accesos con rampas de gradiente 15% que permitan el paso de sillas de rueda y barreras tipo laberinto que impiden el paso de vehículos menores. Los accesos deben estar fuera de la faja ferroviaria.

Un punto muy importante es el drenaje de estos pasos ya que en temporadas lluviosas deben aguantar las aguas de escurrimiento, para esto se dispondrán canalizaciones que conduzcan las aguas a otros puntos autorizados para su evacuación.

8.2.3. Pasos peatonales a nivel.

Se aplicarán las características detalladas en la norma EFE-NSF-51-001 [48] las cuales indican.

Los pasos peatonales a nivel deben cumplir con ciertas características mínimas:

- Pavimento liso y nivelado en la zona de las vías.
- Accesos cómodos y seguros a la zona de cruce.
- Dispositivos que impidan la entrada a vehículos menores.
- Cierros de la faja para canalizar el flujo por el paso.
- Ancho igual o inferior a 1,5 m.
- Letreros de advertencia.

Características deseables son:

- Iluminación suficiente en los accesos y vereda de cruce, que no impida ver las luces de los trenes que se acercan.
- Dispositivos para impedir o dificultar el acceso al resto de la faja por los peatones.
- Señalización de advertencia de la proximidad de un tren.
- Barreras automáticas (en casos especiales).

En el anexo n°12 se detalla sus medidas.

8.3. Señalética de protección.

En base al cálculo realizado en el capítulo 8.1.3 y el anexo n°11, en donde las tres alternativas comparten los cruces tabulados y, agregando a las opciones 2 y 3 algunos nuevos cruces en terrenos rurales de poca circulación por donde se proyecta la vía se puede obtener un aproximado de la cantidad de señalética necesaria que se aprecia en el anexo n°13.

8.3.1. Señales fijas.

Las señales fijas consisten en letreros que se ubican a la derecha del camino, enfrentando la circulación vial. Para el caso de caminos de doble circulación, las señales fijas deben instalarse a ambos lados del cruce.

Estas señales fijas son las siguientes:

- “Cruz de San Andrés” a ubicarse a una distancia entre 100 a 300 m del cruce en zona rural y a una distancia entre 10 y 30 m en zona urbana, que informa al conductor vial de la proximidad del cruce.
- Disco “PARE”, a ubicarse a una distancia entre 4 a 10 m del cruce y que informa al conductor vial que debe detener su vehículo antes de proceder a cruzar la vía férrea.
- Letrero “SIN GUARDACRUCE” a ubicarse a conveniencia entre el disco PARE y la Cruz de San Andrés, y que informa al conductor vial que el cruce no está protegido por dispositivos manuales o automáticos.

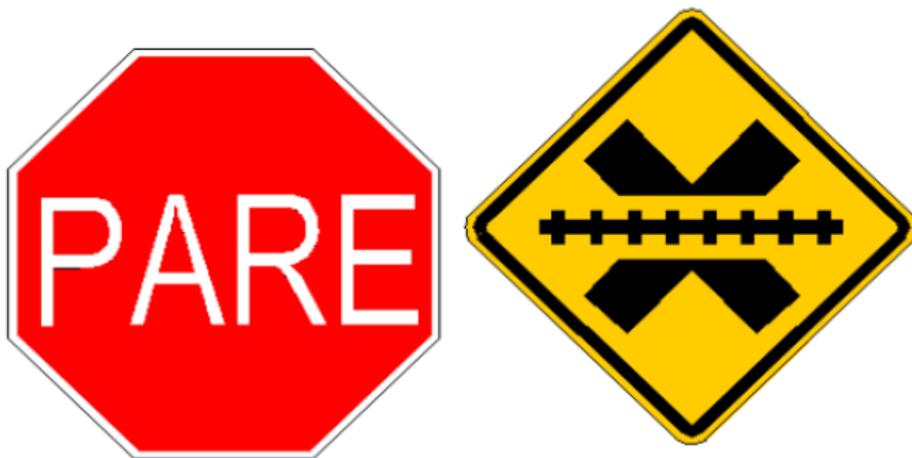


Figura 8.6. Señalética normada disco pare (izq.) y cruce ferroviario a nivel sin barrera (der.). [48]

8.3.2. Señales automáticas.

Para la protección del tráfico vial y ferroviario en los cruces a nivel se emplea básicamente dos sistemas:

- Anuncio automático de la aproximación del tren, consistente en señales luminosas y sonoras, llamados “banderistas automáticos”.
- Barreras electromecánicas de accionamiento automático que impiden el paso de los vehículos.

8.3.3. Banderistas automáticos.

La constituyen señales ópticas destellantes y señales acústicas, sumado a la señalética fija del capítulo 8.3.1.

Están compuestas por:

- Un conjunto de dos reflectores rojos, que destellan en forma alternativa ante la detección de la aproximación de un tren.
- Un reflector blanco lunar, normalmente encendido cuando no hay trenes en aproximación.
- Un gong, campana, timbre o sirena que funciona en forma simultánea con las luces rojas.

A su vez, la señalización fija está formada por:

- La Cruz de San Andrés, ubicada a la distancia reglamentaria.
- El disco PARE, ubicado a la distancia reglamentaria.
- Un letrero ubicado bajo la luz blanca, con la leyenda “LUZ BLANCA INDICA NO VIENE TREN”.

La señalización descrita corresponde a un solo lado del camino. En los caminos de circulación bidireccional, ésta se coloca por ambos lados del cruce.

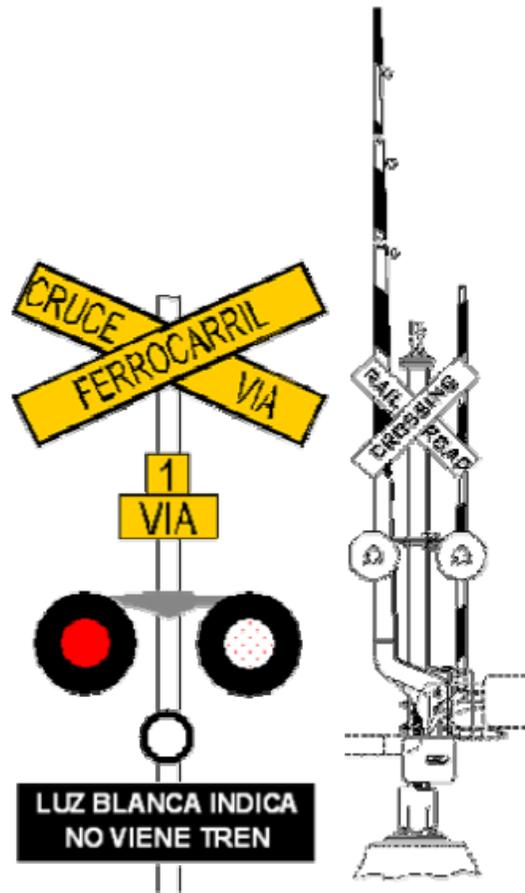


Figura 8.7. Señalética automática y barrera automática. [48]

8.3.4. Barreras automáticas.

Los cruces protegidos por barreras automáticas tienen, además de las barreras, las señales ópticas destellantes y señales acústicas descritas en capítulos anteriores. En relación a la señal blanca, ésta es opcional en las barreras automáticas, pero se recomienda su inclusión como un elemento de seguridad adicional para los vehículos viales. Al igual que en el caso de los banderistas automáticos, debido al mandato legal, los cruces con barreras deben llevar la Cruz de San Andrés y el letrero Pare.

La normativa distingue entre barreras que bloquean toda la calzada y las que bloquean al menos 85% de la calzada de circulación vehicular.

8.4. Carpeta de rodado del cruce ferroviario.

Se trata de la zona compartida donde interacciona el camino vehicular y el ferroviario, el diseño y materialidad de la estructura dependerá de la importancia y ubicación del cruce.

Como principales características se debe asegurar el siguiente funcionamiento:

- Proteja la estructura de la vía férrea del impacto de los vehículos viales pesados.

- Proporcione una superficie lisa y pareja, que no presente obstáculos a la pasada de los vehículos.
- Permita la ejecución del mantenimiento y las reparaciones de la vía férrea.
- No interfiera con la normal circulación de los vehículos ferroviarios, ni requiera disminución de su velocidad de circulación.
- En vías señalizadas, mantenga la aislación eléctrica de los rieles.

Las soluciones más comunes para esta estructura son:

- Carpeta de tierra.
- Paneles de durmientes de madera.
- Emparrillado de rieles.
- Paneles de hormigón.
- Viguetas estructurales.

Para los cruces de las tres alternativas propuestas se ocuparán paneles de hormigón y viguetas estructurales.

8.4.1. Paneles de hormigón.

Solución que se puede ocupar tanto en traviesas de madera y de hormigón. Son paneles de losa de hormigón armado adosado a lo largo de la vía, que reemplazan a las traviesas. Sobre estas losas, que forman parte de la superestructura de la vía férrea, se coloca otra serie de losetas de hormigón armado, removibles, que forman la superficie de rodado. Las losas han sido calculadas para resistir las cargas provenientes del tráfico vial pesado y sus juntas se sellan con asfalto o con un elastómero.

Recomendada sobre todo para los cruces de alto tráfico vial, en general EFE no los recomienda para vías férreas en donde se superen las velocidades de 120 Km/h.

En cuanto a sus ventajas se encuentra:

- Forman una superficie de rodado pareja y firme, que permite tránsito pesado.
- Requieren muy poco o ningún mantenimiento.

Sus desventajas:

Son de construcción complicada, tanto en taller como en su instalación

- Constituyen un punto fijo en la vía, perjudicando la elasticidad de la vía en este sector.
- Al constituir un elemento inamovible, dificulta las operaciones de alineación y nivelación.
- Son de elevado costo.

En el anexo n°13 se muestra la ubicación referencial de la solución de panel de hormigón como carpeta de rodado para los cruces.

8.5. Cierre de la faja de la vía.

Los cierres, según el catastro de la infraestructura y a través del software google Earth conllevan que no existen en varios sectores de la faja vía entre La Calera y Limache.

Existen en el trayecto cierros de muro bulldog, de alambre de púas, de malla de alambre, de albañilería, sectores de cerro colindantes con sectores urbanizados, e importantes extensiones de cerro de zarza mora. Si no se consideran estos últimos como cerro real, se puede afirmar que se requiere materializar o mejorar cierres en alrededor del 60% del tramo entre La Calera y Limache.

EFE ha propuesto diversos tipos de cerco que dependen de la zona de ubicación, se pueden clasificar como a continuación.

* Cierros para Zonas Urbanas muy Pobladas y Entornos de Estaciones.

- Cierros de muros llenos: albañilería de ladrillos u hormigón armado. Se ha comprobado en la práctica que los muros pesados de hormigón armado son más seguros frente a hechos de vandalismo y destrucción, los muros Bulldog son más fáciles de robar.
- Cierros de reja tipo Metro en estaciones y sectores urbanos donde predominan los conceptos de estética y paisajismo.

* Cierros para Zonas Urbanas Medianamente Pobladas

- Cierros de malla metálica reforzada. Los cierros de mallas prefabricados tipo Acmafor han dado buenos resultados.
- Cierros de reja tipo Metro en estaciones y sectores urbanos donde predominan los conceptos de estética y paisajismo.

* Cierros para Zonas Rurales

En estos sectores se recomienda instalar cierros transparentes, preferentemente de alambre de púas. En los sectores cercanos a centros poblados o donde se requiera un cerco de mayor estándar, se recomienda utilizar postes prefabricados de hormigón con codo tipo A45 y 8 corridas de alambre de púas.

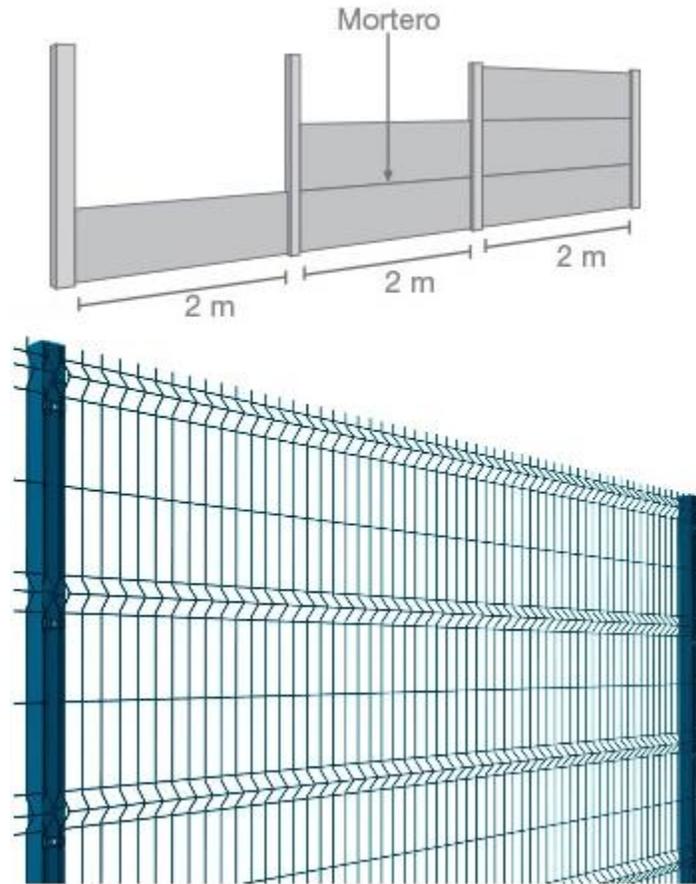


Figura 8.8. Muro tipo bulldog (arriba) y malla tipo Acmafor® (abajo). [49]

Su implementación dependerá del costo que tenga y si las autoridades lo consideran adecuado dado que hay zonas en donde el servicio Merval funciona sin su presencia, el muro tipo Bulldog se instalará en zonas que deba cerrarse totalmente el paso y la visión dado que es una alternativa más cara.

EFE ya tiene experiencia previa trabajando con la malla Acmafor® el cual tiene un diseño especial con placas soldadas a la malla y acuñadas con logo EFE.



Figura 8.9. Malla Acmafor® de EFE. [49]

En el anexo n°13 se muestra la ubicación referencial de la solución de cierre perimetral marcado con una línea negra que corresponde a la faja de la vía de cada una de las soluciones.

En algunas zonas se utilizarán a modo de aprovechamiento los materiales actuales de la vía, traviesas de madera y rieles que quedarán en desuso servirán para ser usados como material de cierre, de esta forma se promueve la reutilización de elementos.

9. CONDICIONES AMBIENTALES.

9.1. Normativa aplicable.

Todo proyecto ferroviario se adhiere a las siguientes normativas en el ámbito medioambiental.

- Ley General de Ferrocarriles. D.S. N°1.157, 1931. Ministerio de Fomento. [53]
- Ley Orgánica de la Empresa de Ferrocarriles del Estado. D.F.L. N°1, 1993. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. [54]
- Reglamento de los Servicios Nacionales de Transporte Público de Pasajeros. D.S. N°212, 1992. [55]

Normativa específica:

- Constitución Política de la República.
- Ley de Bases Generales del Medio Ambiente.

La Ley 19.300, publicada en el Diario Oficial el 09 de marzo de 1994 establece que aquellos proyectos o actividades señalados en el Artículo 10 de la Ley, considerados susceptibles de causar impacto ambiental, sólo podrán ejecutarse o modificarse previa evaluación de su impacto ambiental, para lo cual deben someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, SEIA, administrado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente (Conama).

9.2. Aspectos a considerar en el proyecto ferroviario.

Desde el punto de vista del impacto ambiental el proyecto debe estar clasificado según su tipología, en el presente influirán las siguientes según su naturaleza y lugar de impacto [56].

- Emplazamiento: El proyecto cuenta con trazado en zona urbana y rural.
- Geometría: El paso de la vía férrea será a nivel de superficie, una zona bajo tierra a través de túnel y por diversos puentes de pequeña longitud dada la cantidad de esteros y riachuelos de la zona.
- Transporte: Los servicios prestados por la vía son de carga y pasajeros.
- Magnitud: Cantidad de pasajeros/día y toneladas/día.

El estudio de impacto deberá contener características específicas del proyecto y del medio ambiente afectado, analizado caso a caso en profundidad entregados en un estudio final. A modo previo en este documento se presentará una lista previa con impactos potenciales de las opciones del trazado.

A continuación se presentan los componentes ambientales potencialmente afectados por la construcción del proyecto. En el anexo n°16 se muestra una tabla con los principales criterios de componentes ambientales [57] que afectaran a cada una de las opciones de trabajo evaluadas en cinco niveles (Nulo, Bajo, Medio, Alto y Muy Alto) sirviendo de estación.

9.2.1. Calidad del aire.

Impacto generado: Aumento de la concentración de sustancias contaminantes en el aire.

Construcción: Emisión de partículas generadas en las faenas constructivas lo largo de las instalaciones del proyecto.

Operación: Aumentará la concentración de contaminantes debido a la circulación de los trenes.

9.2.2. Calidad acústica.

Impacto generado: Aumento del nivel de inmisión acústica por ruido aéreo y de las vibraciones por paso estructural.

Construcción: Aumentarán los ruidos debido a las faenas tanto en la ciudad como zonas rurales afectando a los habitantes y la fauna.

Operación: El paso de los trenes generará vibraciones en las cercanías y un incremento del ruido tanto en la ciudad como en las zonas rurales.

9.2.3. Geomorfología.

Impacto generado: Inestabilidad de la estructura de las laderas, modificaciones en el relieve, alteración de sectores de interés geológico y procesos erosivos.

Construcción: El constante paso de maquinaria pesada y la necesidad de extraer zonas de terreno causará inestabilidad en las laderas y sectores aledaños a la faja de la vía, se modificaran relieves y zonas con vegetación para despejar áreas. Se van a alterar los procesos erosivos en varias zonas que se necesite nivelar el terreno.

Operación: Cuando exista regularidad en los servicios de trenes, estos generarán vibraciones que pueden modificar la estabilidad de las laderas.

9.2.4. Suelos.

Impacto generado: Daños de erosión, contaminación, pérdida de terrenos productivos, degradación biológica, modificaciones topográficas y la compactación.

Construcción: En esta fase es necesario realizar trabajos de poda y eliminación de vegetación con posterior enrase para habilitar espacios de trabajo, se generarán muchos residuos sólidos y líquidos por lo que hay que tener control de los derrames, cambios en la topografía modificando pendientes del terreno y la compactación de esta al extraer tierra y depositarla en otros sectores. .

Operación: Se verá modificada una vez comiencen a transitar trenes, por ejemplo para las opciones de trazado 2 y 3 se propone cruzar por suelos aptos para los cultivos y trabajos de este, el proyecto ocasionara un corte y eliminación de suelos fértiles.

9.2.5. Hidrología.

Impacto generado: Cambios en la morfología de ríos, riachuelos y cursos de agua.

Construcción: Al momento de construir deberá tener cuidado con zonas aledañas a los diversos cursos de agua que tiene la zona de interés, tanto en los poblados como en zona rurales cruzan canales para regadío que si se modifican alteraran las zonas río abajo. .

Operación: Ya con el transito diario de ferrocarriles se espera que los cursos de agua sigan como estaban antes de ejecutar la construcción del proyecto, mejorando sus estabilidades y construcciones de agua para una correcta interacción.

9.2.6. Flora.

Impacto generado: Destrucción de especies protegidas, eliminación de estas y deforestación.

Construcción: Será necesario quitar vegetación en los terrenos de interés, las diversas coberturas existentes abundan en las zonas de proyecto, deberán tratar de evitar un impacto severo en las faenas, a su vez especial cuidado con la manipulación de la maquinaria y elementos que puedan generar incendios.

Operación: Especies que sean protegidas o de importancia para el medioambiente deben ser reemplazadas o removidas con cuidado para depositarlas en zonas aledañas, de esta forma no se perderá la población de las especies y se mantiene el número de estas.

9.2.7. Fauna.

Impacto generado: Destrucción de fauna nativa, modificación en los regímenes de comportamiento de estas.

Construcción: Al remover flora y capas de suelo muchos animales del sector deberán emigrar a otras zonas cambiando el normal comportamiento de estas especies.

Operación: En zonas rurales es muy común la presencia de ganado o animales individuales transitando a cualquier hora del día, esto puede provocar que crucen por la faja de la vía poniendo en peligro a los usuarios, se deberá contar con adecuado sistema de protección perimetral que permita el distanciamiento de las especies, también se pueden proponer alternativas de cruce para estas en zonas amplias por ejemplo a través de túneles para el paso animal o elevaciones por sobre la faja de la vía.

9.2.8. Paisaje.

Impacto generado: Deterioro del paisaje.

Construcción: Remoción y deterioro de este.

Operación: El paso de un vehículo motorizado y toda la estructura daña el paisaje.

9.2.9. Medio socioeconómico y cultural.

Impacto generado: Alteración en la calidad de vida, en actividades económicas y productivas.

Construcción: En las zonas del proyecto aumentara la población flotante debido a la necesidad de contar con trabajadores, se sobrecargaran algunos servicios afectando a los usuarios y se perderán terrenos productivos.

Operación: Alteración de los hábitos de desplazamientos, cambios en la oferta y demanda de bienes y servicios.

10. CUBICACIÓN.

A modo de servir de pre análisis para futuros proyectos en este capítulo se hará una cubicación de algunos elementos que componen la vía férrea en cada una de las alternativas de trazado propuestas, si bien no todas las características de la vía estarán detalladas, si lo serán las más significativas tocadas en capítulos anteriores. El anexo n°15 se tendrá una tabla resumen de todas las cubicaciones.

Así los elementos serán:

- Traviesas.
- Balasto.
- Sub balasto.
- Capa de forma.
- Rieles.
- Cierres perimetrales.
- Señalética en cruces vehiculares.
- Postes.

- Traviesas.

Se tomará como distancia entre ejes de traviesas un valor de 0,6 m, dentro del túnel la vía será única. La unidad será número de traviesas.

- Balasto.

Como base se tomarán las dimensiones obtenidas en el capítulo 5.1.3, para simplificar los cálculos cada capa tendrá una pendiente en los costados de H:V 5:4, se debe restar el volumen ocupado por las traviesas en la faja de vía doble. Se ocupa el número de traviesas obtenido en el capítulo 10.1. La unidad será metros cúbicos.

El área del balasto será 2,0262 m².

Volumen total de traviesa de hormigón (2,6x0, 3x0, 22) m será 0,1716 m³.

- Sub balasto.

Como base se tomarán las dimensiones obtenidas en el capítulo 5.1.3, para simplificar los cálculos cada capa tendrá una pendiente en los costados de H: V 5:4. La unidad será metros cúbicos.

El área del sub balasto será 2,18243 m².

- Capa de forma.

Como base se tomarán las dimensiones obtenidas en el capítulo 5.1.3, para simplificar los cálculos cada capa tendrá una pendiente en los costados de H: V 5:4. La unidad será metros cúbicos.

El área de la capa de forma será 3,47095 m².

- Rieles.

La densidad de los rieles es de 56,85 Kg/ml. La unidad será toneladas.

- Cierres perimetrales.

Como se comentó en el capítulo 8.5, se utilizará un cierre tipo malla retícula cuadrada, la aplicación será en ambos costados de la vía en toda su longitud salvo la sección del túnel. La unidad será metros lineales.

- Señalética de cruces vehiculares.

En base a las tablas 8.3 y 8.6, los elementos a cubicar dependerán de la condición de los cruces, si estos están en zona urbana o rural, ya que según su importancia contendrán más o menos señalética. La cantidad de cruces está especificada en el anexo n°11 y los tipos de señalética se especifican en el capítulo 8.3.

- Postes.

Los postes de hormigón que sujetaran el sistema de catenarias tendrán un vano promedio usado por EFE de 60 m. Este valor disminuye en las curvas por lo que a modo aproximado se dejara un vano de 50 m en toda la vía para simplificar los cálculos, MERVAL ocupa un poste para doble vía. La unidad será número de postes.

Así el cálculo de los elementos es el siguiente:

Datos	Opción 1			Opción 2			Opción 3		
	Túnel	Faja de vía	Total	Túnel	Faja de vía	Total	Túnel	Faja de vía	Total
Kilómetros	0,49	24,41	24,9	0,49	25,31	25,8	0,49	25,7	26,19
Travesía (U)	818	81370	82188	818	84370	85188	818	84036	84854
Balasto (m³)	0	35496,45	35496,45	0	36805,23	36805,23	0	36659,93	36659,93
Sub balasto (m³)	0	53273,12	53273,12	0	55237,304	55237,304	0	55019,06	55019,06
Capa de forma (m³)	0	84725,9	84725,9	0	87849,75	87849,75	0	87502,65	87502,65
Rieles (T)	980 (ml)	98620 (ml)	5606,55	980 (ml)	102220 (ml)	5811,21	980 (ml)	101820 (ml)	5788,47
Cierres perimetrales (ml)	0	48820	48820	0	50620	50620	0	50420	50420
Disco pare (U)	0	34	34	0	46	46	0	46	46
Cruz San Andrés (U)	0	34	34	0	46	46	0	46	46
Luz (U)	0	18	18	0	18	18	0	18	18
Sirena (U)	0	9	9	0	9	9	0	9	9
Barrera automática (U)	0	18	18	0	18	18	0	18	18
Postes (U)	0	489	489	0	507	507	0	505	505

Tabla 10.1. Cubicación de los elementos.

En el anexo n°15 se presenta la tabla resumen con la cubicación calculada.

11. CRITERIOS TOMA DE DECISIÓN.

Se presentarán dos métodos de toma de decisión basados en primer lugar en un criterio económico y por otro lado en la experiencia vista a través del estudio de todos sus componentes, dando un punto de vista objetivo a cada elemento que interviene en el proyecto. Estos serán la evaluación económica y la evaluación por el método AHP.

11.1. Evaluación económica como criterio principal.

Se evaluara cada proyecto según su presupuesto estimado de los elementos cubicados, obteniendo así la diferencia de costos entre ellos facilitando a una toma de decisiones.

Los valores de los elementos se extraen del informe “Análisis de costos de transporte” elaborado por Steer Davies Gleave para la Subsecretaria de transporte de Chile en el año 2011. Los valores están levemente ajustados en relación al año 2020. [22] De todas formas al ser este un pre proyecto no serán los valores finales que se puede encontrar en el mercado de los elementos.

Los elementos presupuestados son parte de los calculados en el capítulo 10, el total se resume en la siguiente tabla.

Costos	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Pesos Chilenos	\$ 14.583.006.480,00	\$ 15.117.909.466,00	\$ 15.058.515.890,00
Euros	€ 15.851.094,00	€ 16.432.510,29	€ 16.367.952,05

Tabla 11.1. Resumen costo de elementos.

Una descripción detallada del cálculo se puede ver en el anejo n° 17.

Se puede ver que la opción 1 de rehabilitar la vía de faja existente es menos costosa que las nuevas planteadas, tiene sentido ya que hace paso por menos cruces viales y los trayectos son más rectos, a su vez en estudios futuros se puede comprobar esto ya que las nuevas opciones deben ir acompañadas de expropiaciones y mayor movimiento de tierras. La Opción 2 es un 0,3% más costosa que la Opción 3, son muy parecidas en cuanto a cubicaciones y nuevas obras por lo que sus presupuestos están muy ajustados, con un análisis más extenso se pueden obtener mayores diferencias entre ellos.

11.2. Evaluación multicriterio por método AHP (Proceso de análisis jerárquico).

El análisis de la mejor alternativa se hará a través de la herramienta de Proceso analítico jerárquico, desarrollado por Thomas L. Saaty en los años setenta y perfeccionada en los años posteriores. Provee un marco de referencia racional y comprensiva para estructurar un problema de decisión, representando los elementos y cuantificándolos, de esta forma se relacionan con los objetivos generales. El método es usado en diversos campos como las industrias, salud, negocios, los gobiernos y la educación.

Según el propio Saaty, la teoría indica lo que parece ser un método innato de operación del cerebro humano: cuando se presenta una cantidad o conjunto de elementos, controlables o no, que componen una situación compleja, ella los agrega en grupos según compartan ciertas propiedades; el método AHP repite este proceso y a los elementos que identifica con propiedades comunes los considera como los elementos de un nuevo nivel en el sistema; esos elementos pueden reagruparse a su vez de acuerdo a otro conjunto de características y constituir otro nivel superior, y así hasta que se alcanza el máximo nivel, al cual se le puede identificar como la meta del proceso de toma de decisiones. Ese agrupamiento en niveles es lo que se conoce como jerarquía. [28]

Esta metodología aplica un modelo matemático que evalúa las alternativas de un proyecto cuando se tienen en consideración varios criterios, a su vez está basado en el principio de la experiencia y el conocimiento de todos los datos utilizados.

Para esto el método utiliza comparaciones entre pares de elementos con los cuales se constituyen matrices, usando elementos del álgebra matricial para establecer prioridades entre los elementos de un nivel, con respecto a un elemento del nivel inmediatamente superior. A los criterios se les asigna un número determinado que compara haciendo preferible una alternativa ante otra. [23]

Las tres alternativas de trazado serán evaluadas en base a los siguientes criterios:

1. Uso de la faja actual de la vía.
2. Costos de presupuesto.
3. Influencia en el medio ambiente.
4. Expropiaciones.
5. Largo del trazado.
6. Tiempo de construcción.
7. Cantidad de curvas.
8. Cantidad de pasos a nivel.

Las consideraciones aplicadas en el método son en base a los criterios y experiencia de los conocimientos de los directores del trabajo de fin de grado y al Departamento de Transportes y Tecnología de Proyectos y Procesos (Grupo SUM+LAB) de la Universidad de Cantabria (UC), así como consideraciones propias que buscan tener un punto de vista lo más objetivo posible para entregar un resultado adecuado.

El procedimiento indica obtener diversas matrices en base a cada criterio, así por ejemplo al evaluar el criterio n°1 se tendrá una matriz inicial 3x3, esto dado que son tres las alternativas de trazado en comparación. El siguiente paso consiste en dar un peso a una alternativa frente a otra para completar la matriz con valores, esto según su prioridad en el proyecto, luego se realiza la suma de las columnas y se obtiene la matriz normalizada dividiendo los valores de la matriz inicial 3x3 por la suma obtenida. Ya con la matriz normalizada se obtiene el vector promedio de los valores de cada fila de la matriz y así obtener una de 3x1.

Siguiente paso es hacer una matriz de comparación entre criterios, esta será en este caso de 8x8, en donde se les dará peso a cada alternativa en comparación a las demás según su importancia para el proyecto, todo a criterio del evaluador. Se repite el proceso de obtenerla suma de columnas, matriz normalizada y vector promedio, esta vez de 8x1.

Finalmente se obtiene una matriz de 3x8 en donde se ubican todos los vectores promedio de las alternativas, realizando una suma producto de las filas dividida por el vector promedio correspondiente obtenido en la matriz 8x1, de esta forma se obtiene el peso de evaluación final de cada alternativa del trazado.

12.2.1. Uso de la faja actual de la vía.

Este criterio se evaluará en relación al aprovechamiento de cada alternativa de trazado de la actual faja de la vía existente, mientras más faja se utilice para el proyecto mejor será su evaluación.

Para la evaluación de los pesos se debe considerar el uso de la actual faja de cada alternativa, la n°1 ocupa el 100%, n°2 65% y n°3 70%. De esta forma y a criterio personal de la evaluación, la alternativa 1 es 4 veces más favorable que la alternativa 2 y 3 veces más favorable que la alternativa 3.

Así la matriz de evaluación será:

Criterio 1: Uso de la faja actual de la vía.							
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Matriz normalizada			Vector promedio
Alternativa 1	1	4	3	0,63	0,62	0,64	0,63
Alternativa 2	0,25	1	0,67	0,16	0,15	0,14	0,15
Alternativa 3	0,33	1,5	1	0,21	0,23	0,21	0,22
Suma	1,58	6,5	4,67				

Tabla 11.2. Matriz criterio 1.

12.2.2. Costos de presupuesto.

Este criterio se evaluará en relación al capítulo 11 en donde se obtuvieron los presupuestos para cada alternativa de algunos elementos constituyentes a la vía.

Para la evaluación de los pesos se debe considerar el costo presupuestario de los elementos de cada alternativa. De esta forma y a criterio personal de la evaluación, la alternativa 1 es 4 veces más favorable que la alternativa 2 y 3,5 veces más favorable que la alternativa 3.

Así la matriz de evaluación será:

Criterio 2: Costos de presupuesto.							
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Matriz normalizada			Vector promedio
Alternativa 1	1	4	3,5	0,65	0,62	0,68	0,65
Alternativa 2	0,25	1	0,67	0,16	0,15	0,13	0,15
Alternativa 3	0,29	1,5	1	0,19	0,23	0,19	0,20
Suma	1,54	6,5	5,17				

Tabla 11.3. Matriz criterio 2.

12.2.3. Influencia en el medio ambiente.

Este criterio se evaluará en relación al capítulo 9 y al anexo n°16 en donde se analizaron las alternativas en varios aspectos medioambientales.

Como en las alternativas 2 y 3 se necesitarán hacer nuevas obras en terrenos que actualmente reciben flora y fauna natural como campos de cultivos, estos se verán afectados en mayor medida que la alternativa 1, modificando drásticamente el medio ambiente. Por lo cual se decide que la alternativa 1 es 6 veces más favorable que la 2 y 3.

Así la matriz de evaluación será:

Criterio 3: Influencia en el medio ambiente.							
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Matriz normalizada			Vector promedio
Alternativa 1	1	6	6	0,75	0,75	0,75	0,75
Alternativa 2	0,17	1	1	0,13	0,13	0,13	0,13
Alternativa 3	0,17	1	1	0,13	0,13	0,13	0,13
Suma	1,33	8	8				

Tabla 11.4. Matriz criterio 3.

12.2.4. Expropiaciones.

Este criterio se evaluará en base al trazado propuesto para cada alternativa y el número de viviendas y terrenos privados que se verán afectados.

Al igual que en el capítulo 12.2.1, las alternativas 2 y 3 al proyectarse por terrenos sin trabajar deberán contar con múltiples expropiaciones que elevarán los costos del proyecto. Así se ha establecido que la alternativa 1 es 7 veces más favorable que la alternativa 2 y 8 veces más favorable que la alternativa 3.

Así la matriz de evaluación será:

Criterio 4: Expropiaciones.							
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Matriz normalizada			Vector promedio
Alternativa 1	1	7	8	0,79	0,82	0,73	0,78
Alternativa 2	0,14	1	2	0,11	0,12	0,18	0,14
Alternativa 3	0,13	0,5	1	0,10	0,06	0,09	0,08
Suma	1,27	8,5	11				

Tabla 11.5. Matriz criterio 4.

12.2.5. Pendiente del proyecto.

Este criterio se evaluará en base a las pendientes obtenidas de las alternativas en el capítulo 4.5.1, la pendiente hace referencia a la proyección de los trazados a lo largo del terreno elegido.

Al realizar la comparación las tres alternativas poseen similar pendiente, en donde primero se hace el cruce por zona montañosa (túnel San Pedro) y luego viene un trayecto de ascensión constante hasta la ciudad de La Calera, en donde la pendiente promedio para todas las alternativas es de un máximo de 1,5%, la alternativa 3 encuentra una pendiente de 1,9% en algunas zonas. Así la alternativa 1 y 2 son 1,5 más favorables que la alternativa 3.

Así la matriz de evaluación será:

Criterio 5: Pendiente del trazado.							
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Matriz normalizada			Vector promedio
Alternativa 1	1	1	1,5	0,38	0,38	0,38	0,38
Alternativa 2	1,00	1	1,5	0,38	0,38	0,38	0,38
Alternativa 3	0,67	0,67	1	0,25	0,25	0,25	0,25
Suma	2,67	2,67	4				

Tabla 11.6. Matriz criterio 5.

12.2.6. Tiempo de construcción.

Este criterio se evaluará haciendo un supuesto preliminar del tiempo que se tardaría en realizar las obras de construcción, basándose en los largos, área de influencia y aprovechamiento de la faja.

Las alternativas 2 y 3 contendrán más movimientos de obra, instalación de faenas, tiempos de trayecto de material y cruces vehiculares entre otros en comparación a la

alternativa 1, la alternativa 2 al tener más longitud que la 3 se considera más desfavorable. De esta forma la alternativa 1 es 6 veces más favorable que la alternativa 2 y 5 veces más favorable que la alternativa 3.

Así la matriz de evaluación será:

Criterio 6: Tiempo de construcción.							
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Matriz normalizada			Vector promedio
Alternativa 1	1	6	5	0,73	0,67	0,77	0,72
Alternativa 2	0,17	1	0,50	0,12	0,11	0,08	0,10
Alternativa 3	0,20	2,00	1	0,15	0,22	0,15	0,17
Suma	1,37	9,00	6,50				

Tabla 11.7. Matriz criterio 6.

12.2.7. Cantidad de curvas.

Este criterio se evaluará en base al capítulo 6 del análisis de curvas, se considerará más favorable la menor existencia de curvas.

Al realizar el análisis de las curvas se considera la alternativa 1 6 veces más favorable que la alternativa 2 y 5 veces más favorable que la alternativa 3.

Así la matriz de evaluación será:

Criterio 7: Cantidad de curvas.							
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Matriz normalizada			Vector promedio
Alternativa 1	1	6	5	0,73	0,67	0,77	0,72
Alternativa 2	0,17	1	0,5	0,12	0,11	0,08	0,10
Alternativa 3	0,2	2	1	0,15	0,22	0,15	0,17
Suma	1,37	9	6,5				

Tabla 11.8. Matriz criterio 7.

12.2.8. Cantidad de cruces a nivel.

Este criterio se evaluará en base al capítulo 8 del análisis de cruces a nivel, se considerará más favorable la menor existencia de cruces.

La alternativa 2 y 3 tendrán el mismo número de cruces a nivel, a diferencia de la alternativa 1 que cuenta con un número menor. Por esto se considera que la alternativa 1 es 6 veces más favorable que las alternativas 2 y 3.

Así la matriz de evaluación será:

Criterio 8: Cantidad de cruces a nivel.							
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Matriz normalizada			Vector promedio
Alternativa 1	1	6	6	0,75	0,75	0,75	0,75
Alternativa 2	0,17	1	1	0,13	0,13	0,13	0,13
Alternativa 3	0,17	1	1	0,13	0,13	0,13	0,13
Suma	1,33	8	8				

Tabla 11.9. Matriz criterio 8.

12.2.9. Análisis de los datos.

Una vez obtenidas todas las tablas de los criterios se hace la tabla comparativa entre estos mismos para obtener los vectores promedios. Se compara entre criterios de la misma forma que se hizo en las matrices anteriores para las alternativas. Aquí en base a la ayuda proporcionada por los directores del trabajo de fin de grado y criterios personales se asignarán los pesos a las alternativas según la importancia y prioridad dentro del proyecto tal como lo refleja la matriz siguiente.

Matriz de comparación entre criterios																	
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	Matriz normalizada							Vector promedio	
C1	1	1,5	1,5	5	4	7	9	9	0,3	0,1	0,4	0,3	0,1	0,6	0,3	0,3	0,306
C2	0,7	1	0,3	0,5	5	0,3	3	2	0,2	0,1	0,1	0	0,2	0	0,1	0,1	0,098
C3	0,7	3	1	5	7	2,5	8	8	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,252
C4	0,2	2	0,2	1	2	0,3	4	4	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,089
C5	0,3	0,2	0,1	0,5	1	0,3	0,2	4	0,1	0	0	0	0	0	0	0,1	0,043
C6	0,1	3	0,4	3	4	1	2	2	0,05	0,3	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,119
C7	0,1	0,3	0,1	0,3	5	0,5	1	6	0,04	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0,067
C8	0,1	0,5	0,1	0,3	0,3	0,5	0,2	1	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0,026
Suma	3,1	12	3,8	16	28	12	27	36									

Tabla 11.10. Matriz comparación de criterios.

Finalmente se desarrolla una matriz final la cual nos indica el valor de la importancia de cada alternativa.

Matriz final									
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	Peso Total (porcentaje)
Alternativa 1	0,6299	0,6480	0,7500	0,7798	0,3750	0,7225	0,7225	0,7500	68,48
Alternativa 2	0,1515	0,1486	0,1250	0,1374	0,3750	0,1033	0,1033	0,1250	14,31
Alternativa 3	0,2185	0,2035	0,1250	0,0828	0,2500	0,1741	0,1741	0,1250	17,20
Ponderación	0,3058	0,0984	0,2524	0,0886	0,0425	0,1193	0,0667	0,0263	

Tabla 11.11. Matriz final.

Como se puede apreciar en la tabla 11.11 la alternativa 1 tiene un peso a favor del 68,48% en comparación a las otras dos alternativas (14,31% y 17,20% respectivamente), lo que la hace ser la primera elección para este proyecto superándolas de gran manera. Es importante analizar este resultado ya que indica que mantener la faja de la vía existente en contra de la construcción de otros trazados es muy favorable reduciendo costos e impactos sociales y ambientales.

La tabla 11.12 grafica los resultados en barras para las alternativas.

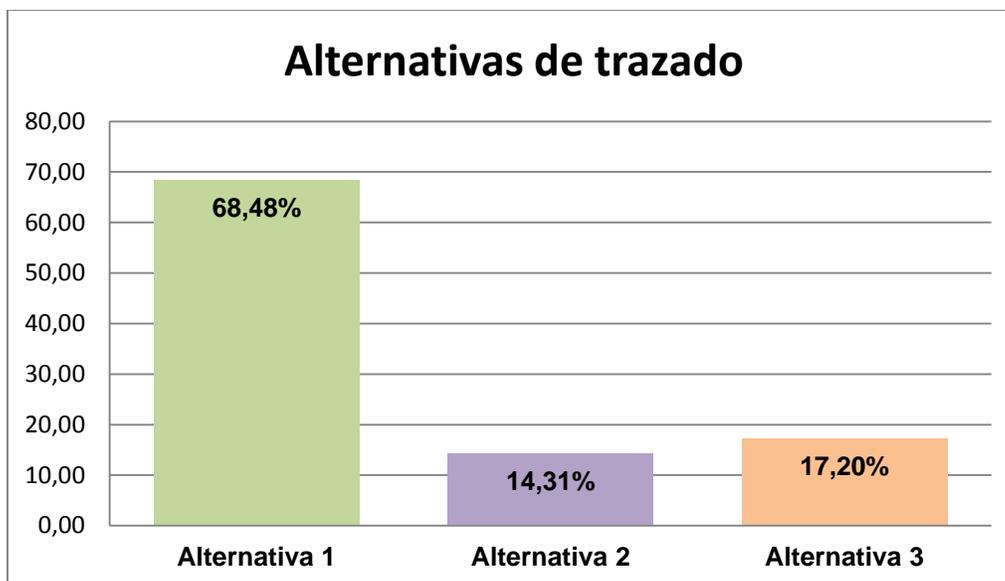


Tabla 11.12. Gráfico de la importancia de las alternativas considerando todos los criterios.

Por último se presentará una comparación entre el criterio económico y la evaluación multicriterio sin considerar este último.

Se presenta en primer lugar la tabla general de comparación de los criterios sin contar con el criterio número 2 (económico).

Matriz de comparación entre criterios															
	C1	C3	C4	C5	C6	C7	C8	Matriz normalizada							Vector promedio
C1	1	1,5	5	4	7	9	9	0,403	0,429	0,333	0,172	0,579	0,369	0,265	0,364
C3	0,7	1	5	7	2,5	8	8	0,269	0,286	0,333	0,301	0,207	0,328	0,235	0,280
C4	0,2	0,2	1	2	0,3	4	4	0,081	0,057	0,067	0,086	0,028	0,164	0,118	0,086
C5	0,3	0,14	0,5	1	0,3	0,2	4	0,101	0,041	0,033	0,043	0,021	0,008	0,118	0,052
C6	0,1	0,4	3	4	1	2	2	0,058	0,115	0,2	0,172	0,083	0,082	0,059	0,110
C7	0,1	0,13	0,3	5	0,5	1	6	0,045	0,036	0,017	0,215	0,041	0,041	0,176	0,082
C8	0,1	0,13	0,3	0,3	0,5	0,2	1	0,045	0,036	0,017	0,011	0,041	0,007	0,029	0,027
Suma	2,5	3,5	15	23	12	24	34								

Tabla 11.13. Matriz comparación entre criterios sin contar el número 2 económico.

Y a continuación la matriz final que nos entrega los valores ponderados de cada una de las alternativas.

Matriz final								
	C1	C3	C4	C5	C6	C7	C8	Peso Total (porcentaje)
Alternativa 1	0,6299	0,7500	0,7798	0,3750	0,7225	0,7225	0,7500	68,40
Alternativa 2	0,1515	0,1250	0,1374	0,3750	0,1033	0,1033	0,1250	14,46
Alternativa 3	0,2185	0,1250	0,0828	0,2500	0,1741	0,1741	0,1250	17,14
Ponderación	0,3644	0,2800	0,0857	0,0521	0,1097	0,0816	0,0265	

Tabla 11.14. Matriz final.

Luego se presenta un resumen de los datos.

	Evaluación multicriterio sin presupuesto	Criterio económico
Alternativa 1	68,40%	65%
Alternativa 2	14,46%	15%
Alternativa 3	17,14%	20%

Tabla 11.15. Porcentajes de cada alternativa en la comparación.

Y finalmente se presenta el gráfico de comparación, aquí se puede apreciar como es la tendencia tanto a criterio económico como general en cada una de las alternativas.

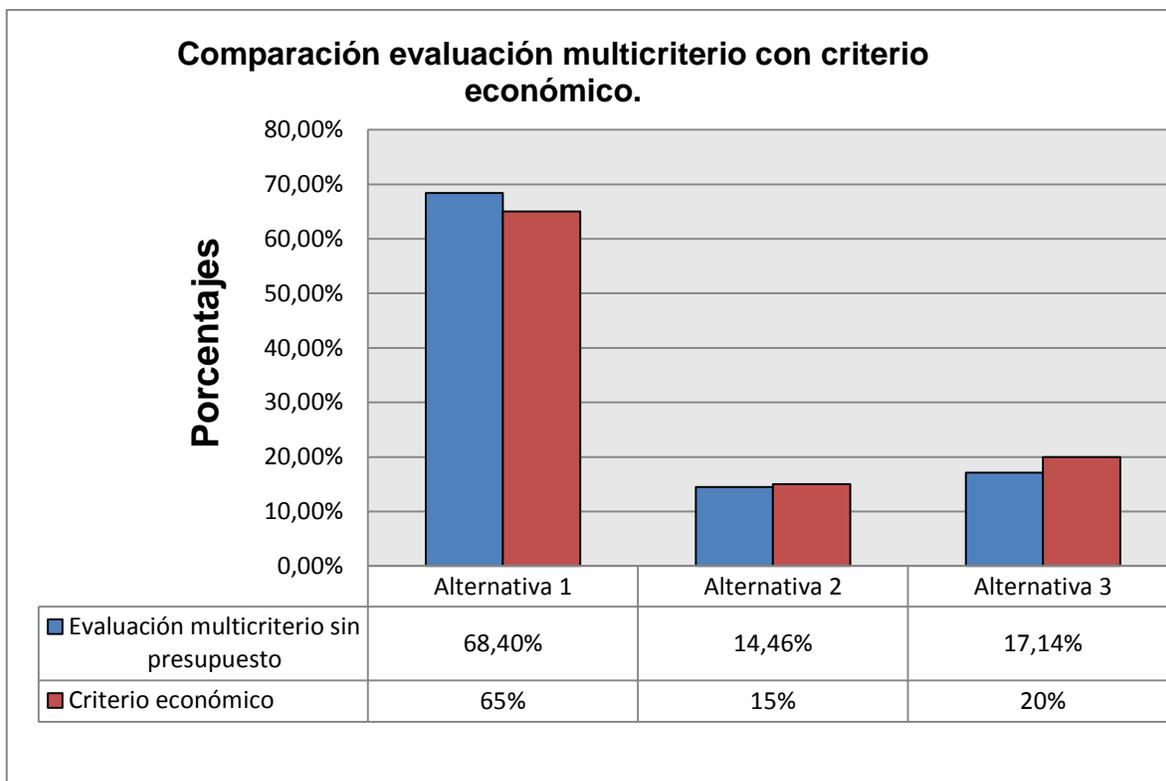


Tabla 11.16. Gráfico de comparación.

Los porcentajes arrojados son muy parecidos si se realiza la comparación, resaltando la importancia de la Alternativa 1 por sobre las demás. También se deja entrever que el criterio económico no es decisivo a la hora de tomar la decisión de elegir la Alternativa n°1, pero si es importante en su valor general por sobre los otros criterios establecidos.

CONCLUSIÓN.

Luego del análisis de la información recopilada de la red Chilena se puede notar que existe una nutrida historia ferroviaria con muchos altos y bajos que han marcado el futuro de los proyectos en el país, a día de hoy este medio de transporte está muy desplazado por el servicio de autopistas haciéndolo poco rentable en algunos trayectos. A su vez la importancia de un servicio dependerá netamente de la zona a abarcada, existen servicios muy desiguales como en MetroTren Nos el cual tiene una demanda diaria muy alta y otros como el Corto Laja que está a punto de morir. Es muy importante considerar al tren como una alternativa real para otras zonas del país debido a la poca emanación de agentes contaminantes que produce en comparación a los otros vehículos terrestres, el uso de vías electrificadas por catenarias sobre los combustibles fósiles mitiga el impacto ambiental que genera el CO_2 , mejorando la calidad de vida en la zona.

La comparación de las tres opciones de trazado se hizo tratando de satisfacer diferentes requisitos propuestos por las autoridades, así como se estableció, la opción 1 aprovecha al 100% la actual faja de la vía no variando el recorrido, su resultado es el más favorable de todas las opciones debido a factores económicos, logísticos y de materialidad. Por otro lado la diferencia característica de las dos opciones restantes se basa en trasladar parte del trayecto a una zona cercana a la autopista del Aconcagua, vía terrestre de importancia en la región. Con esto se buscaba mantener cerca los medios de transporte ante posibles accidentes pero llevado al análisis resultaron muy desfavorables.

Las estaciones propuestas buscan que en cada poblado que cruza el trayecto exista la mayor accesibilidad para los habitantes de los poblados, abarcando un área de influencia que haga factible el uso del sistema de metro en desmedro a un servicio vehicular que tiene a favor su centralidad dentro de las urbes. Este es un punto muy importante de análisis y que muchas veces se omite, debido a que los usuarios son el motor que mantiene vivo a un medio de transporte y si la demanda decae el sistema se vuelve insostenible.

En cuanto a la trocha como se observó, existen diversas medidas a lo largo de Chile variando según la utilización y tipo de ferrocarril, para la zona de proyecto se optó por el ancho de 1676 mm, usada en su mayoría por los servicios de la zona central y sur de Chile y en la misma vía de Merval, así no se provoca un cambio innecesario que causaría insuficiencias para el tránsito del material rodante existente. Se puede pensar en unificar la red Chilena con un paso trasandino hacia Argentina, en donde la trocha es de 1000 mm, mediante el uso de intercambiadores de ancho y así promover un servicio entre ambos países, esto aumentaría el nivel socioeconómico de la zona dando una puerta a Chile para llegar al océano Atlántico y a la Argentina para salir al Pacífico.

También se descarta una posible unificación de la vía con algún proyecto futuro de conexión transandina, como existía en años anteriores dado que no saldría rentable adaptarse a la red Argentina con trocha 1000 mm y no se ve factible para ambos países.

La velocidad del servicio estará limitada a un máximo de 120 Km/h en los tramos más favorables de zona recta y tal como se hizo el estudio, cada curva tendrá su respectiva restricción. Esta velocidad para los estándares de las nuevas líneas en construcción es muy baja comparando con países de Europa o Norte América, hasta el punto de calificarlo como poco eficiente, queda a juicio de Merval si en un futuro se desea modificar todo el servicio para hacerlo más eficiente. En la actualidad es innegable que aumentar la velocidad y la frecuencia de los servicios ayudaría a descongestionar mejor la zona urbana de Valparaíso más con los futuros nuevos usuarios del sistema.

La zona del túnel San Pedro se mantendrá tal y como está actualmente con nuevas reformas que mejoren la seguridad interior. Se deben hacer estudios posteriores que comprueben su estabilidad total de las paredes internas, tal como se pensó en su momento, es la mejor opción para sortear el cordón montañoso que aparece entre los poblados de Limache y San Pedro lo cual abarata costos y tiempos de trayectos.

Finalmente indicar que los presupuestos obtenidos en base a la cubicación previa de elementos se verán incrementados una vez se calculen los materiales y mano de obra en su totalidad. De igual forma estos presupuestos previos nos ayudan a darnos una idea de la magnitud y diferencias de costo que tiene cada opción de trazado a su vez de los beneficios de optar por una alternativa que por otra.

ANEXOS

Anexo n° 1 Panorama general de los ferrocarriles en Chile, su historia y estado actual.

Historia ferrocarril en Chile.

Desde el año de 1830 y con poco tiempo de existencia como Estado, el Gobierno Chileno empezó a escuchar las peticiones provenientes de diversas áreas importantes en la época, como los hacendados, mineros, transportistas y comerciantes. Nacía una necesidad por mejorar las comunicaciones territoriales entre poblados que se hacía cada vez más latente, de esta forma se formó la primera legislación de caminos y la construcción de nuevas vías. Sin embargo, los caminos seguían siendo incómodos, al igual que los carruajes que transportaban pasajeros y carga; los viajes eran todavía demasiado lentos y costosos. Por esto varios sectores a nivel nacional seguían insistiendo con un deseo de modernizar los sistemas de transporte mediante novedades tecnológicas provenientes de la revolución industrial materializadas en los ferrocarriles.

Este nuevo medio de comunicación disminuía considerablemente las distancias comparado a los medios existentes hasta la fecha en el país, además del costo de los materiales, ya que el ferrocarril podía mover una gran cantidad de convoyes en un solo viaje por la fuerza del vapor. Además los pasajeros experimentaron de un confort nunca antes visto hasta la fecha en sus viajes haciéndolos más gratos. Es así como empezaba la época del ferrocarril en Chile.

El complejo y red ferroviaria se comenzó a formar en un inicio por parte del sector privado y más tarde de forma estatal, partiendo por la zona norte del país a través de las empresas mineras, en el centro y sur por el transporte de productos agropecuarios e industriales con destino a los diversos puertos.

Por estas épocas el país estaba experimentando un fuerte crecimiento económico pero también enfrentaba diversos conflictos armados típicos de la época en el continente, se pensó en darle una utilidad a las vías férreas en los temas del momento, la Araucanía y la Guerra del Pacífico, pero con una cierta mesura e incertidumbre ya que el ferrocarril pasó a ser un objetivo estratégico para la nación.

Durante las primeras etapas en la construcción de ferrocarriles, se destacó William Wheelwright quien construyó el histórico ferrocarril de Caldera a Copiapó en 1850, asimismo, intervino en las primeras etapas de construcción de la vía férrea entre Santiago y Valparaíso. En el norte del país, se destaca la iniciativa privada a través de los ferrocarriles de Antofagasta a Ollagüe, de Iquique a Pisagua, Taltal a Cachinal y Tocopilla a Toco.

De la mano del ferrocarril Caldera-Copiapó se fue construyendo el sueño de aquellos años gracias al incremento en el rubro minero, el objetivo del primer ferrocarril chileno era atender las necesidades de la región minera, por lo que para materializar el proyecto, Wheelwright, quien era accionista de la Compañía Anglo-Chilena de Minas en Copiapó,

contó con el apoyo de grandes capitalistas chilenos de la época, como Agustín Edwards Ossandon, Diego Carballo y Candelaria Goyenechea de Gallo. Los primeros trabajos constructivos se iniciaron en la ciudad puerto de Caldera en el año 1850 por medio de ingenieros y técnicos de estados Unidos y Europa. Los rieles de la vía fueron importados desde Inglaterra y se instalaron en traviesas de roble y se eligió una trocha de tamaño estándar (1435 mm). El material rodante y las locomotoras fueron importadas a Estados Unidos en la fábrica Norris & Brothers famosas por abrir el paso en el país hacia las tierras del Oeste, esta locomotora fue la más antigua que se conserva hoy por hoy en Sudamérica.



Figura A1. Mapa ferrocarril Caldera Copiapó. [24]

En una primera instancia el ferrocarril tuvo una longitud de 81 kilómetros entre las ciudades de Caldera y Copiapó, posteriormente la vía se extendió por todo el valle central de Copiapó alcanzando un total de 151 kilómetros. Wheelwright soñaba con un ferrocarril transcontinental pero, aunque obtuvo concesiones en Argentina, le faltaron 400 kilómetros de un total de 1.375 para completar su sueño.

Durante 58 años el ferrocarril fue administrado por particulares, pero el decaimiento de la minería y las altas tarifas cobradas concluyeron en una campaña para que lo adquiriese el Estado, lo que ocurrió en 1910. Consigo trajo muchos adelantos para la zona promoviendo el progreso en las ciudades y la creación del Puerto de Caldera. Una de las principales obras fue la construcción de grandes máquinas para destilar el agua -que en el norte está cargada de cal- con el objeto de no dañar las calderas de la locomotora y de dar agua potable a la población. Otra iniciativa revolucionaria del ingeniero norteamericano, fue la instalación de alumbrado a gas.

Posteriormente vino otro proyecto grande para el país en la vía Santiago-Valparaíso, debido a que durante el año 1840 esta ruta era la más importante ya que unía la capital de Chile a través del valle central con el principal puerto del país, haciéndola una ruta económica de productos agrícolas para consumo nacional e internacional. Con el constante desarrollo que se daba, se hacía muy necesario buscar alternativas de transportes, por lo que en 1842 William Wheelwright presentó al gobierno de Chile un proyecto para la construcción de un ferrocarril entre Santiago y Valparaíso, capaz de cubrir en 8 horas el recorrido que hasta ese entonces tomaba varios días. En 1849 fue

aprobado por el Congreso Nacional el proyecto y para poder llevarlo a cabo se fundó la primera sociedad anónima chilena “*La Compañía del Ferrocarril de Santiago a Valparaíso*”. Con esta sociedad formada en base de capitales mixtos estatales y privados se pudo concretar el sueño de la red.



Figura A2. Locomotora Copiapó, hacia 1900. [25]

La construcción se inició en el año 1852 llevando la ruta a través de la ciudad de Quillota, su construcción no fue fácil, se presentaron diversos inconvenientes dada la poca experiencia en este tipo de proyectos, como el desconocimiento del terreno a trabajar, lo que conllevó a una detención de las obras por falta de capital en el kilómetro 56 de la ruta. A raíz de ello, en 1857 el Estado Chileno decidió asumir un papel más protagónico y comenzó a comprar las acciones de los particulares. Reanudándose la obra en el año 1861, a cargo del ingeniero norteamericano Henry Meiggs. El trazado entre Valparaíso y Santiago presentaba diversas dificultades y fue necesario construir obras viales de gran envergadura, que hasta hoy causan admiración. El día 4 de julio de 1863, Enrique Meiggs llegó a Santiago conduciendo personalmente la primera locomotora proveniente de Quillota.

El servicio del ferrocarril se inició oficialmente el 14 de septiembre de 1863 y la inauguración oficial se llevó a cabo en la ciudad de Llay-Llay, punto central del trayecto y contó con la presencia del presidente de la república de la época, José Joaquín Pérez.

De acuerdo a las palabras de Enrique Meiggs, el gran mérito en la construcción de esta obra correspondía a los esforzados obreros chilenos, de los cuales muchos murieron durante la ejecución de los trabajos, especialmente en la construcción de túneles. Los cuerpos de alrededor de cien peones chilenos fueron sepultados en improvisadas tumbas junto a los túneles de Punta Gruesa, Las Cucharas, Centinela, Los Maquis y Los Loros. Además se gastó más de 11 millones de pesos chilenos, el doble del presupuesto original, para construir una vía de 187 km de longitud entre la capital de Chile y su principal puerto.

Durante esta época, también se comienza a configurar lo que será la Red Central, que partiendo de la Estación del mismo nombre se prolongará hasta Chañaral por el norte, y

Talca, por el sur; por esa misma época la administración provisional del tramo entre Valdivia y Osorno en el sur de Chile también pasa a ser parte de la Red Central.

Así se crea la Dirección General de Ferrocarriles, con un presupuesto propio, y grandes proyectos de expansión y mejoramiento de la red nacional. Tiene, además, un importante rol fiscalizador sobre las compañías particulares, especialmente en tarifas, autorización para construir nuevas vías y entrega de terrenos para la red.

Es así como se fue expandiendo la red ferroviaria en Chile, de forma estatal y privada sin una planificación inicial y en base a las necesidades que iban surgiendo de la mano de la legislación para regularla.

El constante declive que ha tenido la industria ferroviaria del país tiene su explicación dependiendo del momento político o contexto histórico en que se encuentre, desde la invención de la locomotora se ha tratado de unir las diversas ciudades del país a través de este medio de transporte pero no ha sido posible lograr concretarlo.

La geografía de Chile nos dice que se trata de un país muy angosto y muy largo, gran parte de la población cree que esto es perfecto para la existencia de vías férreas, dado que las ciudades más importantes del país se encuentran en la llamada “depresión intermedia”, una zona de valles entre dos cordones montañosos muy importantes, por el lado Este se tiene la Cordillera de los Andes, mientras que por el Oeste se extiende la Cordillera de la Costa.

Muchos sueñan con el día en que Chile esté unido y conectado por una línea férrea que vaya desde Arica, una de las ciudades más importantes del extremo norte del país y Puerto Montt, una de las ciudades ubicadas más al sur a la cual es posible llegar sin realizar paso fronterizo por Argentina. Esta idea suena algo descabellada y cercana, se deben plantear las ideas y propuestas, sobre todo si sería rentable ante la competencia de transporte aéreo existente y carretero. Unir por ferrocarril 2500 kilómetros de extensa tierra pierde validez ante la cantidad de oferta aérea y precios que presenta esta industria, a su vez existe alta competencia entre las grandes empresas de autobuses, quienes también hacen presión para evitar la entrada de un ferrocarril que, inminentemente les afectaría.

En el año 1892 el político chileno Agustín Ross Edwards publicó su “Memoria sobre los Ferrocarriles de Chile”, destinado al gobierno Chileno de ese entonces en la cual detalla en la realidad de esa época la importancia del uso del ferrocarril y la necesidad que existe, basado en estudios hechos por los ingenieros Edward Manby y Carlos Legrand con presupuestos de la época y comparaciones con las potencias de ese entonces.

Ya en aquella época estaba latente la falta de transporte entre las principales urbes y era marcado el uso restringido para la minería en la zona norte. Si bien la población del país era muy reducida (cerca de dos millones de personas), las vías terrestres eran escasas y precarias, por lo cual se necesitaban soluciones de transporte.

El señor Ross en base a los estudios existentes detalla en su memoria:

“En condiciones ordinarias, sería completamente absurdo construir un ferrocarril a lo largo de un país que tiene una población tan extremadamente reducida, a no ser que existiera alguna necesidad extraordinaria de trasportar productos desde la una hasta la otra de las extremidades de la línea. Tal circunstancia no existe en Chile, y no puede esperarse ningún tráfico de importancia, ni entre los extremos entre sí, ni entre los distritos intermedios, hasta el paralelo de 30° sur del Ecuador.” (“París, Agustín Ross, 1892”). [25]

Con esto queda claro que la prioridad es el transporte de mercancías, pero es nula la rentabilidad que existiría dada la escasa población que habitaba a Chile en aquellos años. Cada zona y ciudad se abastecía de sus propios productos primarios y con ellos mantenían sus industrias.

Otra de las justificaciones de la época para poner en duda la construcción de líneas férreas era la tensión diplomática que existía con los vecinos países. Chile era un país muy joven en vías de expansión territorial, sus símiles como Perú, Bolivia y Argentina se encontraban en una situación similar y ya habían pasado unas pocas décadas desde el fin de la Guerra del Pacífico, por lo cual el pensamiento estratégico parecía una segunda opinión. Tal lo detalla el señor Ross.

Por razones puramente militares, sería difícil justificar la construcción de este ferrocarril troncal en el norte de Chile, porque si no se pudiese construir a alguna distancia de la costa, hasta podría llegar a ser un peligro militar, debido a que muy cerca del mar el enemigo podría ocuparlo, retenerlo y hasta utilizarlo contra los chilenos, salvo que las fuerzas marítimas de la República fuesen bastante poderosas para defenderlo en todos sus puntos vulnerables. (“París, Agustín Ross, 1892”). [25]

Lo que sí está claro, es que el ferrocarril en Chile si puede ser visto como medida viable al unir pueblos o ciudades distantes como máximo a 150 kilómetros, o con la función de cercanías entre pueblos de un conurbado. Esto ayudaría a la descongestión de autopistas, más alternativas para los usuarios y competencia en el rubro de los transportes. A su vez es innegable que la industria ferroviaria mundial avanza a pasos agigantados, creando nuevas tecnologías que reducen los tiempos de viaje, es cosa de mirar países del primer mundo en donde el ferrocarril es vital para el día a día.

Estado actual de los ferrocarriles chilenos.

En Chile los ferrocarriles son administrados por la “Empresa de Ferrocarriles del Estado” (EFE), declarada como persona jurídica de derecho público, empresa autónoma del estado con patrimonio propio, sujeta a normas financieras, contables y tributarias, la cual es administrada por un directorio compuesto por siete miembros más un octavo que representa a los trabajadores. Esta empresa se encarga tanto del transporte de carga como el de pasajeros y tiene su casa matriz en la ciudad de Santiago, Chile.

EFE posee siete filiales para el servicio de transporte a lo largo del país, que realizan servicios de pasajeros y turísticos, mayormente concentrado en la zona centro y sur de Chile. En esta zona se utiliza un ancho de vía de 1676 mm (trocha ancha).

Por otra parte la red Norte de EFE es operada por la Empresa de Transporte Ferroviario S.A. (Ferronor), esta red paso a manos del sector privado en el año 1997 y destaca el uso de ancho de vía de 1000 mm (trocha métrica).

Ferronor es una empresa chilena que se especializa en el transporte de cargas (mayormente mineras) en la zona Norte del país, se extiende de Arica hasta La Calera, prestando servicios a diversas empresas e industrias. Aproximadamente la red está formada por unos dos mil trescientos kilómetros de vía, conectando puertos, ciudades y zonas mineras. A su vez tiene conexión con redes ferroviarias de Argentina, Bolivia y Perú.

Anexo n° 2 Historia del metro de Valparaíso y sus características.

METRO DE VALPARAÍSO.

El Metro de Valparaíso, más conocido como MERVAL es el sistema de transporte superficial y subterráneo del llamado “Gran Valparaíso”, que conecta varias comunas de la Región, siendo un pilar fundamental para el transporte diario de los pasajeros que deben acudir en diversos horarios a distintos puntos y zonas del conurbado. Su longitud total es 43 kilómetros aproximados que se desarrollan en una sola línea y conecta las ciudades de Valparaíso, Viña del mar, Quilpué, Villa Alemana y Limache. La línea tiene un transcurso superficial entre las estaciones “Puerto” y “Recreo” para dar paso a línea subterránea entre las líneas “Recreo” y “El Salto”, finalmente termina superficial desde “El Salto” hasta “Limache”. El servicio modernizó al antiguo Metro Regional de Valparaíso en el año 2005 con una cantidad importante de obras. Actualmente cuenta con una flota compuesta por 35 vehículos automotores.



Figura A3. Logo comercial metro de Valparaíso. [26]

Los primeros antecedentes de la red se remontan a cuando por el Gran Valparaíso circulaba en el siglo XX el ferrocarril Valparaíso-Santiago, contaba con pocas estaciones a lo que se acostumbra hoy en día y era un importante medio de transporte para acceder al puerto. La vía férrea de este ferrocarril se reconstruyó luego de un importante terremoto en el año 1906 que destruyó gran parte de la ciudad costera, bajo los trabajos de la compañía británica Chilean Electric Tramway & Light Co., se modificaron los trazados abarcando distintas zonas más seguras, así la línea férrea se mantuvo en servicio hasta

el año 2005. Los servicios entre Valparaíso y Santiago se cortaron en su totalidad el año 1986 luego de un accidente ferroviario en la ciudad intermedia de Limache, con esto se puso en marcha un plan de desarrollo de un sistema de transportes metropolitano para la descongestión del conurbado. [26]

El 12 de junio de 1987 fue creado el servicio Metro Regional de Valparaíso, que prestaba servicios desde la estación Puerto hasta estación Los Andes (ciudad distante a 140 Km). Sin embargo, para 1995 se cerró definitivamente el servicio hacia las provincias del interior de la Región de Valparaíso, quedando la estación Limache como estación terminal. Se renovó el material rodante con trenes de última generación, se cambió el material ferroviario obsoleto y se desarrolló un plan para una nueva estructura del servicio, proyecto conocido como “*Etapa IV*”.

Los trabajos constructivos iniciaron en 1999 con la demolición de estaciones antiguas para su posterior remodelación, se construyó un túnel en la ciudad de Viña del Mar que ayudó bastante con la descongestión de esta y así facilitar el paso del material rodante. El primer automotor del proyecto llegó a Chile el 22 de febrero de 2005 y la marcha blanca del sistema ocurrió ese mismo año el 19 de noviembre de 2005.

Dos hechos importantes que ocurrieron durante los últimos años, son en el año 2016 cuando producto de fuertes marejadas en la zona costera de Valparaíso las estaciones y vía férrea fueron inundadas lo que las inhabilitó por varias semanas. En octubre de ese mismo año la subestación de electricidad cercana a la estación Villa Alemana fue golpeada por un rayo, lo que disminuyó la posibilidad de utilizar al máximo la potencia y frecuencia de los automotores.

ESTACIONES.

Actualmente el servicio Merval cuenta con 20 estaciones repartidas en cinco ciudades del conurbado, estas estaciones se pueden dividir por tramos que se mostraran a continuación, destacando tramo 1 a la ciudad de Valparaíso, tramo 2 Viña del Mar, tramo 3 Quilpué, tramo 4 Villa Alemana y tramo 5 a Limache. [27]



Figura A4. Mapa del Merval. [26]

Tramo 1 Valparaíso.

El primer tramo cruza una parte extensa de la ciudad de Valparaíso, corresponde aproximadamente a 4,6 Km de la vía férrea, con inicio en el puerto de Valparaíso y continuación Este bordeando la zona costera de la ciudad, al llegar a la zona de paseo Barón toma un rumbo Noreste hasta el límite de la ciudad con Viña del Mar.



Figura A5. Mapa tramo 1.

Las estaciones que componen el Tramo 1 son:

Número Estación	Nombre Estación	Coordenada Estación
1	Puerto	33°02'20"S 71°37'35"O
2	Bellavista	33°02'35"S 71°37'15"O
3	Francia	33°02'38"S 71°36'46"O
4	Barón	33°02'32"S 71°36'20"O
5	Portales	33°01'58"S 71°35'30"O

Tabla A1. Ubicación estaciones tramo 1. [26]

Estación Puerto.

La estación Puerto es el punto de partida del trayecto en dirección Limache y el punto final en el recorrido de vuelta. Se ubica en la entrada norte del puerto internacional de Valparaíso y forma parte del centro comercial del sector. Es una estación estratégica e importante ya que lo rodea el casco histórico de la ciudad que concentra una gran cantidad de comercio y puestos de trabajos, además de ser una zona muy turística.

La estación fue inaugurada en el año 1876 con motivo del extinto ferrocarril Valparaíso-Santiago cerrando en 1986 y fue reinaugurada el 23 de noviembre de 2005. Está muy cerca del océano Pacífico ya que el tramo bordea la costa.



Figura A6. Vista salida estación Puerto. [26]

En su interior destaca las casetas de boletería, servicios para los usuarios y dos andenes de llegada de los trenes como se muestra a continuación. Además aquí se encuentran las oficinas centrales de la empresa Merval en donde se hace el control de toda a vía.



Figura A7. Interior estación Puerto. [26]

La estación tiene una longitud aproximada de 130 m de largo y 30 m de ancho.

Estación Bellavista.

Estación ubicada en el sector del mismo nombre, a aproximadamente unos 750 m de la estación Puerto.

Fue creada originalmente como parte del ferrocarril Valparaíso-Santiago, consistía en sus primeros años en un galpón sin mayor detalle, para el año 1892 se construyó un edificio como frontis que sirviera para el desarrollo de la estación en sí. Por acción de un terremoto se pierde parte del edificio y deja de funcionar como estación en el año 1929. Finalmente con la construcción del nuevo metro de Valparaíso, se reinaugura la estación

en una zona más cercana a la costa, compuesta por dos plataformas con un andén cada uno.



Figura A8. Antigua estación Bellavista. [25]

La estación cuenta con una caseta de boletería, dos plataformas para la toma y dejada de pasajeros con un andén cada uno, el cruce peatonal entre andenes se hace a través de la línea férrea previa autorización del personal de MERVAL.



Figura A9. Vista general estación Bellavista. [26]

Estación Francia.

Corresponde a la estación siguiente a Bellavista, distante aproximadamente a unos ochocientos metros, muy cercana al borde costero. Es una estación “nueva” ya que fue inaugurada en el año 2005 y acoge un importante flujo de pasajeros diariamente. Su

posición es estratégica para el plano estudiantil, debido a que cuenta con diversos centros de estudio en sus alrededores.



Figura A10. Estación Francia. [26]

Cuenta con una caseta de boletería, torniquetes, dos plataformas de toma y dejada de pasajeros y dos andenes, el cruce peatonal entre andenes se hace a través de la línea férrea previa autorización del personal de Merval.

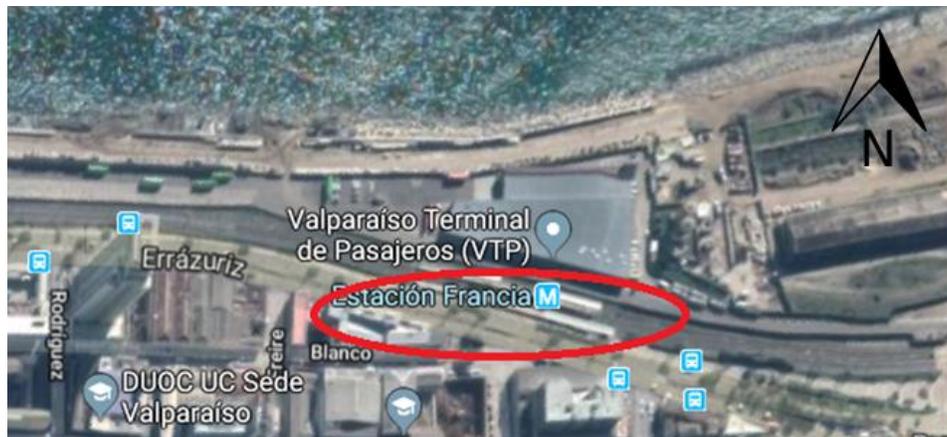


Figura A11. Ubicación estación Francia.

Estación Barón.

Se ubica al costado del muelle Barón y en los pies del cerro Barón, de ahí proviene su nombre. La estación nace en el año 1855 y fue la primera estación del extinto ferrocarril a Santiago, su vía se caracteriza por estar con servicio activo sin interrupciones desde aquel año. El edificio de la estación fue demolido y reconstruido entre los años 1922 y 1928. Para el desarrollo del metro de Valparaíso se reinauguro de forma más simple en el año 2005, siendo una estación con características similares a estación Francia por ejemplo.



Figura A.12. Estación Barón. [26]

En sus alrededores hay diversos comercios, la Universidad Católica de Valparaíso y la conexión con el rodoviario interurbano de la ciudad, también sirve de puerta de entrada a Valparaíso si se accede desde Viña del Mar.

Estación Portales.

La estación Portales fue inaugurada el 23 de noviembre del año 2005 y es la última estación del tramo 1 correspondiente a la ciudad de Valparaíso, por consiguiente una la ciudad con Viña del mar, siendo la puerta de entrada y salida de Valparaíso. Se ubica en cota de superficie a un costado de muelle y caleta Portales, gran centro de distribución de productos del mar. En sus alrededores cuenta con centros universitarios y zonas residenciales. La infraestructura de la estación es similar a la estación Francia, ya que cuenta con dos plataformas, dos andenes pero con un cruce entre andenes superior.



Figura A13. Tren ingresando a estación Portales. [26]

Tramo 2 Viña del Mar.

El segundo tramo del sistema de metro corresponde al de la ciudad de Viña del Mar, comenzando en la división de la comuna con Valparaíso y terminando en las afueras de la ciudad, atravesando un total de seis estaciones, desde “Recreo” hasta “El Salto” con una longitud aproximada de diez kilómetros que cruza zonas importantes de la ciudad uniendo puntos como Hospitales, servicios comerciales, estudiantiles entre otros. Este tramo se caracteriza por tener gran parte de él de forma subterránea, lo cual mejora el rendimiento del metro y da mayor facilidad al transporte en la vía terrestre, también evita ruidos molestos dada la cantidad de vivienda que existen.



Figura A14. Mapa tramo 2.

Así las estaciones que componen el Tramo 2 son:

Número Estación	Nombre Estación	Coordenada Estación
1	Recreo	33°01'38"S 71°34'33"O
2	Miramar	33°01'30"S 71°33'42"O
3	Viña del Mar	33°01'35"S 71°33'08"O
4	Hospital	33°01'44"S 71°32'30"O
5	Chorrillos	33°02'00"S 71°31'58"O
6	El Salto	33°02'28"S 71°31'17"O

Tabla A2 Ubicación estaciones tramo 2.

Estación Recreo.

La estación Recreo es la primera del tramo de la ciudad de Viña del Mar antes de que el trayecto se vuelva subterráneo, Se ubica al centro, en la trinchera de la Avenida España, vía de conexión entre Viña del Mar y Valparaíso, por lo que su acceso se hace por una pasarela en altura vía escaleras y ascensores. Debe su nombre al Cerro Recreo que queda a un costado de la estación, dando paso a diversas viviendas, escuelas y servicios.



Figura A15. Tren ingresando a estación Recreo. [26]

La estación está compuesta por dos plataformas, cada una con espacio amplio para la comodidad de los usuarios. Queda muy próximo al océano Pacífico



Figura A16. Ubicación geográfica estación Recreo.

Estación Miramar.

Es la segunda estación de la ciudad de Viña del Mar, se encuentra 1,3 Km aproximadamente de la estación Recreo, su nombre se debe a los antiguos baños de Miramar que luego se transformaron en un famoso Hotel del sector. Por un costado tiene la calle Agua santa, muy importante para la salida de la ciudad y por el otro las faldas del Cerro Castillo, donde se ubica la Mansión Presidencial de Viña del Mar. La estación tiene una ubicación céntrica, rodeada de servicios y sectores turísticos. Se encuentra en forma subterránea, en su superficie la recorren dos vías muy importantes de la ciudad como Viana y Álvarez.



Figura A17. Trenes detenidos en estación Miramar. [26]

La estación nació en el año 1886 como parte de la explotación del sector a raíz de los baños terapéuticos, la vía formó parte del ferrocarril Valparaíso-Santiago y Miramar fue una de sus estaciones. Antes de su reinauguración para el servicio Merval, la vía era terrestre y estaba sobre un terraplén que dividía la calle por el centro, en el año 2002 se cerró para llevar a cabo el soterramiento de esta, por lo cual se transformó en una estación subterránea mejorando la circulación de vehículos en la superficie.



Figura A18. Centro de Viña del Mar pre y post soterramiento de la vía férrea.

Estación Viña del Mar.

Es la estación principal del tramo 2 en la ciudad de Viña del Mar, se encuentra al centro de la ciudad a un kilómetro aproximado de la estación Miramar. Es una estación subterránea estratégica para el desarrollo de transporte de la ciudad ya que en sus alrededores hay buses de acercamiento, taxis y microbuses. Se ubica a pasos de la principal plaza de la ciudad y de la Quinta Vergara, principal escenario del país con el Festival de Viña del Mar.



Figura A19. Tren detenido en estación Viña del Mar. [26]

La estación fue fundada en la mitad del siglo XIX, era parte del extinto ferrocarril Valparaíso-Santiago, estación importante dado que a su alrededor se construyeron casonas y mansiones aristócratas. Luego fue parte del antiguo servicio férreo Merval y con su reinauguración dio paso al soterramiento de la estación y una mejor conexión para la ciudad. Su acceso se hace a través de escaleras y ascensores, adentro se encuentran oficinas centrales del Merval para realizar todo trámite necesario. Actualmente es de las estaciones más congestionadas de la red, dado la cantidad de servicios de transportes que tiene a su alrededor.

Estación Hospital.

Se encuentra al frente del Hospital Gustavo Fricke, principal hospital de la comuna, del hospital Clínico Viña del Mar y del Hospital de niños. Se ubica a un kilómetro aproximadamente de la estación Viña del Mar, se inauguró en el año 2005 de forma subterránea, siendo un punto estratégico para la población dada la fácil conexión que tiene la ciudadanía con los servicios de salud.



Figura A20. Interior estación Viña del Mar. [26]

Estación Chorrillos.

Su nombre se debe al sector donde está ubicado, se encuentra a un kilómetro aproximado de la estación Hospital, y al igual que las anteriores es de forma subterránea, fue inaugurada en el año 2005, en sus alrededores hay sectores de vivienda y servicios educacionales como institutos profesionales y colegios.



Figura A21. Tren detenido estación Chorrillos. [26]

Estación El Salto.

Es la última estación del tramo 2 y de la ciudad de Viña del Mar, se encuentra en la zona industrial de El Salto en las afueras de la ciudad, distante a 1,4 Km aproximados de la estación Chorrillos, durante este trayecto el servicio metro pasa de ser subterráneo a terrestre. A su alrededor tiene el famoso Jardín Botánico de Viña del Mar. Posee una pasarela de acceso a ambas plataformas, en donde se encuentran las boleterías de la estación.



Figura A22. Vista aérea estación El Salto. [26]

La estación fue construida en el año 1885 luego de años de trabajo para el ferrocarril Valparaíso-Santiago, era la estación final del primer tramo de este servicio. Era una estación de abastecimiento más que de pasajeros, dado que se encuentra a las afueras de la ciudad. Fue re inaugurada en el año 2005 para el servicio Merval.



Figura A23. Antiguo ferrocarril en estación El Salto. [25]

Tramo 3 Quilpué.

El tercer tramo corresponde a las estaciones de la ciudad de Quilpué, compuesta por tres estaciones repartidas dentro de la ciudad y de forma terrestre. El tramo comienza en las afueras de Viña del Mar en zona de valle y cerros y termina en el borde junto a la ciudad de Villa Alemana, con una extensión de casi diez kilómetros de largo.



Figura A24. Mapa tramo 3.

Así las estaciones que componen el Tramo 3 son:

Número Estación	Nombre Estación	Coordenada Estación
1	Quilpué	33°02'43"S 71°26'42"O
2	El Sol	33°02'23"S 71°25'43"O
3	El Belloto	33°02'36"S 71°24'23"O

Tabla A3. Ubicación estaciones tramo 3.

Estación Quilpué.

Se ubica en pleno centro de la ciudad a pasos de edificios históricos y de servicio público. Es la puerta de entrada de la ciudad viniendo desde la costa, es ocupada por muchas personas que a diario deben ir a trabajar a las ciudades de Viña del Mar y Valparaíso. Está distante a unos ocho kilómetros aproximados de la estación El Salto.

Es una estación terrestre muy semejante a estación “Francia” o “Bellavista” con dos plataformas para los trenes casetas, servicios y techos de protección.



Figura A25. Vista general estación Quilpué. [26]

La estación nació en el año 1862 a raíz del impulso que hizo el empresario del sector Enrique Costa Venzano, quien presidía una compañía de alimentos y solicitó una estación en la zona de forma estratégica para transportar productos en el ferrocarril Valparaíso-Santiago. También impulsando el desarrollo de la ciudad al tener una conexión con la Capital y ayudar a los pobladores.

La estación fue re inaugurada el 23 de noviembre del año 2005 de forma similar a las diversas estaciones de Merval.



Figura A26. Letrero tipo de Merval. [26]

Estación El Sol.

Corresponde a la segunda estación del tramo 3, ubicada en pleno centro de la ciudad de Quilpué a 1,7 Km aproximados de la estación Quilpué, en sus cercanías cuenta con centros comerciales y viviendas. Debe su nombre al sector donde se encuentra ubicada. Fue inaugurada el 23 de noviembre de 2005 siendo una estación nueva sin historia anterior.



Figura A27. Vista interior estación El Sol. [26]

Estación El Belloto.

Ultima estación del tramo 3 distante a dos kilómetros aproximados de la estación El Sol, se emplaza en la zona del mismo nombre, fue construida para el ferrocarril Valparaíso-Santiago en la cual era una parada para este, y debe su nombre a un famoso árbol de belloto muy característico.

Gracias al constante crecimiento de la ciudad de Quilpué, esta estación es muy importante, ya que presenta una alta con alta congestión de usuarios en horarios pico de la semana, dado la gran cantidad de viviendas y suburbios que hay en el sector.



Figura A28. Vista interior estación El Belloto. [26]

Tramo 4 Villa Alemana.

La ciudad de Villa Alemana compone el tramo 4 del servicio Merval, la línea cruza toda la ciudad de oeste a este para luego tomar rumbo norte con destino a Limache, el largo es de unos 9,14 Km y lo componen cinco estaciones. Toda la línea recorre el tramo de forma superficial.

El tramo comienza en el límite de las ciudades de Quilpué y Villa Alemana y termina en el límite de esta comuna con la de Limache.



Figura A29. Mapa tramo 4.

Número Estación	Nombre Estación	Coordenada Estación
1	Las Américas	33°02'38"S 71°23'42"O
2	La Concepción	33°02'30"S 71°22'56"O
3	Villa Alemana	33°02'33"S 71°22'25"O
4	Sargento Aldea	33°02'31"S 71°21'58"O
5	Peñablanca	33°02'25"S 71°21'10"O

Tabla A4. Ubicación estaciones tramo 4.

Estación Las Américas.

Primera estación del tramo de Villa Alemana, se encuentra en la zona oeste de la ciudad, su nombre se debe a la Avenida paralela a ella, una de las más importantes de la ciudad. La estación fue construida en el año 1989 y re inaugurada el 23 de noviembre del año 2005.

En sus alrededores hay múltiples viviendas por lo que lo hace ser una de las estaciones más congestionadas del tramo, ya que a diario moviliza a la población de Villa Alemana hacia Viña del Mar y Valparaíso.



Figura A30. Andén estación las Américas. [26]

Estación La Concepción.

Es la segunda estación del tramo 4 y se ubica a 1,2 Km aproximados de la estación Las Américas. Se ubica en el barrio de La Concepción, antiguo barrio residencial de Villa Alemana, al igual que la estación anterior, está rodeada de viviendas y suburbios, por lo cual a diario es una estación congestionada.

Fue inaugurada el 23 de noviembre del año 2005.



Figura A31. Señalética estación La Concepción. [26]

Estación Villa Alemana.

Es la estación más céntrica de la ciudad, distante a ochocientos metros aproximados de la estación La Concepción, es un punto de importante conexión para la población, en sus alrededores se encuentran diversos servicios comerciales y públicos.

Fue construida en el año 1880 a raíz del antiguo ferrocarril en donde solo existía la parada de estación Peñablanca, por el impulso de las autoridades se motivó a llevar a cabo para

facilitar el transporte de la población de esos días. Se re inauguró el 23 de noviembre de 2005.



Figura A32. Exterior estación Villa Alemana. [26]

Estación Sargento Aldea.

La estación se ubica a setecientos metros del centro de Villa Alemana, fue inaugurada el 23 de noviembre de 2005, está rodeada de viviendas y suburbios, por lo cual al igual que las estaciones que la preceden a diario es una estación congestionada.



Figura A33. Interior estación Sargento Aldea. [26]

Estación Peñablanca.

Última estación del tramo 4, se ubica a 1,2 Km aproximados de la estación Sargento Aldea. A su alrededor está el sector habitacional del mismo nombre por lo que es una estación con mucha congestión. Está distante a doce kilómetros de la última estación (Limache), distancia más larga entre dos estaciones de la red.

Fue construida en el año 1863 siendo muy importante en los comienzos de la historia ferroviaria de Valparaíso, es de las estaciones más antiguas. Gracias a esta estación, la

ciudad de Villa Alemana tuvo una gran explosión demográfica. Fue re inaugurada el 23 de noviembre de 2005.



Figura A34. Señalética estación Peñablanca. [26]

Tramo 5 Limache.



Figura A35. Mapa tramo 5.

Número Estación	Nombre Estación	Coordenada Estación
1	Limache	32°59'04"S 71°16'39"O

Tabla A5. Ubicación estaciones tramo 5.

El tramo 5 está compuesto solo por una estación la cual es terminal e intermodal de la red Metro de Valparaíso. Ubicada en San Francisco de Limache a doce kilómetros de la estación Peñablanca, máxima distancia entre dos estaciones de la red en la cual se alcanzan las velocidades máximas de esta. Se ubica en la antigua estación de Limache la cual fue construida en el año 1856, por lo que se re inauguró respetando la línea arquitectónica de esta.

Al ser estación terminal cuenta en sus alrededores con servicios de acercamiento para la población de otras localidades mediante el uso de autobuses.

Aquí se encuentran los talleres del Metro de Valparaíso, que sirven para dar infraestructura, mantenimiento, revisión y cochera de los ferrocarriles, ocupando un espacio de 7500 m².



Figura A36. Vista satelital estación Limache.

La estación fue construida originalmente en el año 1863 para el Ferrocarril Valparaíso-Santiago, ubicada en el kilómetro 148.8, en el año 1906 el “Terremoto de Valparaíso” destruyó la estructura debiendo ser reconstruida.



Figura A37. Fotografía histórica estación Limache. [26]

Anexo n° 3 Maquinaria utilizada en Merval y sus características.

MATERIAL RODANTE.

El material rodante del Metro de Valparaíso viene en consecuencia de la modernización del servicio administrativo, el cual fue puesto en marcha por la formación de la sociedad anónima Metro Regional de Valparaíso S.A dejando atrás a la antigua administración, la cual se concreta en el año 1995 con una participación del 99,99% de la Empresa de Ferrocarriles del Estado, EFE. La sociedad anónima creada asume en el año 1996 la administración del Ferrocarril Metro de Valparaíso y por el impulso del gobierno de Eduardo Frei Ruiz-Tagle se definió el Plan de Transportes Urbano del Gran Valparaíso en el cual Merval debía llevar a cabo la modernización del ferrocarril metropolitano, hito muy importante para la inversión de transportes y marcando el comienzo del primer sistema de metro en regiones de Chile.

Todo este proyecto conllevó a que en el año 2002 se iniciaran las obras civiles de mejoramiento de la red, que incluían la electrificación de las líneas, señalización, sistemas de control y comunicaciones, nueva seguridad para la vía entre otros. Con esta nueva tecnología se requerían trenes más modernos para la circulación del proyecto, se encargaron la fabricación de automotores a la empresa francesa Alstom, considerando el modelo “X'Trapolis 100” quienes los fabricaron entre los años 2005 y 2006 en su fábrica de “La Rochelle” en Francia. Este modelo es una unidad eléctrica múltiple de planta única, es parte de la categoría de trenes suburbanos y opera, además de Valparaíso en el metro de Melbourne, Australia. [27]

Durante el año 2015 se encargó un nuevo modelo, el “X'Trapolis Modular”, los cuales fueron fabricados de igual manera por la empresa Alstom pero esta vez en la fábrica de Santa Perpetua, Barcelona, España. Este nuevo modelo se caracteriza por ser menos contaminante, silencioso y con un ahorro de energía del cincuenta por ciento.

En total la flota que compone el Metro de Valparaíso a día de hoy son veintisiete automotores X'Trapolis 100 y trece X'Trapolis Modular, todos de dos coches.

X'Trapolis 100.

Es un tren suburbano de la línea X'Trapolis fabricado en Francia por la empresa Alstom para los metros de Melbourne, Australia y para el Metro de Valparaíso en Chile. Para Valparaíso se hizo efectiva en el año 2002 la compra de material rodante por un monto cercano a los 54 millones de euros a Alstom, que incluía 27 trenes de dos vagones, señalización y alimentación eléctrica. [19]

El X'Trapolis100 es una unidad eléctrica múltiple (automotor), de 43 toneladas de peso por tren, con una longitud de 24,45 metros, capacidad para 144 pasajeros y una velocidad máxima de 143 kilómetros por hora. Cada tren posee tres puertas automáticas, se accionan presionando un botón tanto por fuera como por dentro si se requiere.

Datos X'Trapolis 100:

X'Trapolis 100	Datos
Velocidad Máxima	143 Km/h
Velocidad Máxima usada	120 Km/h
Longitud	24,46 m
Ancho	3050 mm
Alto	3650 mm
Ancho de vía	1676 mm
Peso	43 T
Motor	4 x Alstom ECA
Capacidad	144 pasajeros sentados
Fuente de alimentación	1500 V DC
Material	Acero

Tabla A6. Características X'Trapolis100. [19]



Figura A38. X'Trapolis100 circulando por Valparaíso. [26]

X'Trapolis Modular.

Este modelo de tren se unió a la flota del Metro de Valparaíso el año 2018 con cinco trenes, los cuales fueron construidos por Alstom en su fábrica de Barcelona, es de la familia de trenes suburbanos y también son ocupados para el “Tren Central” de Chile.

Son un modelo de unidad eléctrica múltiple que incorpora y mejora características de la versión X'Trapolis 100, posee tres puertas automáticas en cada lado del vagón del tren accionables con un botón interior y exterior. A su vez el aspecto externo está basado en el Renfe Civia de la empresa CAF, no así el interior que se basa en los modelos X'Trapolis. [19]

A estos trenes se les realiza una modificación de sus espacios interiores para aprovechar al máximo los vagones para la comodidad de los usuarios, dada la cantidad de viajes diarios que se realizan (sobre 75 mil) con la finalidad de dar abasto en los horarios punta. Dentro de las medidas está retirar parte de los asientos cercanos a las puertas para la instalación de pasamanos.

Datos X'Trapolis Modular:

X'Trapolis Modular	Datos
Velocidad Máxima	143 Km/h
Velocidad Máxima usada	120 Km/h
Longitud	23 m
Ancho	2940 mm
Alto	4260 mm
Ancho de vía	1676 mm
Peso	80,97 T
Motor	4 x Alstom ECA
Capacidad	92 pasajeros sentados
Fuente de alimentación	1500 V DC
Material	Acero

Tabla A7. Características X'Trapolis Modular. [19]



Figura A39. X'Trapolis Modular detenido en estación central Santiago de Chile. [26]

CARACTERISTICAS OPERACIONALES.

La operación de los trenes de pasajeros se hace entre las estaciones de Puerto y Limache de lunes a viernes (excepto los días feriados) saliendo el primer tren a las 6:15 de la mañana, mientras que el último tren desde Limache a Puerto sale a las 22:15 y desde Puerto a Limache es a las 22:30. Los fines de semana o feriados el primer tren desde Limache a Puerto sale a las 7:30 y desde Puerto a Limache es a las 8:30, mientras que el último tren desde Limache a Puerto sale a las 22:06 y desde Puerto a Limache es a las 22:12. [26]

La operación comercial de Metro Valparaíso se basa en el concepto de movilización por frecuencia, es decir, existe un intervalo de tiempo fijo entre trenes durante la explotación, el cual difiere en función del horario.

El control de tráfico se ejecuta en función del intervalo establecido lo que significa que no existe, en la práctica, un horario fijo o itinerario asociado a la movilización de los trenes. Los operadores del puesto de comando central regulan en función del intervalo, basados en un itinerario teórico, y ajustan las distintas salidas de trenes desde terminales en función de las incidencias operacionales del día. Las desviaciones típicas en el intervalo, registradas en un día normal pueden alcanzar los +/- 90 segundos.

El Sistema de Control de Tráfico está basado en señalización con ATP y es el responsable de la supervisión continua de la operación de cada tren, El Sistema ATP (Automatic Train Protection) tiene como objetivo garantizar la conducción segura del material rodante, dentro de los límites de velocidad establecidos por los equipos de señalización instalados en la vía. El equipo a bordo de cada tren Xtrapolis y asociado al sistema ATP recibe los límites de velocidad autorizados de cada tramo, los cuales están definidos en función del distanciamiento entre trenes, el trazado de la vía y otros factores.

El Sistema ATP, luego de recibir la información del equipamiento en vía, habilita la conducción del tren imponiendo los códigos de velocidad leídos y supervisando continuamente la velocidad autorizada, actuando automáticamente en las interfaces del

freno de servicio y de tracción, en caso que se sobrepasen los límites establecidos. De esta forma el sistema ATP a bordo es capaz de impedir colisiones entre trenes, ante distanciamientos insuficientes y ante excesos de velocidad.

Actualmente durante el horario de operación de Merval sólo se autoriza la entrada a las vías principales entre Puerto y Limache, a los trenes Xtrapolis. Por tal motivo, los trenes de carga desde/hacia el Puerto de Valparaíso solo pueden circular en horario nocturno, fuera del horario comercial de Merval. Las razones de porque los trenes de carga circulan en horarios restringidos (noche y madrugada) se deben a sus limitadas velocidades de operación y escasos dispositivos de seguridad a bordo de los trenes. Las restricciones horarias están acordadas contractualmente con el porteador de carga FEPASA, en general, debido a las restricciones de espacio para los trenes en el Puerto de Valparaíso.

Anexo n° 4 Resumen de las redes secundarias de Chile.

La siguiente tabla contiene las principales características de las redes secundarias y ramales de Chile.

Ferrocarril	Longitud (Km)	N° Estaciones	Trocha (mm)	Estado	N° vías
Tacna-Arica	62,0	3	1435	Operativo	1
La Serena-Rivadavia	93,9	17	1000	Levantado	1
Los Andes-Mendoza	248,0	20	1000	Clausurado	1
Santiago-Cartagena	118,1	16	1676	Operativo solo carga	1
Melipilla-Ibacache	28,0	3	750	Levantado	1
Paine-Talagante	25,2	2	1676	Operativo solo carga	1
Yungay-Barrancas	15,0	5	750	Clausurado	1
Rancagua-Sewell	69,3	11	760	Clausurado	1
San Fernando-Pichilemu	119,0	16	750	Clausurado	1
Parral-Cauquenes	49,0	8	1676	Levantado	1
Linares-Colbún	34,0	8	600	Levantado	1
Ramal Los Ángeles	60,0	11	1676	Clausurado	1
Monte Águila- Polcura	72,5	16	1000	Levantado	1
Coihue-Mulchén	45,5	5	1676	Levantado	1
Rucapequén-Concepción	116,0	24	1676	Levantado	1
Osorno-Rupanco	50,5	6	1676	Levantado	1
Ferrocarriles del Sur					
BioTren	66,6	25	1676	Operativo	2
Corto Laja	87,3	22	1676	Operativo	1
Victoria - Temuco	11	16	1676	Operativo	1

Tabla A8. Redes secundarias de Chile y sus características. [50]

Anexo n° 5 Población de las principales ciudades de Chile.

A continuación se presenta una tabla con las ciudades con mayor población de cada zona regional de Chile.

Ciudad	Población (hab)	Región
Norte Grande		
Antofagasta	348517	Antofagasta
Iquique	322980	Tarapacá
Arica	202131	Arica y Parinacota
Calama	165731	Antofagasta
Tocopilla	25186	Antofagasta
Norte Chico		
La Serena-Coquimbo	448784	Coquimbo
Gran Copiapó	134561	Atacama
Ovalle	111272	Coquimbo
Vallenar	51917	Atacama
Illapel	39910	Coquimbo
Zona Centro		
Santiago	6257516	Metropolitana
Conurbado Concepción	971285	Biobío
Gran Valparaíso	951311	Valparaíso
Rancagua	294279	O'Higgins
Talca	206069	Maule
Zona Sur		
Gran Temuco	410520	Araucanía
Gran Puerto Montt	290480	Los Lagos
Valdivia	150048	Los Ríos
Osorno	147460	Los Lagos
Villarrica	55478	Araucanía
Zona Austral		
Punta Arenas	131592	Magallanes
Coyhaique	57818	Aysén
Puerto Aysén	27644	Aysén
Puerto Natales	16978	Magallanes

Tabla A9. Mayores centros urbanos de Chile. [14]

Anexo n° 6 Temperaturas anuales de la ciudad de Quillota y La Calera.

La siguiente tabla contiene las temperaturas de la ciudad de Quillota.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
Temp. máx. abs. (°C)	36.5	36.2	35.4	39.2	30.5	25.4	25.9	31.2	32.8	33.7	34.2	36.6	39.2
Temp. máx. media (°C)	26.2	25.7	24.4	20.8	18.2	13.4	12.5	15.6	18.6	21.2	24.4	25.1	20.4
Temp. media (°C)	19.4	19.1	17.8	14.7	12.5	9.3	8.8	10.6	12.7	15.4	17.4	18.5	14.6
Temp. mín. media (°C)	12.6	12.4	11.1	8.6	6.7	5.1	4.7	5.5	6.8	9.5	10.4	11.9	8.8
Temp. mín. abs. (°C)	5.5	4.6	2.1	-0.5	-4.7	-5.9	-5.2	-4.7	-2.8	-0.3	2.2	4.4	-5.9
Precipitación total (mm)	0.5	1.8	2.5	19.7	77.6	112.5	96.9	72.3	26.1	13.5	6.1	1.3	430.8
Días de precipitaciones (≥ 1 mm)	0	0	1	2	7	12	9	7	3	1	1	0	41

Tabla A10. Temperaturas anuales Quillota. [51]

La siguiente tabla contiene las temperaturas de la ciudad de la Calera.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
Temp. máx. abs. (°C)	37.2	36.5	35.7	33.1	30.0	24.9	26.2	31.2	32.1	34.2	34.9	36.7	37.2
Temp. máx. media (°C)	26.5	26.0	24.9	21.8	18.2	14.1	13.2	16.8	19.2	21.4	24.2	25.7	21.0
Temp. media (°C)	19.1	18.6	17.2	14.7	11.6	8.5	7.8	10.7	12.5	14.8	16.8	18.3	14.2
Temp. mín. media (°C)	11.7	11.2	9.5	7.6	5.1	2.8	2.3	4.5	5.8	8.1	9.4	10.9	7.4
Temp. mín. abs. (°C)	3.7	2.5	-0.1	-2.5	-5.6	-10.5	-8.6	-6.3	-3.8	-1.3	-0.6	2.2	-10.5
Precipitación total (mm)	0.1	1.3	2.1	15.4	71.6	108.7	92.2	68.7	23.5	11.3	5.6	1.1	401.6
Días de precipitaciones (≥ 1 mm)	0	0	1	2	6	11	9	6	3	1	1	0	38

Tabla A11. Temperaturas anuales La Calera. [51]

Anexo n° 7 mapa ferroviario de las principales vías férreas de Chile actualizado a 2019, se aprecian las vías existentes y ya levantadas o abandonadas. “Los Amigos del tren.”



Figura A40: Mapa de vías de Chile zona norte. [12]



Figura A41: Mapa de vías de Chile zona norte chico y centro. [12]

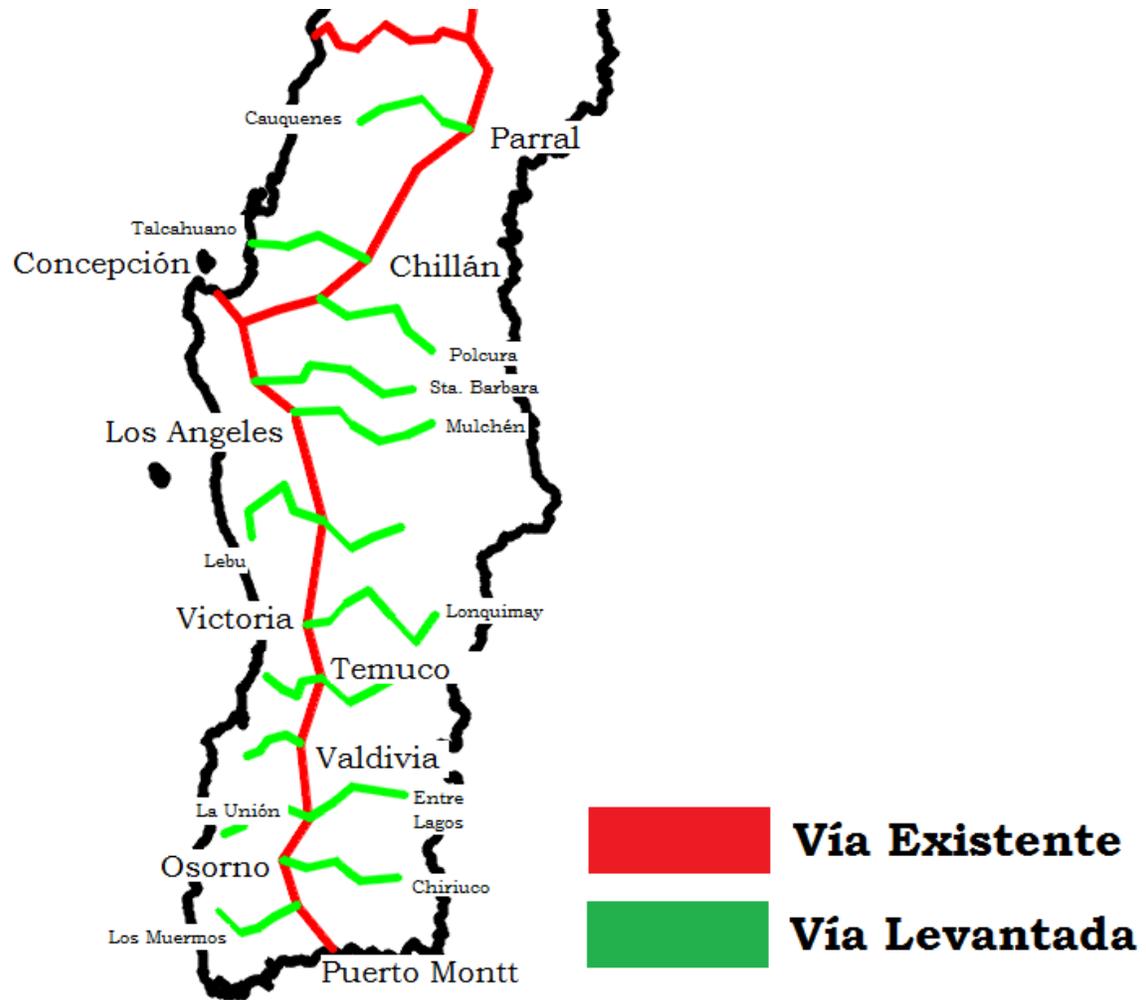


Figura A42: Mapa de vías de Chile zona sur. [12]

Anexo n° 8 Fotografías del estado de Túnel San Pedro y sus alrededores. Octubre 2018.



Figura A43: Sector norte túnel San Pedro. [52]



Figura A44: Entrada norte túnel San Pedro. [52]



Figura A45: Ancho disponible entrada norte túnel San Pedro. [52]



Figura A46: Entrada norte túnel San Pedro, se aprecian rocas y ancho para un solo carril. [52]



Figura A47: Entrada norte túnel San Pedro kilómetro 141, por el costado izquierdo se aprecia una conducción de aguas. [52]



Figura A48: Entrada norte túnel San Pedro kilómetro 141, la boca está tapada por vegetación. [52]



Figura A49: Vista interior del túnel, paredes deterioradas y atraveso de una conducción de aguas. [52]



Figura A50: La estructura vial del interior del túnel presenta mucho desgaste, humedad y oxidación. [52]



Figura A51: Entrada sur túnel San Pedro kilómetro, por el costado derecho se aprecian conducciones de agua más grandes. [52]



Figura A52: Sector aledaño a la boca del túnel, en la parte superior está la carretera F-62. [52]



Figura A53: Ancho disponible de la vía en la salida del túnel con dirección a Limache. [52]

Anexo n°9 Vista satelital de las tres opciones propuestas para el trazado dividida en zonas.



Figura A54: Secciones del trayecto opción 1.



Figura A55: Secciones del trayecto opción 1.



Figura A56: Secciones del trayecto opción 2.

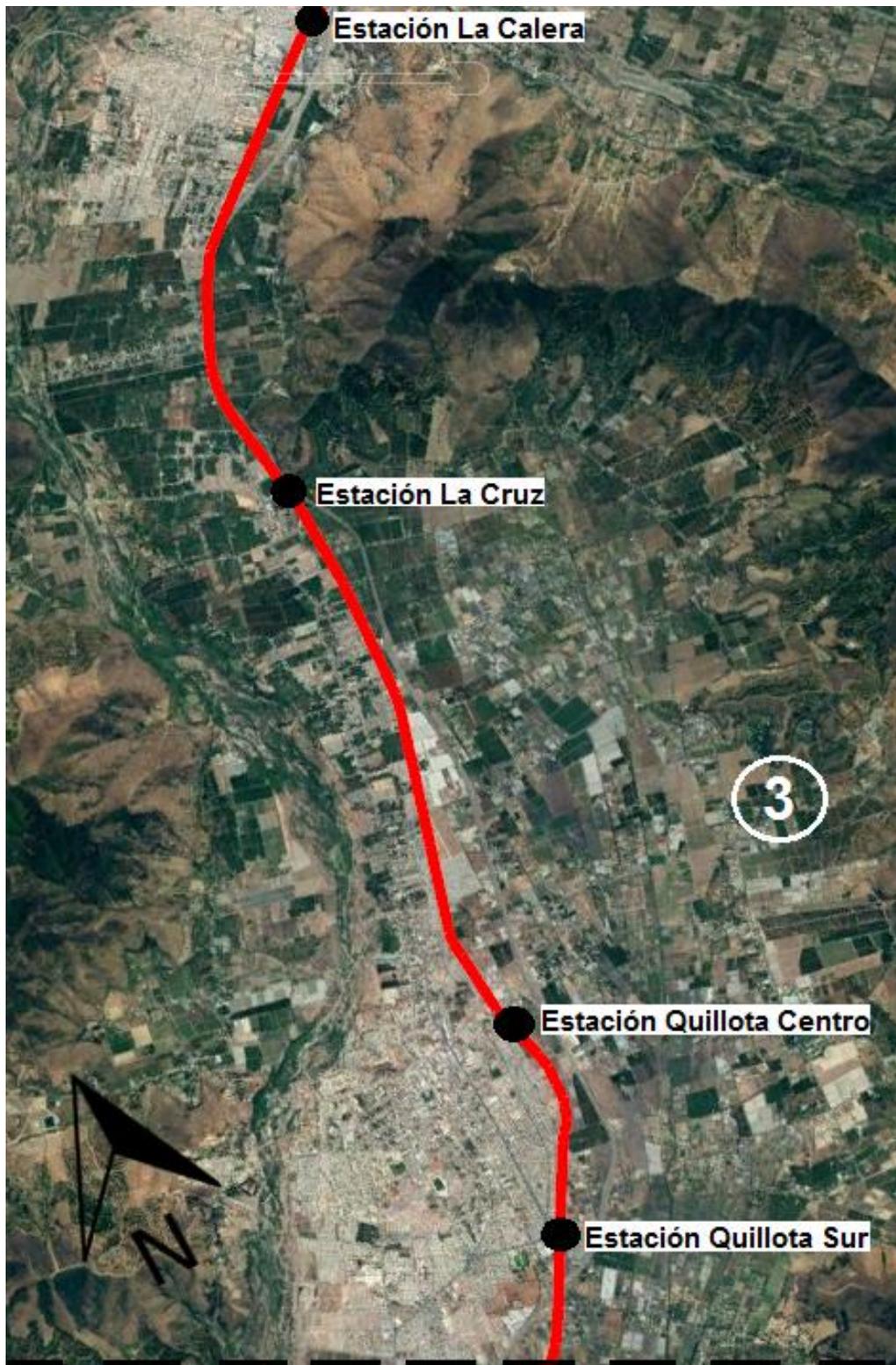


Figura A57: Secciones del trayecto opción 2.

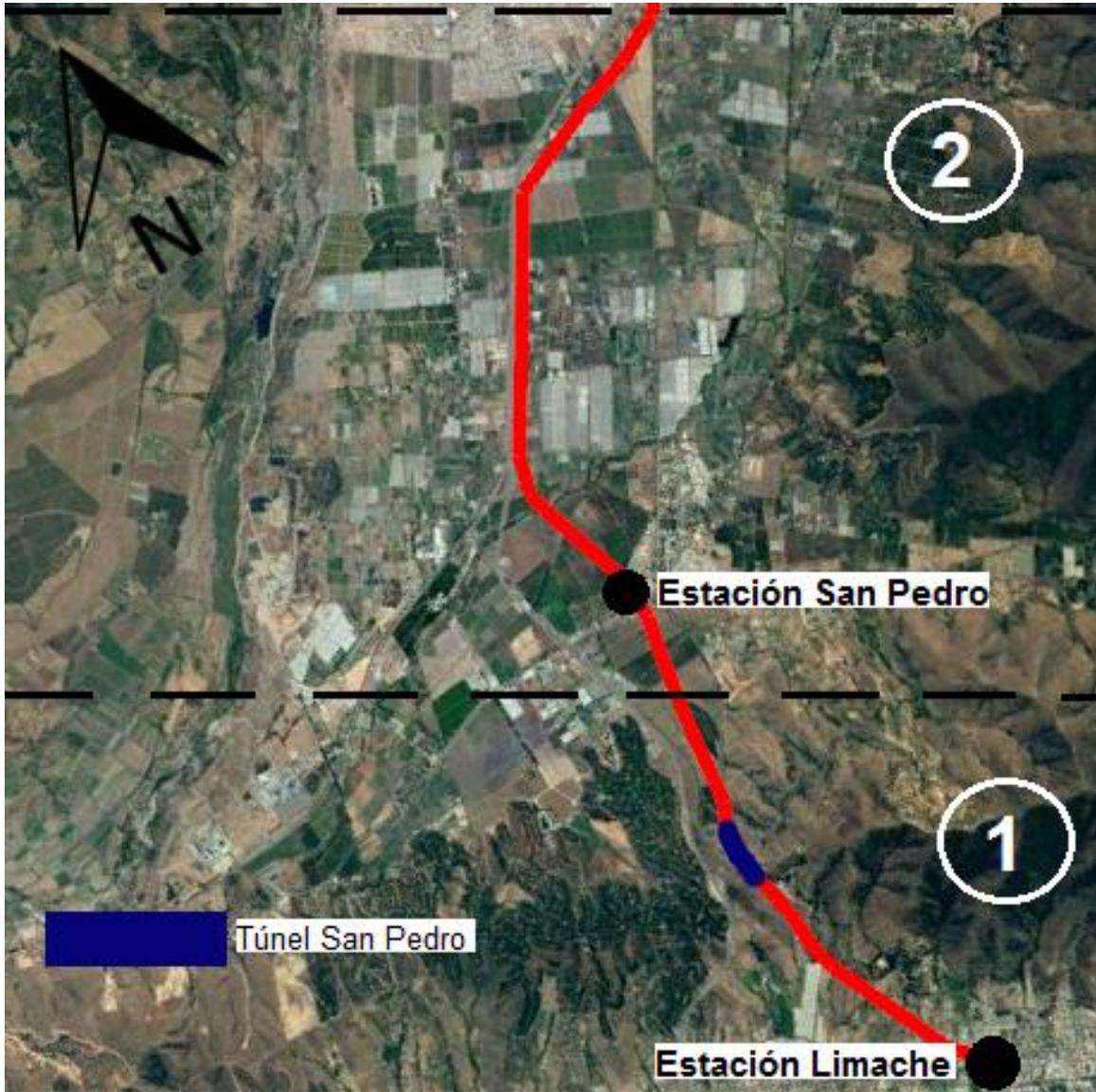


Figura A58: Secciones del trayecto opción 2.



Figura A59: Secciones del trayecto opción 3.

Anexo n°10 Galibo normal en vía recta trocha 1.676 mm.

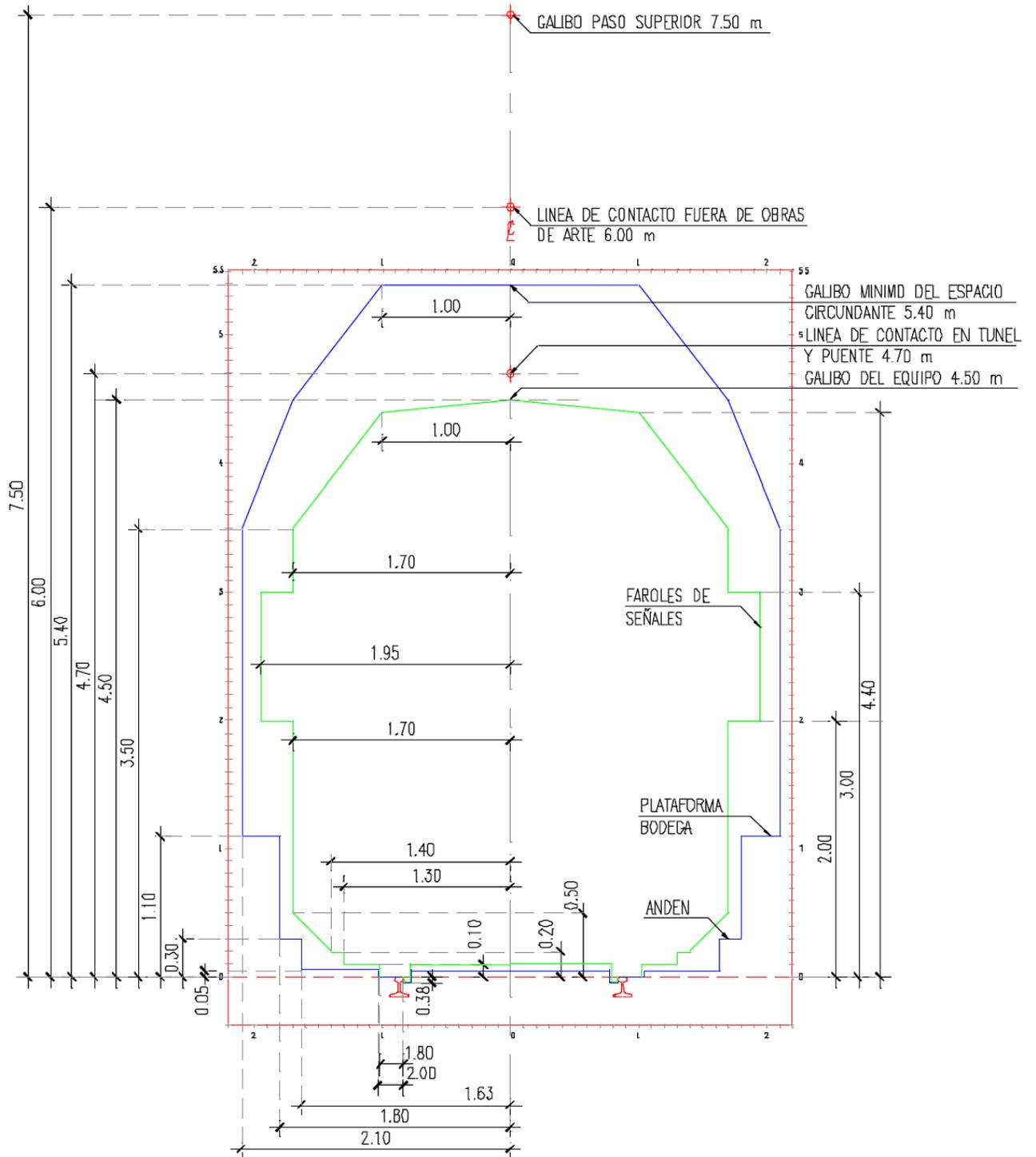


Figura A60: Secciones del trayecto opción 3. [47]

Anexo n°11 Tablas de los cruces ferroviarios para las tres alternativas de trazado.

Cruce	Caracterización pasos a nivel opción 1.											
	Km	N° de vías	Plataforma	Ancho faja	Pavimento	Visibilidad	Señalización	Semaforización	Señal sonora	Barrera vehiculos	Obras de arte	Angulo del cruce.
San Pedro ruta F-382	5,27	1	A nivel	> 12 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Obstruida por vegetación y muros de viviendas	Si	Si, no funciona	Si, no funciona	Si, no funciona	Pequeña canalización de aguas.	45°
San Pedro ruta F-396	7,58	1	A nivel	> 12 [m]	Emparrillado de rieles sobre tierra.	Existe vegetación y arboles.	Si	Si, no funciona	Si, no funciona	Si, no funciona		85°
Vía rural de tierra.	8,51	1	A nivel	> 12 [m]	Emparrillado de rieles sobre tierra.	Existe vegetación y arboles.	No	No	No	No		78°
Quillota calle Carlos Condell	10,5	1	A nivel	12 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Presencia de muros.	Si	Si, no funciona	Si, no funciona	Si	En buena condición.	41°
Quillota calle Callejón Moreno	11,6	1	A nivel	12 [m]	Asfalto deteriorado y tierra	Nula, peatones y vehiculos cruzan	No	No	No	NO	En buena condición.	38°
Quillota calle Arauco	12	1	A nivel	12 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Difícil debido a muros de viviendas privadas.	Si	Si, no funciona	Si, no funciona	Si	Aguas canalizadas	85°
Quillota calle Rafael Ariztia	13,6	2	A nivel	17 [m]	Rieles sobre asfalto y cemento.	Sector abierto con presencia de vegetación.	Si	SI	Si, no funciona	No		90°
Quillota calle Tte. Ignacio Serrano	14	1	A nivel	16 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Buena	Si	No	No	No		90°
Quillota calle Prieto	15,8	1	A nivel	23 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Buena	Si	No	No	NO		86°
La Cruz calle El Llano	17	1	A nivel	12 [m]	Emparrillado de rieles sobre tierra.	Nula, se trata de camino informal de tierra	No	No	No	No		90°
La Cruz calle Fuenzalida	17,2	1	A nivel	12 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Difícil debido a muros de viviendas privadas.	No	No	No	No		87°
La Cruz calle Pedro Aguirre Cerda	17,5	1	A nivel	16 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Difícil debido a muros de viviendas privadas.	Si	Si	Si, no funciona	No	Pequeña canalización de aguas.	85°
La Cruz calle Augusto Best	18,4	1	A nivel	15 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Difícil debido a muros de viviendas privadas.	Si	No	No	No		69°
La Cruz calle Ricardo Santa Cruz	18,7	1	A nivel	15 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Difícil debido a muros de viviendas privadas.	Si	No	No	No	Pequeña canalización de aguas.	74°
La Cruz vía rural de tierra	19	1	A nivel	13 [m]	Emparrillado de rieles sobre tierra.	Difícil debido a muros de viviendas privadas.	No	No	No	No		70°
La Cruz calle Simpson	19,5	1	A nivel	17 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Buena	Si	No	No	No		42°
La Cruz calle 21 de Mayo	20,4	1	A nivel	12 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Regular	Si	Si, no funciona	Si, no funciona	No		63°

Tabla A12: Pasos a nivel opción 1. [20]

Cruce	Caracterización pasos a nivel opción 2.											
	Km	Nº de vías	Plataforma	Ancho faja	Pavimento	Visibilidad	Señalización	Semaforización	Señal sonora	Barrera vehículos	Obras de arte	Angulo del cruce.
San Pedro ruta F-382	5,27	1	A nivel	> 12 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Obstruida por vegetación y muros de viviendas	Si	Si, no funciona	Si, no funciona	Si, no funciona	Pequeña canalización de aguas.	45°
San Pedro nuevo cruce	6,1		A nivel									50°
San Pedro nuevo cruce	7,12		A nivel									45°
San Pedro nuevo cruce	7,8		A nivel									90°
San Pedro nuevo cruce	8,13		A nivel									90°
San Pedro nuevo cruce	8,45		A nivel									90°
San Pedro nuevo cruce	9,05		A nivel									90°
San Pedro nuevo cruce	9,92		A nivel									45°
San Pedro nuevo cruce	10,02		A nivel									80°
Quillota calle Carlos Condell	11,6	1	A nivel	12 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Presencia de muros.	Si	Si, no funciona	Si, no funciona	Si	En buena condición.	41°
Quillota calle Callejón Moreno	12,7	1	A nivel	12 [m]	Asfalto deteriorado y tierra	Nula, peatones y vehiculos cruzan informal.	No	No	No	NO	En buena condición.	38°
Quillota calle Arauco	13,1	1	A nivel	12 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Difícil debido a muros de viviendas privadas.	Si	Si, no funciona	Si, no funciona	Si	Aguas canalizadas	85°
Quillota calle Rafael Ariztia	14,7	2	A nivel	17 [m]	Rieles sobre asfalto y cemento.	Sector abierto con presencia de vegetación.	Si	SI	Si, no funciona	No		90°
Quillota calle Tte. Ignacio Serrano	15,1	1	A nivel	16 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Buena	Si	No	No	No		90°
Quillota calle Prieto	16,9	1	A nivel	23 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Buena	Si	No	No	NO		86°
La Cruz calle El Llano	18,1	1	A nivel	12 [m]	Emparrillado de rieles sobre tierra.	Nula, se trata de camino informal de tierra	No	No	No	No		90°
La Cruz calle Fuenzalida	18,3	1	A nivel	12 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Difícil debido a muros de viviendas privadas.	No	No	No	No		87°
La Cruz calle Pedro Aguirre Cerda	18,6	1	A nivel	16 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Difícil debido a muros de viviendas privadas.	Si	Si	Si, no funciona	No	Pequeña canalización de aguas.	85°
La Cruz calle Augusto Best	19,5	1	A nivel	15 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Difícil debido a muros de viviendas privadas.	Si	No	No	No		69°
La Cruz calle Ricardo Santa Cruz	19,8	1	A nivel	15 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Difícil debido a muros de viviendas privadas.	Si	No	No	No	Pequeña canalización de aguas.	74°
La Cruz vía rural de tierra	20,1	1	A nivel	13 [m]	Emparrillado de rieles sobre tierra.	Difícil debido a muros de viviendas privadas.	No	No	No	No		70°
La Cruz calle Simpson	20,6	1	A nivel	17 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Buena	Si	No	No	No		42°
La Cruz calle 21 de Mayo	21,5	1	A nivel	12 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Regular	Si	Si, no funciona	Si, no funciona	No		63°

Tabla A13: Pasos a nivel opción 2. [20]

Cruce	Caracterización pasos a nivel opción 3.											
	Km	N° de vías	Plataforma	Ancho faja	Pavimento	Visibilidad	Señalización	Semaforización	Señal sonora	Barrera vehiculos	Obras de arte	Angulo del cruce.
San Pedro ramal ferrocarril	5,12	1	A nivel	> 12 [m]	cruce ferrocarril sin uso							90°
San Pedro ruta F-382	5,17	1	A nivel	> 12 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Obstruida por vegetación y muros de viviendas	Si	Si, no funciona	Si, no funciona	Si, no funciona	Pequeña canalización de aguas.	90°
San Pedro nuevo cruce	6,5		A nivel									70°
San Pedro nuevo cruce	6,83		A nivel									90°
San Pedro nuevo cruce	7,5		A nivel									90°
San Pedro nuevo cruce	7,84		A nivel									90°
San Pedro nuevo cruce	8,1		A nivel									90°
San Pedro nuevo cruce	8,7		A nivel									90°
San Pedro nuevo cruce	9,8		A nivel									45°
Quilota calle Carlos Condell	11,5	1	A nivel	12 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Presencia de muros.	Si	Si, no funciona	Si, no funciona	Si	En buena condición.	41°
Quilota calle Callejón Moreno	12,6	1	A nivel	12 [m]	Asfalto deteriorado y tierra	Nula, peatones y vehiculos cruzan informal.	No	No	No	NO	En buena condición.	38°
Quilota calle Arauco	13	1	A nivel	12 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Difícil debido a muros de viviendas privadas.	Si	Si, no funciona	Si, no funciona	Si	Aguas canalizadas	85°
Quilota calle Rafael Ariztía	14,6	2	A nivel	17 [m]	Rieles sobre asfalto y cemento.	Sector abierto con presencia de vegetación.	Si	Si	Si, no funciona	No		90°
Quilota calle Tte. Ignacio Serrano	15	1	A nivel	16 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Buena	Si	No	No	No		90°
Quilota calle Prieto	16,8	1	A nivel	23 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Buena	Si	No	No	NO		86°
La Cruz calle El Llano	18	1	A nivel	12 [m]	Emparrillado de rieles sobre tierra.	Nula, se trata de camino informal de tierra	No	No	No	No		90°
La Cruz calle Fuenzalida	18,2	1	A nivel	12 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Difícil debido a muros de viviendas privadas.	No	No	No	No		87°
La Cruz calle Pedro Aguirre Cerda	18,5	1	A nivel	16 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Difícil debido a muros de viviendas privadas.	Si	Si	Si, no funciona	No	Pequeña canalización de aguas.	85°
La Cruz calle Augusto Best	19,4	1	A nivel	15 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Difícil debido a muros de viviendas privadas.	Si	No	No	No		69°
La Cruz calle Ricardo Santa Cruz	19,7	1	A nivel	15 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Difícil debido a muros de viviendas privadas.	Si	No	No	No	Pequeña canalización de aguas.	74°
La Cruz vía rural de tierra	20	1	A nivel	13 [m]	Emparrillado de rieles sobre tierra.	Difícil debido a muros de viviendas privadas.	No	No	No	No		70°
La Cruz calle Simpson	20,5	1	A nivel	17 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Buena	Si	No	No	No		42°
La Cruz calle 21 de Mayo	21,4	1	A nivel	12 [m]	Asfalto emparrillado de rieles deteriorado	Regular	Si	Si, no funciona	Si, no funciona	No		63°

Tabla A14. Pasos a nivel opción 3. [20]

Anexo nº12 Planos de los distintos pasos peatonales del proyecto.

PASO PEATONAL HELICOIDAL ELEVADO TIPO

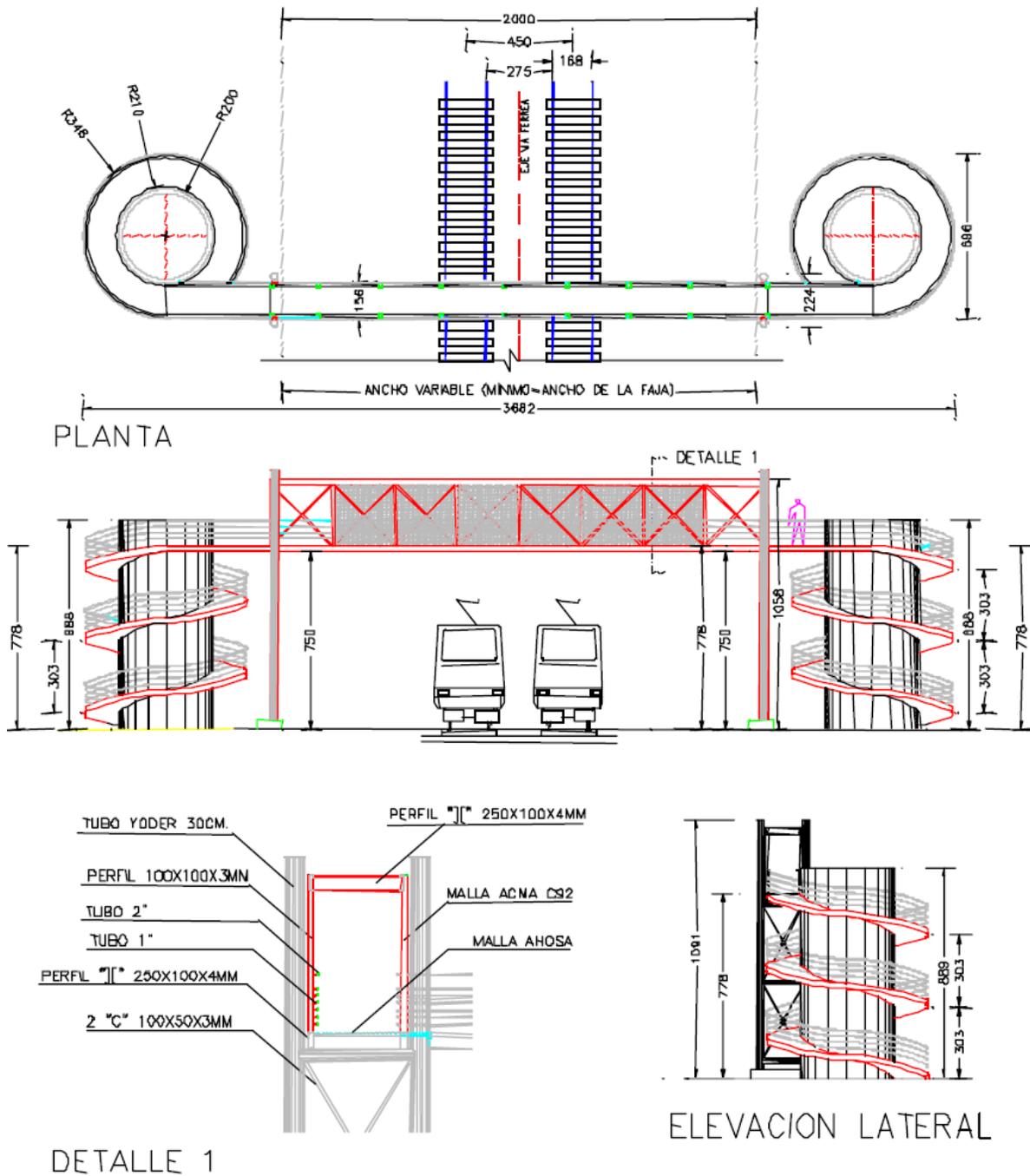
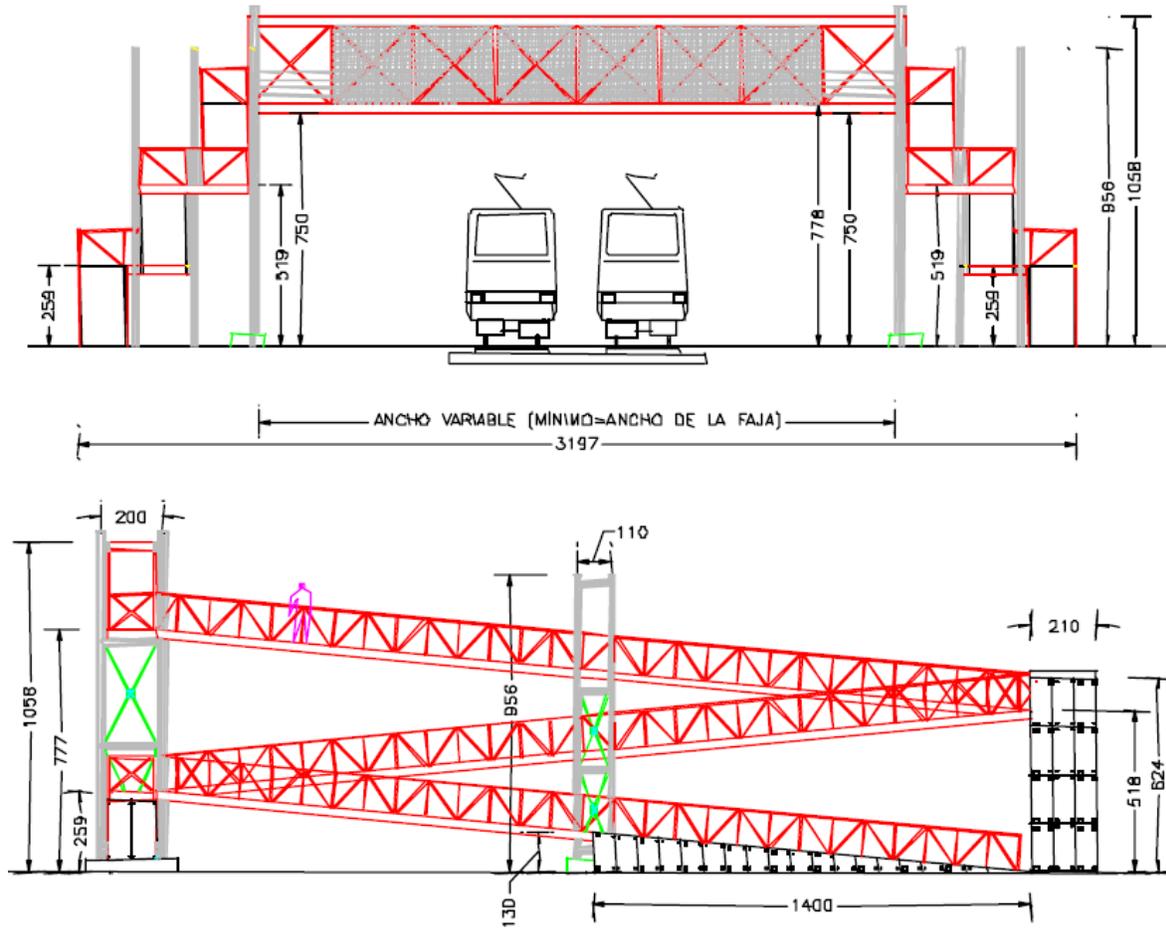


Figura A61: Detalles de paso superiores para peatones. [47]

PASO PEATONAL RECTO ELEVADO TIPO



ELEVACION LATERAL

Figura A62: Detalles de paso superiores para peatones. [47]

PASO PEATONAL INFERIOR TIPO

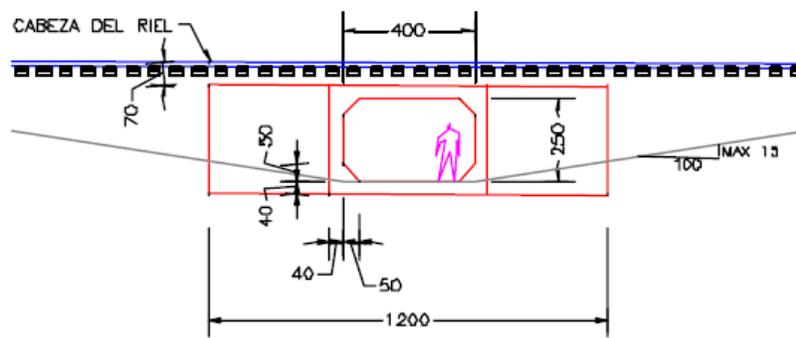
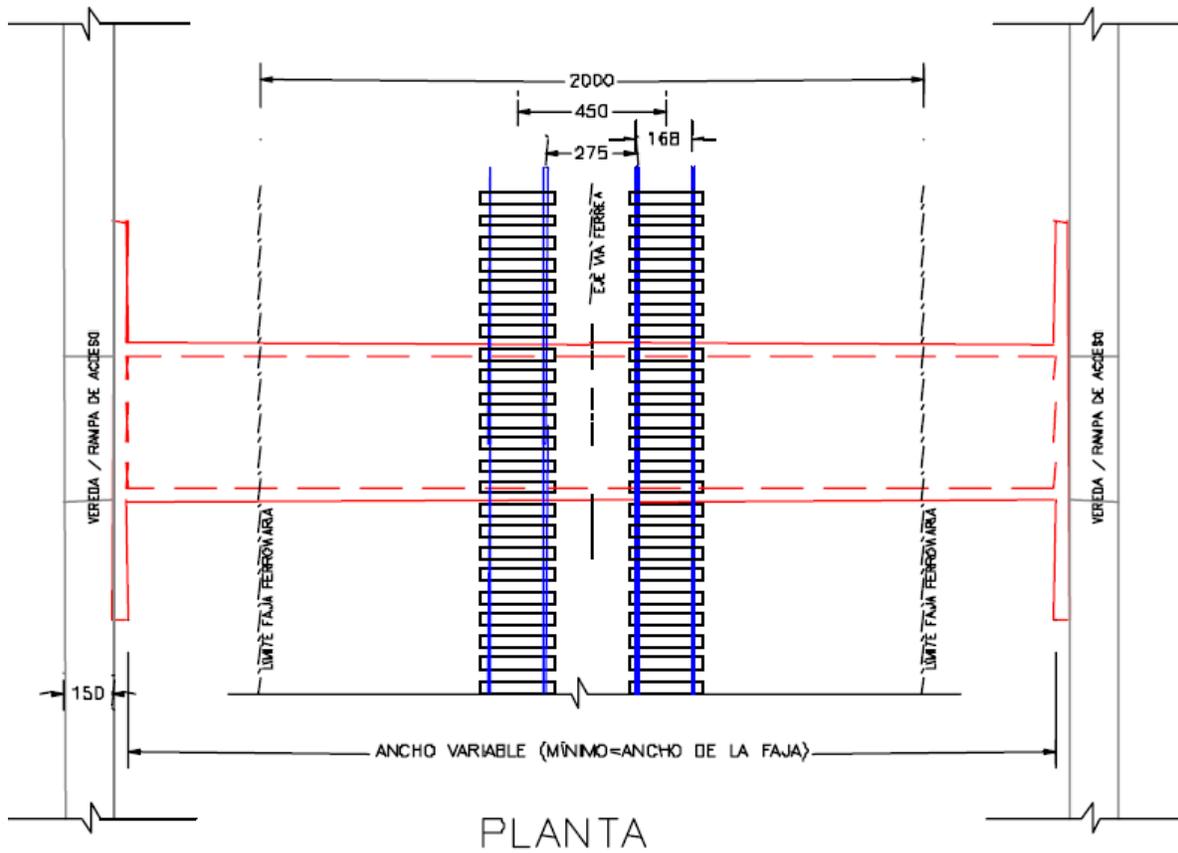


Figura A63: Detalles de paso inferiores para peatones. [47]

Anexo n°13 Ubicación de los cruces ferroviarios.

En las siguientes figuras se destacarán para cada una de las alternativas divididos en dos tramos los cruces ferroviarios correspondientes, en color rojo se marca los cruces que necesitarán señalética fija, señalética activa y dos barreras automáticas, mientras que en color azul los que solo necesitan señalética fija. Todos los cruces contarán con paneles de hormigón como solución de carpeta de rodado. Por último una línea negra que marca la vía y a la vez la solución de cierre perimetral que será en toda la vía por ambos costados.

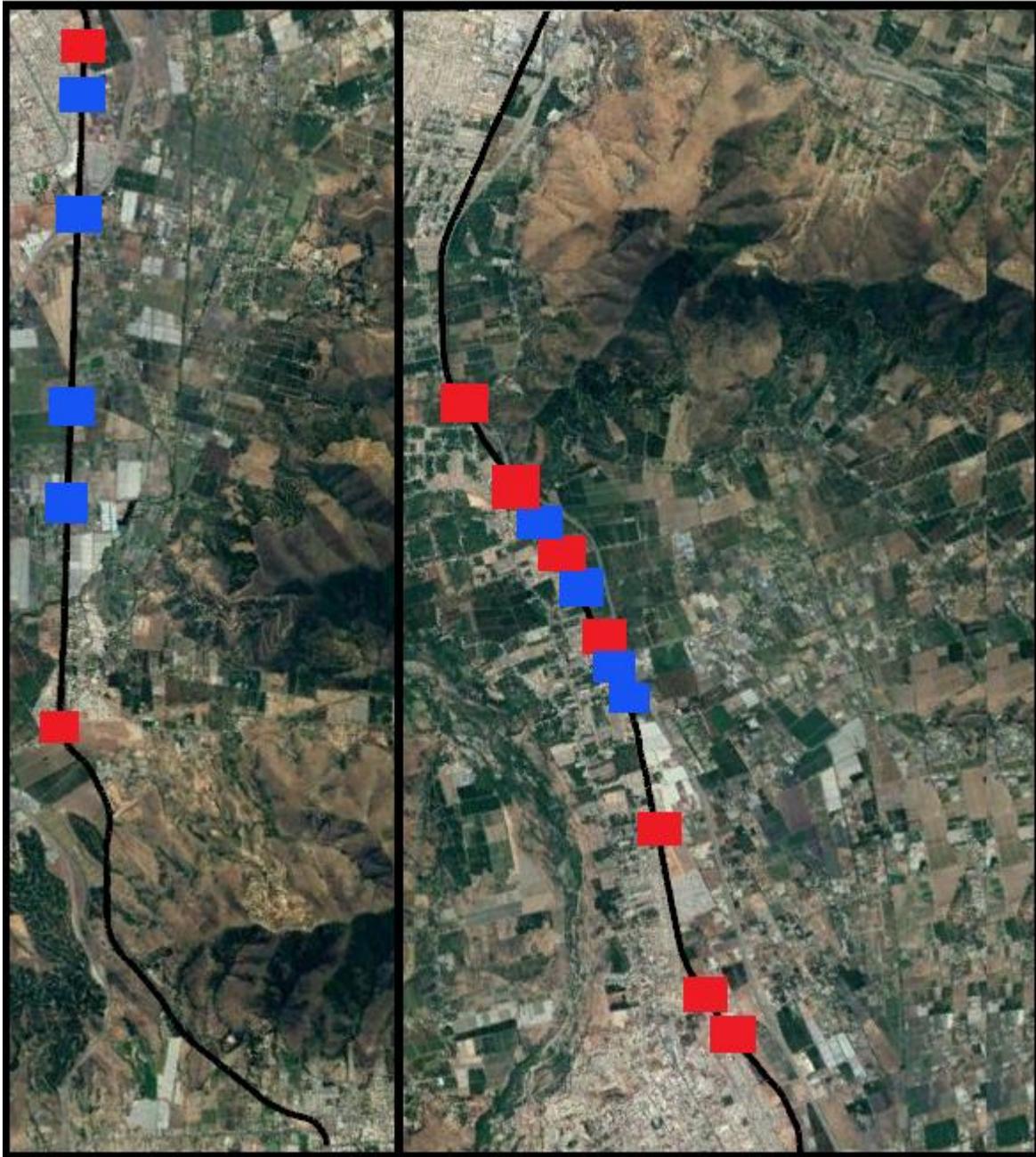


Figura A65: Ubicación de los cruces ferroviarios opción 1.

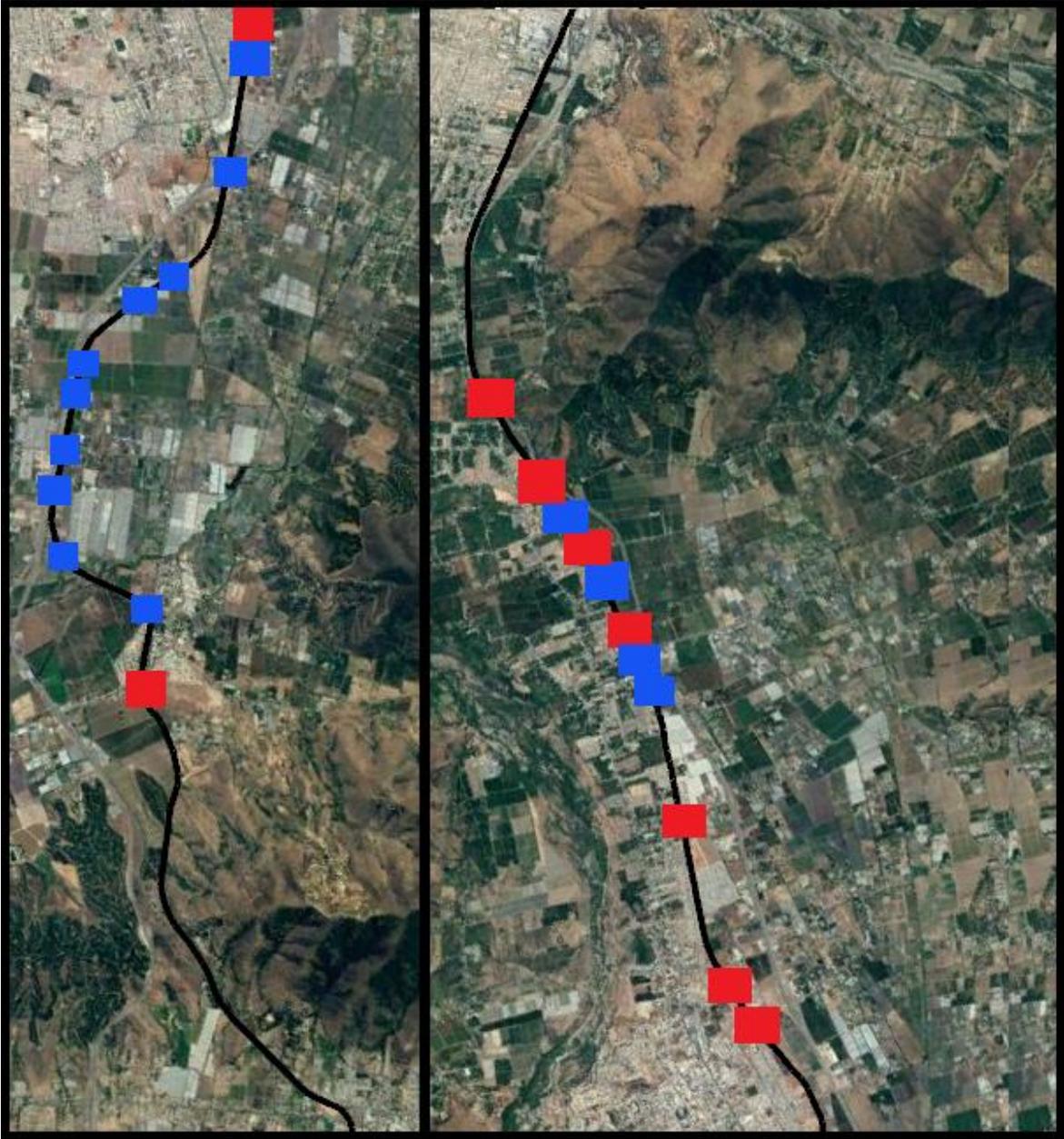


Figura A66: Ubicación de los cruces ferroviarios opción 2.

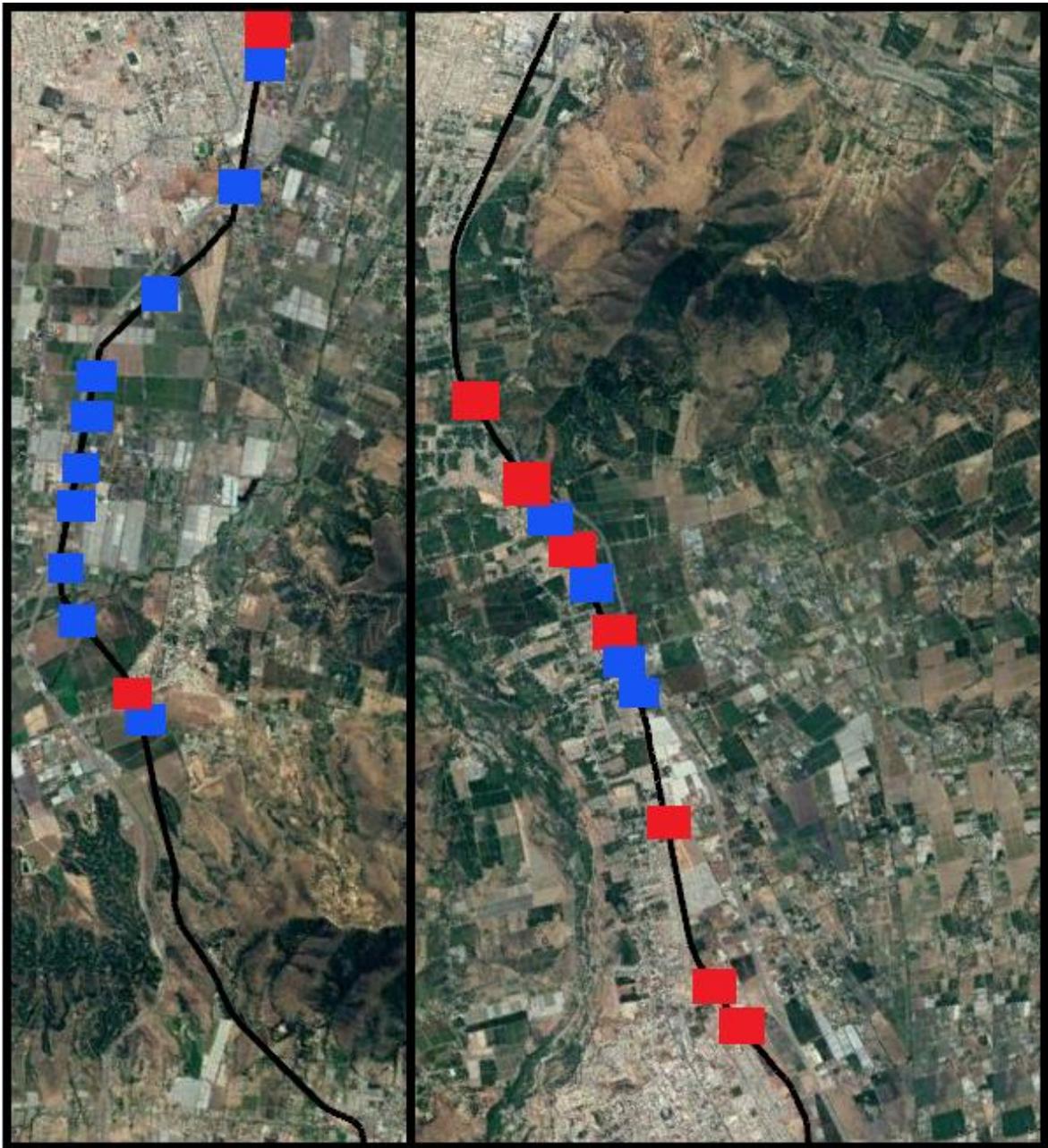


Figura A67: Ubicación de los cruces ferroviarios opción 3.

Anexo n°14 Dimensiones y características perfil riel AREMA.

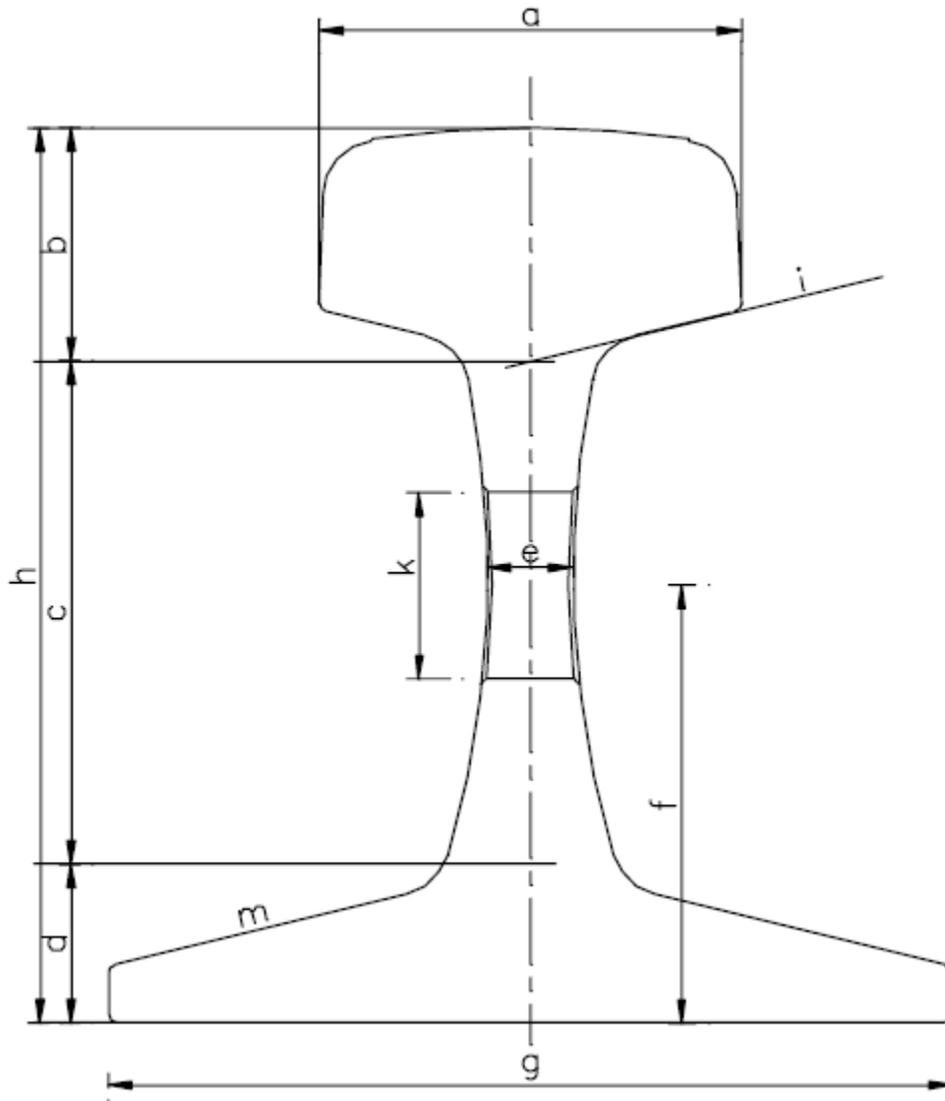


Figura A68: Detalles dimensiones riel. [41]

Las características de los rieles son:

Elemento	Análisis Químico % en peso		Tolerancias % en peso	
	Mínimo	Máximo	Bajo mínimo	Sobre máximo
Carbono	0,740	0,840	0,040	0,040
Manganeso*	0,800	1,100	0,060	0,060
Fósforo	0,000	0,035	0,000	0,008
Azufre	0,000	0,037	0,000	0,008
Silicio	0,100	0,600	0,020	0,050

Tabla A15. Composición del acero según AREMA 2007. [41]

Manganeso		Níquel	Cromo	Molibdeno	Vanadio
% en peso					
Mínimo	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo
0,60	0,79	0,25	0,50	0,10	0,03
1,11	1,25	0,25	0,25	0,10	0,05

Tabla A16. Manganeso y elementos residuales. [41]

Tipo de riel	Dureza Brinell, HB	
	Mínimo	Máximo
Rieles normales	300	-
Rieles de alta resistencia*	341	388

Tabla A17. Dureza superficial de los rieles. [41]

Concepto	Normal	Alta resistencia
Límite de fluencia, kg/cm ² mínimo	4920	7730
Límite de ruptura a la tracción, kg/cm ² mínimo	9840	11950
Alargamiento en 50 mm, % mínimo	9	10

Tabla A18. Resistencia mecánica de los rieles. [41]

Peso específico medio	7,84 T/m ³
Coefficiente de dilatación	1,05x10 ⁵
Módulo de elasticidad del acero	2x10 ⁶ Kg/cm ²

Tabla A19. Otras características. [41]

Anexo n°15 Resumen de cubicación.

Elementos	Trazados		
	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Traviesas (U)	82188	85188	84854
balasto (m ³)	35496,45	36805,23	36659,93
Sub balasto (m ³)	53273,12	55237,304	55019,06
Capa de forma (m ³)	84725,9	87849,75	87502,65
Rieles (T)	5606,55	5811,21	5788,47
Cierre perimetral (ml)	48820	50620	50420
Disco pare (U)	34	46	46
Cruz San Andrés (U)	34	46	46
Luz (U)	18	18	18
Sirena (U)	9	9	9
Barrera automatica (U)	18	18	18
Postes (U)	489	507	505

Tabla A20. Cubicación de elementos para las tres alternativas de trazado.

Anexo n°16 Identificación de los principales componentes ambientales.

La identificación se realizará por el método cualitativo en base a la intensidad del impacto (magnitud o grado de destrucción), siendo esta una clasificación subjetiva pero no arbitraria. [31]

Los criterios de esta evaluación son:

- Notable: Cuando el efecto se manifiesta como una modificación del medio ambiente, de los recursos o de sus procesos fundamentales, que produzca o pueda producir en el futuro repercusiones apreciables en los mismos.
- Mínimo: Cuando no es notable.

Y se dispondrá de una escala entre los criterios mínimo y notable que serán “bajo, medio, alto y muy alto”.

Aspecto	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Calidad del aire			
Emisión de partículas por las faenas constructivas	Alto	Alto	Alto
Emisión de partículas por las maquinarias	Alto	Muy Alto	Muy Alto
Emisión de partículas por la circulación de trenes	Bajo	Medio	Medio
Calidad acústica			
Inmisión acústica por las faenas	Alto	Alto	Alto
Inmisión acústica por las maquinarias	Alto	Muy Alto	Muy Alto
Inmisión acústica por la circulación de trenes	Medio	Medio	Medio
Geomorfología			
Inestabilidad de laderas	Medio	Medio	Medio
Modificación del relieve	Medio	Alto	Alto
Erosión	Medio	Medio	Medio
Inestabilidad por maquinaria	Medio	Medio	Medio
Vibraciones por paso de trenes	Medio	Medio	Medio
Suelos			
Contaminación de suelos	Bajo	Alto	Alto

Perdida de terrenos fértiles	Nula	Alta	Alta
Modificación topográfica	Bajo	Alta	Alta
Eliminación de la vegetación	Bajo	Muy Alto	Muy Alto
Hidrología			
Modificación de ríos o cauces	Nulo	Nulo	Nulo
Contaminación hidrológica	Bajo	Bajo	Bajo
Flora			
Desforestación	Bajo	Alto	Alto
Destrucción de especies	Medio	Alto	Alto
Replantación	Medio	Alto	Alto
Fauna			
Destrucción de fauna	Medio	Medio	Medio
Modificación de regímenes	Medio	Alto	Alto
Obstrucción de paso	Alto	Muy Alto	Muy Alto
Paisaje			
Deterioro del paisaje	Medio	Alto	Alto
Paso de los vehículos	Medio	Alto	Alto
Medio socioeconómico y social			
Alteración de la calidad de vida	Medio	Medio	Medio
Alteración de las actividades económicas	Alto	Alto	Alto
Alteración de las actividades productivas	Alto	Alto	Alto

Tabla A21. Evaluación de cada alternativa y sus componentes ambientales.

Anexo n°17 Resumen de presupuesto elementos vía.

Presupuesto opción 1.

Opción 1						
Item	Unidad	Cantidad	Costo unitario CLP	Costo unitario €	Costo total CLP	Costo total €
Traviesas	nro	82188	\$ 65.000,00	€ 70,65	\$ 5.342.220.000,00	€ 5.806.760,87
balasto	m ³	35496,45	\$ 30.000,00	€ 32,61	\$ 1.064.893.500,00	€ 1.157.492,93
Sub balasto	m ³	53273,12	\$ 29.000,00	€ 31,52	\$ 1.544.920.480,00	€ 1.679.261,39
Capa de forma	m ³	84725,9	\$ 25.000,00	€ 27,17	\$ 2.118.147.500,00	€ 2.302.334,24
Rieles	ton	5606,55	\$ 700.000,00	€ 760,87	\$ 3.924.585.000,00	€ 4.265.853,26
Cierre perimetral	ml	48820	\$ 7.500,00	€ 8,15	\$ 366.150.000,00	€ 397.989,13
Disco pare	nro	34	\$ 30.000,00	€ 32,61	\$ 1.020.000,00	€ 1.108,70
Cruz San Andrés	nro	34	\$ 30.000,00	€ 32,61	\$ 1.020.000,00	€ 1.108,70
Postes	nro	489	\$ 450.000,00	€ 489,13	\$ 220.050.000,00	€ 239.184,78
Total					\$ 14.583.006.480,00	€ 15.851.094,00

Tabla A22: Costos elementos opción 1.

Presupuesto opción 2.

Opción 2						
Item	Unidad	Cantidad	Costo unitario CLP	Costo unitario €	Costo total CLP	Costo total €
Traviesas	nro	85188	\$ 65.000,00	€ 70,65	\$ 5.537.220.000,00	€ 6.018.717,39
balasto	m ³	36805,23	\$ 30.000,00	€ 32,61	\$ 1.104.156.900,00	€ 1.200.170,54
Sub balasto	m ³	55237,304	\$ 29.000,00	€ 31,52	\$ 1.601.881.816,00	€ 1.741.175,89
Capa de forma	m ³	87849,75	\$ 25.000,00	€ 27,17	\$ 2.196.243.750,00	€ 2.387.221,47
Rieles	ton	5811,21	\$ 700.000,00	€ 760,87	\$ 4.067.847.000,00	€ 4.421.572,83
Cierre perimetral	ml	50620	\$ 7.500,00	€ 8,15	\$ 379.650.000,00	€ 412.663,04
Disco pare	nro	46	\$ 30.000,00	€ 32,61	\$ 1.380.000,00	€ 1.500,00
Cruz San Andrés	nro	46	\$ 30.000,00	€ 32,61	\$ 1.380.000,00	€ 1.500,00
Postes	nro	507	\$ 450.000,00	€ 489,13	\$ 228.150.000,00	€ 247.989,13
Total					\$ 15.117.909.466,00	€ 16.432.510,29

Tabla A23: Costos elementos opción 2.

Presupuesto opción 3.

Opción 3						
Item	Unidad	Cantidad	Costo unitario CLP	Costo unitario €	Costo total CLP	Costo total €
Traviesas	nro	84854	\$ 65.000,00	€ 70,65	\$ 5.515.510.000,00	€ 5.995.119,57
balasto	m ³	36659,93	\$ 30.000,00	€ 32,61	\$ 1.099.797.900,00	€ 1.195.432,50
Sub balasto	m ³	55019,06	\$ 29.000,00	€ 31,52	\$ 1.595.552.740,00	€ 1.734.296,46
Capa de forma	m ³	87502,65	\$ 25.000,00	€ 27,17	\$ 2.187.566.250,00	€ 2.377.789,40
Rieles	ton	5788,47	\$ 700.000,00	€ 760,87	\$ 4.051.929.000,00	€ 4.404.270,65
Cierre perimetral	ml	50420	\$ 7.500,00	€ 8,15	\$ 378.150.000,00	€ 411.032,61
Disco pare	nro	46	\$ 30.000,00	€ 32,61	\$ 1.380.000,00	€ 1.500,00
Cruz San Andrés	nro	46	\$ 30.000,00	€ 32,61	\$ 1.380.000,00	€ 1.500,00
Postes	nro	505	\$ 450.000,00	€ 489,13	\$ 227.250.000,00	€ 247.010,87
Total					\$ 15.058.515.890,00	€ 16.367.952,05

Tabla A24: Costos elementos opción 3.

REFERENCIAS

- [1] Historia de la Empresa de ferrocarriles del Estado y sus características. Extraído de http://www.efe.cl/descargas/empresa/documentos/Libro_EFE.pdf
- [2] Historia de Ferronor y sus características. Extraído de <http://www.ferronor.cl/>
- [3] Historia de Fepasa y sus características. Extraído de <https://www.fepasa.cl/documentos/Reporte%20Integrado%20FEPASA%202018.pdf>
- [4] Historia de Transap y sus características. Extraído de <https://es.wikipedia.org/wiki/Transap>
- [5] Plan Trienal de nuevos proyectos para el ferrocarril en Chile. Extraído de <https://www.latercera.com/noticia/plan-maestro-de-la-empresa-de-ferrocarriles/>
- [6] Memorial Anual EFE 2018, datos de la red existente. Documento extraído de los archivos de EFE
- [7] Características Ferrocarril Tacna-Arica. Extraído de <https://andina.pe/agencia/noticia-el-ferrocarril-tacna-arica-reinicio-esta-manana-su-servicio-regular-614525.aspx>.
- [8] Características Ferrocarril La Serena-Rivadavia. Extraído de http://www.diarioeldia.cl/?option=com_content&task=view&id=9122&Itemid=170
- [9] Características Ferrocarril Los Andes-Mendoza. Extraído de Historia del Ferrocarril en Chile, Alliende, María Piedad
- [10] Características Ferrocarril Santiago-Cartagena. Extraído de Transporte y ferrocarriles: el Valle del Maipo durante la construcción de la línea de Santiago a Melipilla, Jaime Rosenblitt B.
- [11] Ramales del Ferrocarril Chileno. Extraído de Los Ferrocarriles de Chile - Volumen 4 Chile Central
- [12] Historia de ramales olvidados de Chile. Extraído de www.amigosdeltren.cl
- [13] León Donoso, Víctor Manuel (2017). La decadencia del ferrocarril en la red centro sur de Chile (1950-1990). Extraído de <https://interesuelasmardelplata.files.wordpress.com/2017/09/76-donoso.pdf>
- [14] Instituto de Estadísticas de Chile, Datos del Censo 2017. Extraído de <http://resultados.censo2017.cl>
- [15] Clima mediterráneo Climatology of the United States No. 20 (1971–2000) - Los Angeles Downtown USC, CA.
- [16] Información económica de las comunas. Extraído de www.datachile.io

[17] Licitación ingeniería básica avanzada de las obras civiles y sistemas ferroviarios para la extensión de metro Valparaíso a Quillota y La Calera. Extraído de <http://www.efe.cl/licitaciones/ingenieria-basica-avanzada-de-las-obras-civiles-y-sistemas-ferroviarios-para-la-extension-de-metro-valparaiso-a-quillota-y-la-calera/detalle>

[18] Bases técnicas de suministro de rieles, Grupo EFE, 2015. Detalla el tipo de riel a adquirir para sus diferentes servicios del país.

[19] Características material rodante. Extraído de <http://vicsig.net/suburban/train/X'Trapolis>

[20] Habilitación Tren de Pasajeros entre Limache y Quillota, CIS Asociados Consultores en Transporte Ltda. Extraído de <http://www.sectra.gob.cl/biblioteca/detalle1.asp?mfn=2819>

[21] Crecimiento del parque automotriz en Chile. www.cooperativa.cl/noticias/economia/crecimiento/chile/parque-automotriz-de-chile-crecio-casi-siete-por-ciento-por-ciento-en-2008/2009-06-01/180127.html

[22] Análisis de costos de transporte por Steer Davies Gleave para la Subsecretaria de transporte de Chile. Extraído de <http://www.subtrans.cl/subtrans/doc/Informefinalcorregido.pdf>

[23] El proceso de análisis jerárquico (ahp) y la toma de decisiones multicriterio. Extraído de <https://www.geogra.uah.es/joaquin/ppt/Evaluacion-multicriterio.pdf>

[24] Carta de Philippi 1853, "Iniciados los trabajos en Caldera en los primeros días del mes de Marzo de 1850, el 4 de Julio de 1851 se inauguraba la línea hasta Monte-Amargo; y el 25 de Diciembre de 1851 corrió el primer tren entre Caldera y Copiapó, entregándose la línea al servicio público desde Enero de 1852 con una extensión de 81 kilómetros (50 millas.) Extraído de <https://www.geovirtual2.cl/Museovirtual/FFCC/Ferrocarril-Atacama-Copiapo-Caldera-intro.htm>

[25] Memoria sobre los ferrocarriles de Chile presentada al supremos Gobierno Chileno por Agustín Ross; Enviado extraordinario y ministro plenipotenciario de la República en la Gran Bretaña. París 1892. Extraído de <http://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-92024.html>

[26] Memorial Anual MERVAL 2018, información del servicio. Documento extraído de los archivos de MERVAL.

[27] Estaciones servicio Metro de Valparaíso. Extraído de www.metrovalparaiso.cl

[28] Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process. Extraído de <http://www.rac.es/ficheros/doc/00576.PDF>

- [29] (Deckart, K.; Hervé, F.; Fanning, C.; Ramírez, V.; Calderón, M.; Godoy, E. 2013, U-Pb Geochronology and Hf-O Isotopes of zircons from the Pennsylvanian Coastal Batholith, South-Central Chile. *Andean Geology*).
- [30] Memorial anual 2017 TrenCentral. Extraído de www.trencentral.cl
- [31] Métodos de Evaluación de impacto ambiental, presentaciones extraídas del curso de Impacto Ambiental UNICAN.
- [32] Sismicidad en Chile y datos de placas. Extraído de http://www.csn.uchile.cl/wp-content/uploads/2014/06/001_terremotos_y_sismicidad_chile.pdf
- [33] Mapa de los servicios de transporte urbano. Extraído de www.moovit.com
- [34] La historia con mapas de Chile. Extraído de www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-545983.html
- [35] Las grandes regiones naturales de Chile. Extraído de www.portaleducativo.net/
- [36] Incendio estación San Pedro. Extraído de www.cooperativa.cl/noticias/pais/policial/incendios/incendio-destruyo-historica-estacion-de-trenes-de-quillota/2017-07-09/121537.html.
- [37] Fotografías de las antiguas estaciones de Quillota. Extraído de Burgos, G. (2007). *Ferrocarril de Valparaíso a Santiago*.
- [38] Imágenes satelitales de Chile. Extraído de <http://www.geoportal.cl/visorgeoportal>
- [39] Mapa geológico SERNAGEOMIN. Extraído de <http://www.ipgp.fr/~dechabal/Geol-millon.pdf>
- [40] Aspectos geotécnicos de un camino. Extraído de docencia Caminos 1 Ingeniería en Construcción PUCV Chile.
- [41] Manual for Railway Engineering AREMA, USA, 2000.
- [42] Norma técnica construcción de la línea férrea EFE Chile NT-01-01-01.
- [43] Norma de Seguridad para Vías Férreas EFE-NSF-11-001.
- [44] UIC CODE 719R, 3° edition february 2008.
- [45] N.R.V. 3-4-1.0 Cálculo de infraestructura y dimensionamiento.
- [46] Construcción de la Vía EFE-NTF-11-003.
- [47] Recomendaciones de diseño para proyectos de infraestructura ferroviaria. Extraído de Red EFE MIDEPLAN.
- [48] Norma de Seguridad para Cruces a Nivel EFE-NSF-51-001.

- [49] Cierre perimetral de malla. Extraído de www.acmanet.cl
- [50] Los Ferrocarriles de Chile - Volumen 4 Chile Central.
- [51] Clima de las ciudades en Chile. Extraído de www.accuweather.com
- [52] Imágenes recopiladas de un video aficionado que recorrió el trayecto del túnel. Extraído de <https://www.youtube.com/watch?v=MG5hTwnxlc>
- [53] Ley General de Ferrocarriles. D.S. N°1.157, 1931. Ministerio de Fomento.
- [54] Ley Orgánica de la Empresa de Ferrocarriles del Estado. D.F.L. N°1, 1993. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.
- [55] Reglamento de los Servicios Nacionales de Transporte Público de Pasajeros. D.S. N°212, 1992.
- [56] Elaboración de Guía Metodológica para la Evaluación de Impacto Ambiental en Proyectos Terminales de Buses, Camiones y Ferrocarriles, Vías Férreas, Trenes Metropolitanos y Estaciones de Servicio. AMBAR.
- [57] Guías metodológicas para la elaboración de estudios de impacto ambiental. Carreteras y ferrocarriles. MOPT, España.