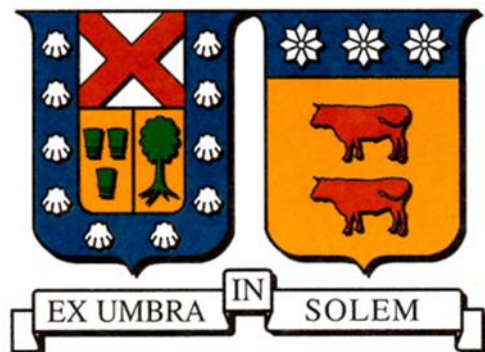




UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE CONCEPCIÓN

“REY BALDUINO DE BELGICA”

**"Análisis Comparativo de Soluciones Constructivas para el Cruce
Ferroviario Desiderio Sanhueza ".**

Montserrat Alejandra San Martín Soto

2024

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARIA

SEDE CONCEPCIÓN

“REY BALDUINO DE BELGICA “

**“ANALISIS COMPARATIVO DE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA EL
CRUCE FERROVIARIO DESIDERIO SANHUEZA. “**

**TRABAJO PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CONSTRUCTOR**

Alumna: Monserrat Alejandra San Martín Soto.

Profesor Guía: Sergio Rodrigo Monroy Morales.

INDICE

INTRODUCCIÓN GENERAL.....	7
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	8
Gráfico 1.1: Incremento de sucesos en el paso a nivel Desiderio Sanhueza, Región VIII.	8
Gráfico 1.2: Información con mayor incidencia representada en porcentajes.	9
Gráfico 1.3: Comparación de incidencias AM – PM en los tres años analizados.....	10
Gráfico 1.4: Comparación de los horarios de incidencias AM – PM en los tres años analizados.....	10
Figura 1: Registro de barrera atropellada.	11
Figura 2: Registro de inseguridad vial el conductor se ubica muy cerca de la barrera cuando esta se encuentra abajo, provocando un falso error.	12
Gráfico 1.5: Registro de incidencias con mayor frecuencia según días.	13
JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	14
OBJETIVO GENERAL	15
OBJETIVOS ESPECIFICOS	15
METODOLOGIA DE TRABAJO	16
MARCO TEÓRICO	17
Figura 3: Cruce Ferroviario a Nivel	17
Figura 4: Guarda cruzada	18
Figura 5: Señalización Ferroviaria	19
Figura 6: Seguridad Vial	20
Figura 7: Puente paso a desnivel.....	21
Figura 8: Soterramiento Vehicular	22
MARCO NORMATIVO.....	23
CAPÍTULO 1: IDENTIFICAR LOS FACTORES Y CAUSAS, QUE GENERAN UNA INSEGURIDAD VIAL EN EL CRUCE FERROVIARIO DESIDERIO SANHUEZA CORRESPONDIENTE A LA LÍNEA L1 DEL BIOTRÉN CONCEPCIÓN – TALCAHUANO Y DE LA LÍNEA L2 CONCEPCIÓN – CORONEL.....	24

1.1 INTRODUCCIÓN.....	25
1.1.1 CATEGORIZACIÓN DE INCIDENTES	25
Gráfico 1.6: Representación Gráfica de categorización de registro de Incidencias.....	27
1.2 IDENTIFICACIÓN DE COMPORTAMIENTO DE CONDUCTORES.....	28
Figura 9: Inseguridad Vial vehículos cruzan con las barreras abajo por acercamiento del tren	28
Figura 10: Representación del ángulo en la intersección del cruce Desiderio Sanhueza	29
Figura 11: Inseguridad Vial el vehículo se encuentra ubicado entre la faja vía con las barreras abajo.	29
1.3 OBSERVACIÓN Y ANALISIS DE LA INFRAESTRUCTURA ACTUAL	30
Figura 12: Intersección Cruce Ferroviario Desiderio Sanhueza con Av. Padre Alberto Hurtado y Av. Manuel Montt.	30
Figura 13: Perfil longitudinal desde Av. Desiderio Sanhueza hacia Av. Padre Alberto Hurtado.	31
Figura 14: Cortes Perfil longitudinal desde Av. Desiderio Sanhueza hacia Av. Padre Alberto Hurtado.	32
Tabla 1: Distancia acumulada y cotas de perfil longitudinal	33
Tabla 2: Muestreo topográfico cruce ferroviario Desiderio Sanhueza.....	34
1.4 ANALISIS DE FACTORES TÉCNICOS	35
Tabla 3: Registro línea L2 Concepción – Coronel / Coronel – Concepción	36
Tabla 4: Registro línea L1 Concepción – Talcahuano / Talcahuano – Concepción	37
Tabla 5: Registro línea L2 Concepción - Coronel / Coronel – Concepción.....	38
Tabla 6: Registro línea L1 Concepción – Talcahuano / Talcahuano – Concepción	39
Tabla 7: Registro línea L2 Concepción – Coronel / Coronel – Concepción	39
Tabla 8: Registro línea L1 Concepción – Talcahuano / Talcahuano – Concepción	40
1.5 FACTORES EXTERNOS	41
1.5.1 FLUJO DE TRÁNSITO MEDIO DIARIO (TMDA).....	41
1.5.2 IMPACTO AMBIENTAL: CONSUMO Y EMISIONES	48
Tabla 9: Cálculo de Impacto Ambiental por detención de cada vehículo	48

1.6 FACTORES Y CAUSAS IDENTIFICADAS.....	49
1.6.1 Método ISHIKAWA.....	49
Figura 15: Diagrama de ISHIKAWA	51
1.6.2 Método 5 ¿Por qué?	52
Figura 16: Diagrama de los 5 ¿Por qué?	54
1.7 CONCLUSIÓN	55
 CAPÍTULO 2: DESARROLLAR ALTERNATIVAS DE SOLUCIONES PARA EL	
CRUCE FERROVIARIO DESIDERIO SANHUEZA DE LA LÍNEA L1 DEL BIOTRÉN	
CONCEPCIÓN – TALCAHUANO Y DE LA LÍNEA L2 CONCEPCIÓN – CORONEL,	
PARA DISMINUIR EL INDICE DE ATROPELLOS DEL CRUCE FERROVIARIO.....	
56	
2.1 INTRODUCCIÓN.....	57
2.1.1 REVISIÓN DE CAUSAS DE ATROPELLOS Y PROBLEMAS	
IDENTIFICADOS.	57
2.2 ESTUDIO DE SOLUCIONES APLICADAS EN CRUCES FERROVIARIOS	
SIMILARES.....	59
Figura 17: Esquema Solución Constructiva Implementada en Cruce Santa Sofía	59
2.3 IDENTIFICACIÓN DE ANÁLISIS DE POSIBLES ALTERNATIVAS DE	
SOLUCIÓN	60
2.4.1 Criterios de Evaluación:	60
2.4 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....	61
2.4.1 Puente a desnivel Método muros TEM con vigas prefabricadas.	61
Figura 18: Ejemplificación de Muro TEM, proyecto Arauco.	62
Figura 19: Foto Montaje Puente a Desnivel Cruce Desiderio Sanhueza	66
Figura 20: Foto Montaje Puente a Desnivel Cruce Desiderio Sanhueza	66
Figura 21: Foto Montaje Puente a Desnivel Cruce Desiderio Sanhueza	67
Figura 22: Foto Montaje Puente a Desnivel Cruce Desiderio Sanhueza	67
2.4.2 Soterramiento del Cruce Vehicular; Método Túnel Excavado con Tuneladora....	68
Figura 23: Ejemplificación de túnel con Tuneladora TBM.....	68
Figura 24: Foto Montaje de Soterramiento Cruce Ferroviario Desiderio Sanhueza.....	72
Figura 25: Foto Montaje de Soterramiento Cruce Ferroviario Desiderio Sanhueza.....	72
Figura 26: Foto Montaje de Soterramiento Cruce Ferroviario Desiderio Sanhueza.....	73

Figura 27: Foto Montaje de Soterramiento Cruce Ferroviario Desiderio Sanhueza.....	73
Figura 28: Ensayo de mecánica de Suelo.....	74
Figura 29: Ensayo de mecánica de Suelo.....	75
2.4.4 Cuadro Comparativo Técnico de Soluciones Constructivas.....	76
Tabla 10: Cuadro comparativo de Soluciones Constructivas.....	78
2.5 CONCLUSIÓN	79
CAPÍTULO 3: ANALIZAR LAS ALTERNATIVAS EN TÉRMINOS DE COSTO Y	
TIEMPO DE EJECUCIÓN DEL CRUCE FERROVIARIO DESIDERIO SANHUEZA. .	80
3.1 INTRODUCCIÓN	81
3.2 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN	82
3.2.1 Análisis de Costos:.....	82
Figura 28: Presupuesto globalizado Puente a Desnivel Muros TEM.....	84
Figura 29: Presupuesto globalizado Soterramiento Tuneladora TBM	86
3.2.2 Comparación de Costos Totales	87
Tabla 11: Cuadro comparativo de Costos de Soluciones Constructivas	87
3.2.3 Análisis de Tiempos de Ejecución	88
Figura 30: Carta Gantt Puente a Desnivel Muros TEM.....	88
Figura 31: Carta Gantt Soterramiento Tuneladora TBM	89
Figura 32: Cuadro comparativo de ejecución de tiempos	90
3.3 EVALUACIÓN COMPARATIVA GLOBAL	91
Figura 33: Cuadro de comparativa Global	91
3.3.1 Relación Costo-Beneficio	91
3.4 CONCLUSIÓN	92
CONCLUSIÓN GENERAL	93
BIBLIOGRAFIA.....	94
LINKOGRAFÍA.....	95

INTRODUCCIÓN GENERAL

El transporte ferroviario desempeña un papel crucial en el desarrollo urbano y la movilidad de las comunidades. En la Región del Bio-Bio, el Biotrén opera aproximadamente 43 cruces ferroviarios, interconectados con cruces vehiculares, garantizando un funcionamiento eficiente y seguro. Uno de estos cruces, el paso a nivel Desiderio Sanhueza, el cual será el principal objeto de estudio para mejoras futuras. Este cruce ferroviario se destaca por su ubicación estratégica cerca de la estación principal Concepción, precisamente entre la intersección de la Avenida Padre Alberto Hurtado y Manuel Montt. Conectando vitalmente en el tránsito del tren a las rutas provenientes y de egreso de Coronel por vía 2 y Talcahuano por vía 1. Asimismo, este cruce se conecta con la avenida Costanera, mejorando la conectividad del tráfico vehicular.

Sin embargo, este cruce, caracterizado por un alto tránsito de vehículos y trenes de pasajeros, ha sido escenario de un creciente número de atropellos y fallos en sus barreras, lo que ha generado retrasos en el paso del tren, como una saturación del tráfico vehicular en los semáforos adyacentes. Esta situación ha incrementado la inseguridad vial tanto para el tránsito ferroviario como para la circulación vehicular.

Con el tren estableciéndose en una alternativa preferida para la comunidad, debido a su capacidad para reducir la congestión vehicular y su menor impacto ambiental, resulta imperativo abordar los problemas que afectan este cruce.

El presente trabajo de título se centrará en analizar y comparar soluciones viables para el cruce ferroviario Desiderio Sanhueza, considerando alternativas tanto técnicas como económicas, que mejoren la seguridad vial y optimicen el flujo del Biotrén. Teniendo el potencial de garantizar un acceso más eficiente a la estación, y contribuyendo a la mejora continua para la comunidad y el desarrollo sostenible de la región, beneficiando así al entorno en conjunto.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El presente trabajo aborda la problemática de seguridad vial en el cruce ferroviario Desiderio Sanhueza, ubicado en la intersección de la Avenida Padre Alberto Hurtado y Manuel Montt, en la comuna de Concepción. Este cruce es un punto de conexión crítico para las líneas ferroviarias L1 y L2 del Biotrén Concepción, que unen la ciudad con Talcahuano y Coronel, respectivamente.

Entre los años 2022 y 2024, se ha registrado un aumento considerable en los incidentes de inseguridad vial en este cruce, acumulando un total de 110 eventos reportados Tal como se muestra en el Grafico 1.1 Incremento de sucesos en el paso a nivel Desiderio Sanhueza, Región VIII y Grafico 1.2 . A pesar de contar con infraestructura de seguridad como barreras automatizadas, señalización, campanas de advertencia sonora y la presencia de un guarda cruzada que asegura el cierre de barreras durante el paso del tren, los incidentes en el área han seguido en aumento. Esta situación evidencia la fragilidad de las medidas de seguridad actuales y plantea interrogantes sobre la efectividad de los mecanismos implementados para proteger a conductores y peatones en las cercanías del cruce.



Gráfico 1.1: Incremento de sucesos en el paso a nivel Desiderio Sanhueza, Región VIII.

Fuente: Elaboración propia con información de planilla CCYC, entregada por EFE.



Gráfico 1.2: Información con mayor incidencia representada en porcentajes.

Fuente: Elaboración propia con información de planilla CCYC, entregada por EFE

El aumento en los incidentes es particularmente notable en el horario vespertino (de 14:00 a 21:00 horas), cuando se registra el mayor flujo ferroviario y vehicular en el cruce. Esta coincidencia sugiere una relación directa entre el volumen de tránsito en estas horas y la frecuencia de los sucesos.

De forma similar, el período matutino (AM) también presenta una incidencia significativa, especialmente en el intervalo de 07:00 a 09:00 horas, debido a la alta demanda de usuarios del sistema ferroviario y al uso intensivo del cruce por vehículos.

La convergencia de ambas necesidades de tránsito en un mismo espacio crítico incrementa notablemente la probabilidad de incidentes, ya que la infraestructura debe gestionar simultáneamente el tráfico ferroviario y vehicular en horarios de gran afluencia, lo cual eleva los riesgos de fallos y accidentes en el cruce.

A continuación, el Gráfico 1.3 muestra los detalles de los horarios de incidencia en estos períodos para el mismo intervalo temporal. Mientras que el Gráfico 1.4 presenta una comparación de las incidencias en los períodos AM y PM a lo largo de los tres años analizados.

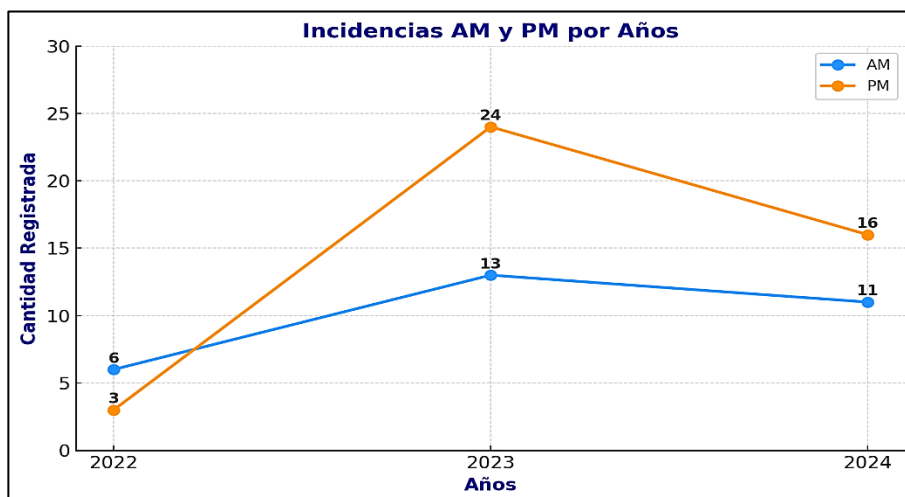


Gráfico 1.3: Comparación de incidencias AM – PM en los tres años analizados.

Fuente: Elaboración propia con información extraída de planilla CCYC, entregada por EFE.

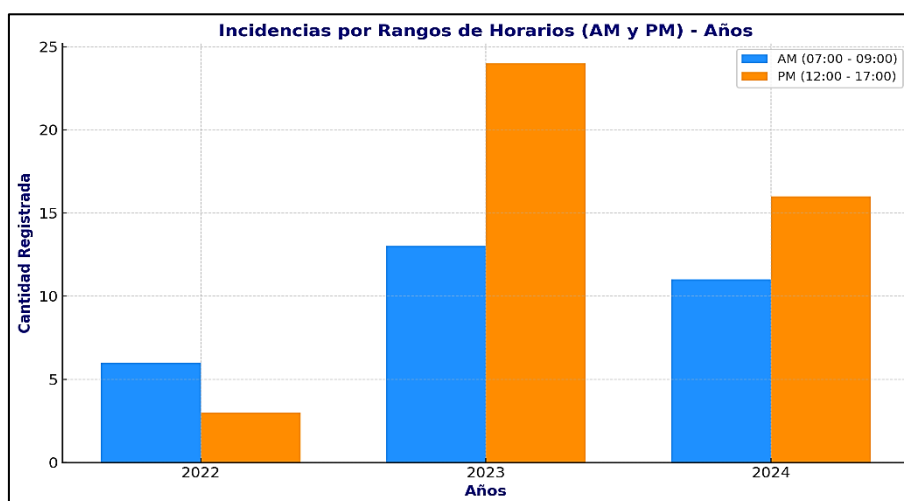


Gráfico 1.4: Comparación de los horarios de incidencias AM – PM en los tres años analizados.

Fuente: Elaboración propia con información extraída de planilla CCYC, entregada por EFE.

Los eventos pueden clasificarse en tres categorías principales, cada una con sus propias implicaciones para la seguridad y operación del cruce:

- **Averías del sistema:** Estas fallas están relacionadas con el mal funcionamiento de componentes críticos de la infraestructura, como problemas en la señalización, barreras defectuosas o errores en el enclavamiento, que afectan la fiabilidad del sistema y aumentan el riesgo de accidentes.
- **Daños ocasionados por terceros:** En esta categoría se incluyen sucesos provocados por factores externos, tales como colisiones de vehículos contra las barreras, vandalismo e infracciones de las normas de tránsito por parte de conductores, lo que subraya la necesidad de una mayor concientización y cumplimiento de las normas viales en el área. Tal como se muestra en la Figura 1.



Figura 1: Registro de barrera atropellada.

Fuente: Elaboración propia, extraída de registros ENYSE.

- **Reportes sin intervención:** En algunos casos, se reportan fallos en el cruce que no se logran verificar al momento de la inspección, lo cual sugiere que ciertos problemas pueden estar relacionados con obstrucciones temporales de las vías o barreras, sin un mal funcionamiento real del sistema. Tal como se muestra en la Figura 2.



Figura 2: Registro de inseguridad vial el conductor se ubica muy cerca de la barrera cuando esta se encuentra abajo, provocando un falso error.

Fuente: Elaboración propia

Estos tres tipos de incidentes pone en evidencia la complejidad de los factores que afectan la seguridad en el cruce ferroviario Desiderio Sanhueza y resalta la urgencia de evaluar una mejora vial de este. Con el propósito de mejorar el flujo ferroviario y vehicular en una intersección de alta relevancia para la movilidad en la Región del Biobío

Cada incidente registrado en el cruce ferroviario Desiderio Sanhueza genera un retraso significativo de entre 15 y 20 minutos en la circulación de trenes tanto en la Línea L1 (hacia Talcahuano) como en la Línea L2 (hacia Coronel). Estos atrasos se deben a la necesidad de que el controlador de tráfico elabore un formulario de salida antes de permitir que el tren salga de la estación Concepción hacia su destino. Este procedimiento adicional, aunque necesario para garantizar la seguridad, añade complejidad y riesgos al sistema ferroviario.

La elaboración del formulario de salida implica una autorización manual para que el tren avance en circunstancias que normalmente requerirían una señal verde en el semáforo de la vía férrea. En este caso, el semáforo se mantiene en rojo debido a problemas en el cruce, ya sea por mal funcionamiento de las barreras o por daños ocasionados por terceros. Este protocolo extraordinario, aunque necesario, expone el sistema a posibles fallos de seguridad al permitir la circulación en condiciones no óptimas, lo cual puede afectar la integridad del flujo ferroviario.

El procedimiento se vuelve especialmente problemático ante la frecuencia de fallos, tal como se muestra en el Gráfico 1.5, que ilustra los días con mayor incidencia de sucesos en el cruce Desiderio Sanhueza. Estos fallos recurrentes afectan directamente la eficiencia del sistema de transporte, provocando una acumulación de retrasos que repercute en la puntualidad general de toda la red ferroviaria. La constante interrupción en la programación de los trenes genera un efecto en cadena, impactando no solo el cruce en cuestión, sino también el itinerario de los trenes en ambas direcciones y las conexiones posteriores, lo cual agrava el problema de puntualidad y afecta la calidad del servicio.

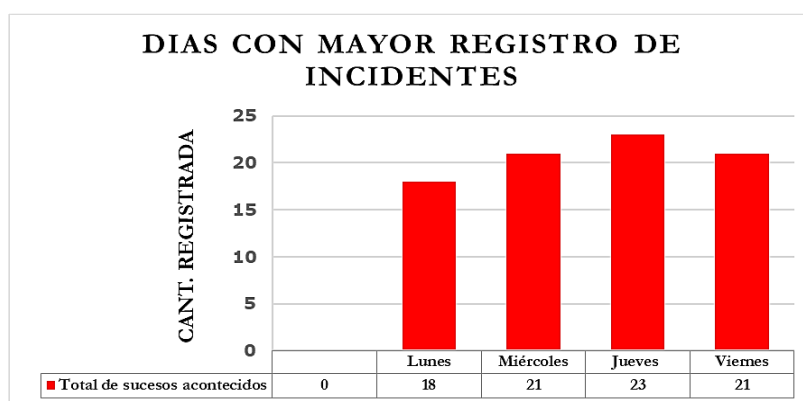


Gráfico 1.5: Registro de incidencias con mayor frecuencia según días.

Fuente: Elaboración propia con información extraída de planilla CCYC, entregada por EFE.

JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El aumento en el uso del transporte ferroviario y la creciente actividad vehicular y peatonal en el cruce ferroviario Desiderio Sanhueza ponen en necesidad de implementar soluciones de seguridad que protejan a los pasajeros, conductores y peatones, especialmente en las horas de mayor incidencia. A través de la formulación del problema se evidenció la urgencia de analizar y desarrollar opciones de mejora que mitiguen los riesgos y optimicen la seguridad vial en esta intersección, donde confluyen tanto la Línea L1 hacia Talcahuano como la Línea L2 hacia Coronel del sistema Biotrén.

Este trabajo se propone llevar a cabo un análisis comparativo de posibles soluciones, evaluando factores técnicos, económicos y el tiempo necesario para su implementación. Identificar la mejor alternativa contribuirá a reducir no solo los riesgos asociados al tránsito ferroviario, sino también los problemas de inseguridad vial que afectan a la comunidad de conductores y peatones. Además, se plantearán opciones que permitan que el tránsito ferroviario y vehicular funcionen de manera independiente, minimizando las intersecciones peligrosas entre trenes y vehículos en las calles Avenida Padre Alberto Hurtado y Manuel Montt.

La importancia de este análisis radica en encontrar una solución que no solo sea técnicamente viable, sino también accesible en términos de costos y rápida de implementar.

La implementación de soluciones adecuadas tiene el potencial de transformar este cruce ferroviario en un modelo de seguridad y eficiencia, que podría replicarse en otros cruces del sistema Biotrén. Mediante este análisis comparativo, se evaluarán opciones que, con base en estudios técnicos, económicos y de tiempos de desarrollo, ofrezcan una solución efectiva a los desafíos actuales de seguridad y flujo en el cruce ferroviario Desiderio Sanhueza.

OBJETIVO GENERAL

- Comparar técnica y económicamente soluciones para la mejora de la seguridad vial del cruce ferroviario Desiderio Sanhueza de la línea L1 del Biotrén Concepción – Talcahuano y de la línea L2 Concepción – Coronel.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar los factores y causas, que generan una inseguridad vial en el cruce ferroviario Desiderio Sanhueza correspondiente a la línea L1 del Biotrén Concepción – Talcahuano y de la línea L2 Concepción – Coronel.
- Desarrollar alternativas de soluciones para el cruce ferroviario Desiderio Sanhueza de la línea L1 del Biotrén Concepción – Talcahuano y de la línea L2 Concepción – Coronel, para disminuir el índice de atropellos del cruce ferroviario.
- Analizar las alternativas de solución en términos de costo y tiempo de ejecución del cruce ferroviario Desiderio Sanhueza.

METODOLOGIA DE TRABAJO

Para lograr el objetivo de este trabajo de título, se procederá a utilizar la siguiente metodología de trabajo:

1. Revisión bibliográfica del reglamento de tráfico ferroviario RTF 2017 y Manual de Carretera Volumen N°6: Seguridad Vial.

- Consultar normativas y estándares relacionados.

2. Evaluación de datos históricos

- Recopilar datos de accidentes ocurridos en el paso a nivel durante los últimos años (Fuentes: Controladores de tráfico)
- Identificar patrones en los datos (horarios, y días de mayor incidencia)

3. Investigación de alternativas de diseño

- Consultar a través de expertos en Ing. Civil – Arquitectos y transporte.
- Realizar un análisis comparativo de las alternativas considerando costos, beneficios y viabilidad técnica.
- Elaborar modelos preliminares o simulaciones de cada alternativa.

4. Propuestas de soluciones

- Recopilar los resultados de los estudios y análisis.
- Presentar las soluciones propuestas junto con justificaciones técnicas y económicas.

5. Entregar Conclusiones

MARCO TEÓRICO

Cruce Ferroviario a Nivel: Es aquella intersección, en un mismo plano, de una vía férrea y un camino, que puede o no tener asociado una segregación o paso peatonal.

(Reglamento de tráfico Ferroviario - RTF 2017)



Figura 3: Cruce Ferroviario a Nivel

Fuente: Elaboración Propia

Guarda cruzada: Trabajador habilitado que desarrolla funciones de vigilancia y protección de un cruce a nivel de ferrocarril, ejecutando la maniobra de cierre y apertura de barreras u otro medio de protección del cruce para la pasada segura de trenes.

(Reglamento de tráfico Ferroviario - RTF 2017)



Figura 4: Guarda cruzada

Fuente: Elaboración Propia

Señalización Ferroviaria: La señalización ferroviaria en Chile se refiere a un sistema de señales y dispositivos diseñados para regular y controlar el tránsito de trenes, garantizando su seguridad y eficiencia. Incluye señales luminosas, semáforos, y dispositivos acústicos, así como otros mecanismos que regulan el movimiento en las estaciones y los cruces ferroviarios. Estas señales permiten coordinar el tráfico y prevenir colisiones o incidentes al informar a los conductores sobre la disponibilidad de las vías y las condiciones para continuar o detener la marcha.

(Reglamento de tráfico Ferroviario 2017)

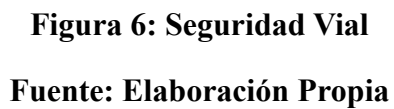


Figura 5: Señalización Ferroviaria

Fuente: Elaboración Propia

Formulario: Documento físico en papel o digital, en el que se realiza la impresión y se registran las OIS transmitidas entre los distintos trabajadores con funciones en la seguridad del tráfico ferroviario. (Reglamento de tráfico Ferroviario - RTF 2017)

(Comisión nacional de seguridad de tránsito – CONASEP)



Puente paso a desnivel: El puente sobre nivel es una estructura vial que permite el cruce de carreteras o vías ferroviarias a distintos niveles, evitando interferencias en el flujo de tránsito. Estos puentes, también conocidos como “puentes a desnivel”, se diseñan con el fin de mejorar la seguridad y la eficiencia del transporte.

(Manual de Carreteras; Volumen N°5)



Figura 7: Puente paso a desnivel

Fuente: Elaboración propia

Soterramiento Vehicular: El soterramiento vehicular se refiere al proceso de construir infraestructuras viales bajo tierra, como túneles o pasos subterráneos, con el fin de mejorar la fluidez del tráfico en áreas urbanas densas, reducir la contaminación visual y mejorar el uso del espacio en superficie. Esta técnica se emplea en proyectos urbanos para minimizar el impacto del tráfico en la superficie y facilitar la movilidad.

(Manual de Carreteras; Volumen N°3)



Figura 8: Soterramiento Vehicular

Fuente Elaboración Propia

MARCO NORMATIVO

Los marcos normativos que regirán en este trabajo de título serán los siguientes:

- ❖ **Norma Chilena NCH 433**
- ❖ **Capítulo N°2 Diseño Geométrico Subdirección de pavimentación y Obras Viales**
- ❖ **Manual de carreteras Volumen N°3: Instrucciones y Criterios de Diseño**
- ❖ **Manual de carreteras Volumen N°5: Especificaciones técnicas generales de la construcción**
- ❖ **Manual de carreteras Volumen N°6: Seguridad Vial**
- ❖ **Ordenanza General de urbanismo y construcciones (OGUC): Decreto exento N°47**
- ❖ **Ley de Bases del medio ambiente: Ley 19.300**

CAPÍTULO 1: IDENTIFICAR LOS FACTORES Y CAUSAS, QUE GENERAN UNA INSEGURIDAD VIAL EN EL CRUCE FERROVIARIO DESIDERIO SANHUEZA CORRESPONDIENTE A LA LÍNEA L1 DEL BIOTRÉN CONCEPCIÓN – TALCAHUANO Y DE LA LÍNEA L2 CONCEPCIÓN – CORONEL.

1.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se identificarán los factores y causas que han contribuido al incremento de la inseguridad vial en los últimos tres años, según lo analizado en la presente investigación. Este análisis permitirá señalar los puntos críticos, basándose en la información obtenida del Manual de Carreteras Volumen N°6, el Manual de Carreteras Volumen N°3 y los datos extraídos desde la planilla CCYC, desarrollada por personal de EFE de ferrocarriles del estado.

➤ RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE INCIDENTES

1.1.1 CATEGORIZACIÓN DE INCIDENTES

Para la categorización de los incidentes, se utilizó la planilla de CCYC correspondiente a EFE Sur, en la cual los registros se clasificaron en tres categorías: [Avería de Sistema](#), [Daño por Terceros](#) y [Sin Intervención](#).

La última categoría incluye aquellos sucesos que fueron reportados, pero al llegar los técnicos de mantenimiento al lugar, las barreras del cruce ferroviario Desiderio Sanhueza se encontraban íntegras o funcionando con normalidad. Esto suele ocurrir cuando los vehículos quedan posicionados bajo la barrera, impidiendo que esta complete su recorrido. Como consecuencia, el sistema CTC detecta un fallo en el cruce y lo reporta al controlador de tráfico, aunque en realidad no existe una avería física en el sistema.

Este procedimiento de categorización permite identificar con mayor precisión la naturaleza de cada incidente y orientar las acciones correctivas de manera más eficiente.

En primer lugar, el registro de [Avería de Sistema](#) se asocia con las incidencias presentadas en el cruce ferroviario Desiderio Sanhueza, tales como:

- [Falla de señalización](#): Cuando las señales luminosas o semáforos ferroviarios no operan de manera adecuada, ya sea por cortes eléctricos o cortes circuitos.
- [Mal funcionamiento de barreras](#): Estas se quedan pegadas abajo sin levantarse, ocurre mucho por una falsa ocupación de circuito de vía, eso se refiere cuando el sistema del cruce todavía reconoce un tren en la vía.

- **Errores de enclavamiento:** Situaciones en las que los sistemas automáticos no logran bloquear o liberar una vía en el momento oportuno, lo que puede provocar conflictos entre trenes en la misma ruta o bloqueos no deseados.
- **Fallas en el sistema de detección de trenes:** Estos sistemas informan al CTC sobre la ubicación y movimiento de los trenes. Un error puede generar reportes incorrectos de ocupación de vías o cruces, activando alarmas falsas y retrasando las operaciones del cruce ferroviario.

Donde de un total de 110 incidencias registradas durante los años 2022, 2023 y 2024, la categoría de Averías de Sistema acumula 32 registros. La incidencia más frecuente corresponde al mal funcionamiento de las barreras, provocado por la falsa ocupación de los pedales de aviso en la vía, seguida por los fallos asociados a la caída del enclavamiento.

En segundo lugar, se encuentra la categoría denominada **Daño por Terceros**, la cual agrupa todos los sucesos ocurridos en el cruce ferroviario Desiderio Sanhueza que son provocados por agentes externos, tales como:

- **Colisión de vehículos contra las barreras:** Ocurre cuando automovilistas impactan accidentalmente las barreras o mecanismos del cruce, dañando los sistemas que permiten su apertura y cierre automáticos.
- **Vandalismo:** El cruce puede ser objeto de actos de vandalismo, como la manipulación, destrucción o robo de componentes eléctricos o mecánicos, como cables, señales luminosas o mecanismos de las barreras.
- **Incumplimiento de normas de tránsito por los conductores:** Algunos vehículos cruzan de manera indebida sin respetar las señales de advertencia, ocasionando situaciones de riesgo que pueden provocar daños a las barreras o al sistema de señalización y lo más grave poniendo en riesgo su propia seguridad.

Esta categoría concentra la mayor cantidad de incidencias registradas durante los tres años analizados, con un total de 66 registros. Entre las causas más frecuentes destacan las colisiones de vehículos contra las barreras y el incumplimiento de las normas de tránsito por parte de los conductores. Además, se ha observado un aumento en los actos de vandalismo, junto con varios registros asociados al robo de componentes eléctricos de la vía, los cuales afectan directamente el funcionamiento del cruce ferroviario, como también retrasando las salidas del funcionamiento del tren.

Por último, se encuentra la categoría **Sin intervención**, con un total de 12 episodios registrados. Esta categoría se presenta cuando el controlador de tráfico reporta una falla en el cruce y la deriva al área de mantenimiento correspondiente. No obstante, al llegar al lugar, el personal encuentra que el cruce opera con normalidad. Esto suele deberse a:

- **Obstrucción de las vías o las barreras:** Los vehículos que quedan detenidos en medio del cruce impiden que las barreras se desplacen completamente, generando fallos en el sistema y activando falsas alarmas en el Control de Tráfico Centralizado (CTC).
- A continuación, en el gráfico 1.6 se muestra una representación gráfica de las categorías de incidentes, proporcionando una visión clara de su distribución y frecuencia:

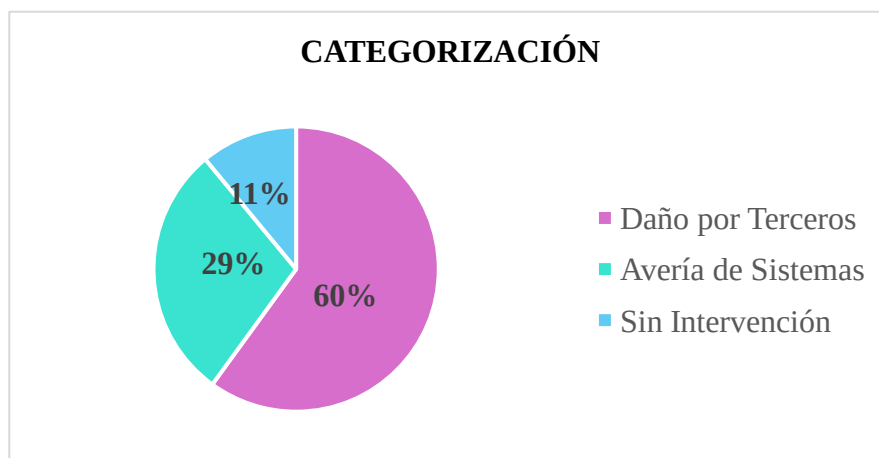


Gráfico 1.6: Representación Gráfica de categorización de registro de Incidencias.

Fuente: Elaboración propia con información extraída de planilla CCYC, entregada por EFE.

1.2 IDENTIFICACIÓN DE COMPORTAMIENTO DE CONDUCTORES

1.2.1 DESCRIPCIÓN DE INSEGURIDAD VIAL

“Se refiere a las condiciones o factores que incrementan la probabilidad de siniestros viales, es decir, accidentes que pueden causar daños a personas o bienes en la vía pública. Estos factores incluyen el mal diseño de las infraestructuras, el comportamiento imprudente de los usuarios de las vías (conductores, ciclistas, peatones), y la falta de cumplimiento de las normativas viales que buscan garantizar la seguridad de todos los actores en la vía.”

Ley de Tránsito N° 18.290



Figura 9: Inseguridad Vial vehículos cruzan con las barreras abajo por acercamiento del tren

Fuente: Elaboración Propia



Figura 10: Representación del ángulo en la intersección del cruce Desiderio Sanhueza

Fuente: Elaboración Propia



Figura 11: Inseguridad Vial el vehículo se encuentra ubicado entre la faja vía con las barreras abajo.

Fuente: Elaboración Propia

1.3 OBSERVACIÓN Y ANALISIS DE LA INFRAESTRUCTURA ACTUAL

1.3.1 Representación Gráfica Cruce Ferroviario Desiderio Sanhueza.

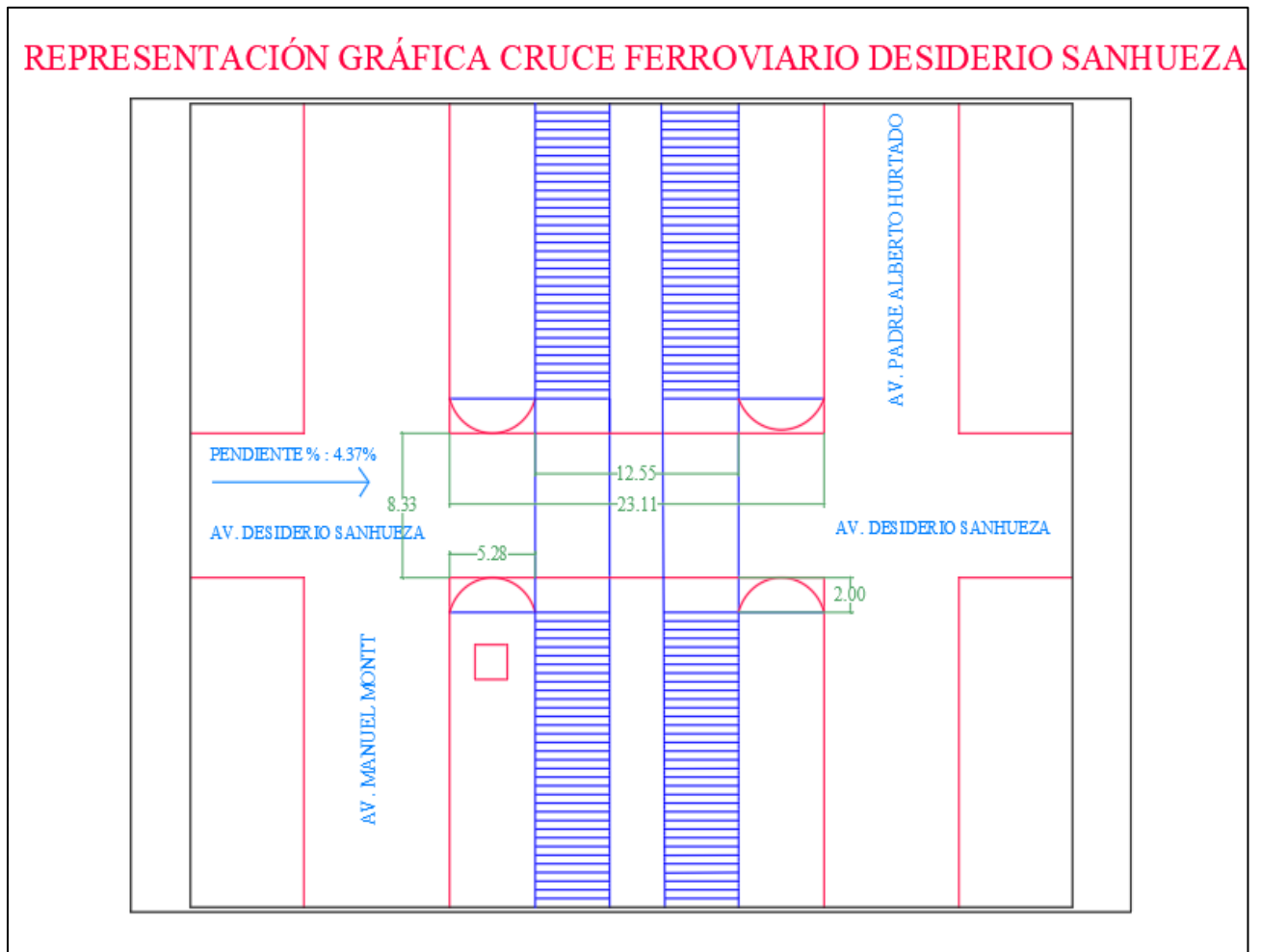


Figura 12: Intersección Cruce Ferroviario Desiderio Sanhueza con Av. Padre Alberto Hurtado y Av. Manuel Montt.

Fuente: Elaboración Propia

1.3.2 Representación gráfica perfil longitudinal desde Av. Desiderio Sanhueza hacia Av. Padre Alberto Hurtado.

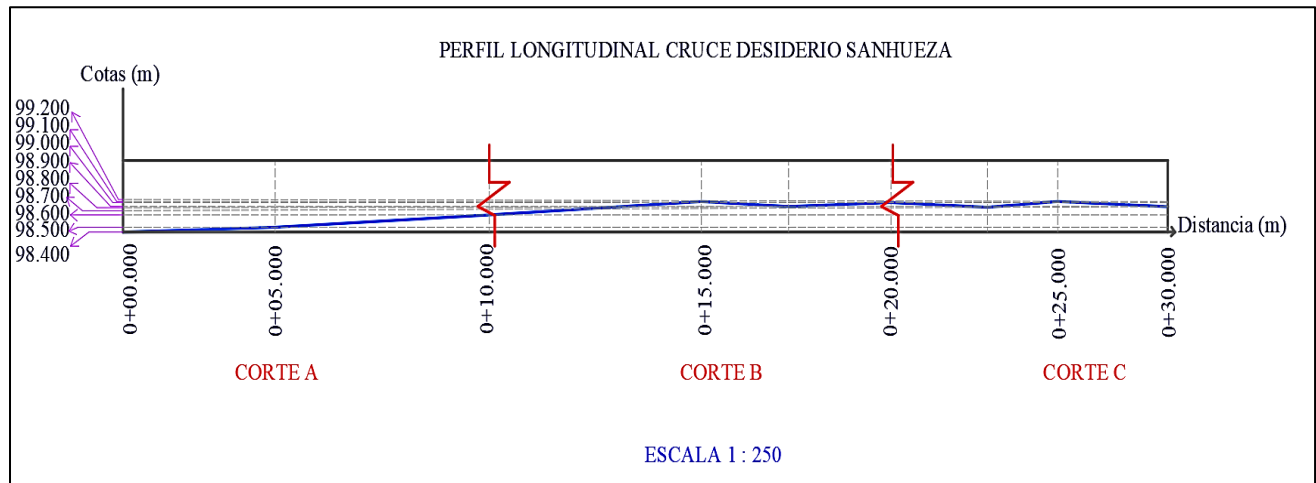


Figura 13: Perfil longitudinal desde Av. Desiderio Sanhueza hacia Av. Padre Alberto Hurtado.

Fuente: Elaboración Propia

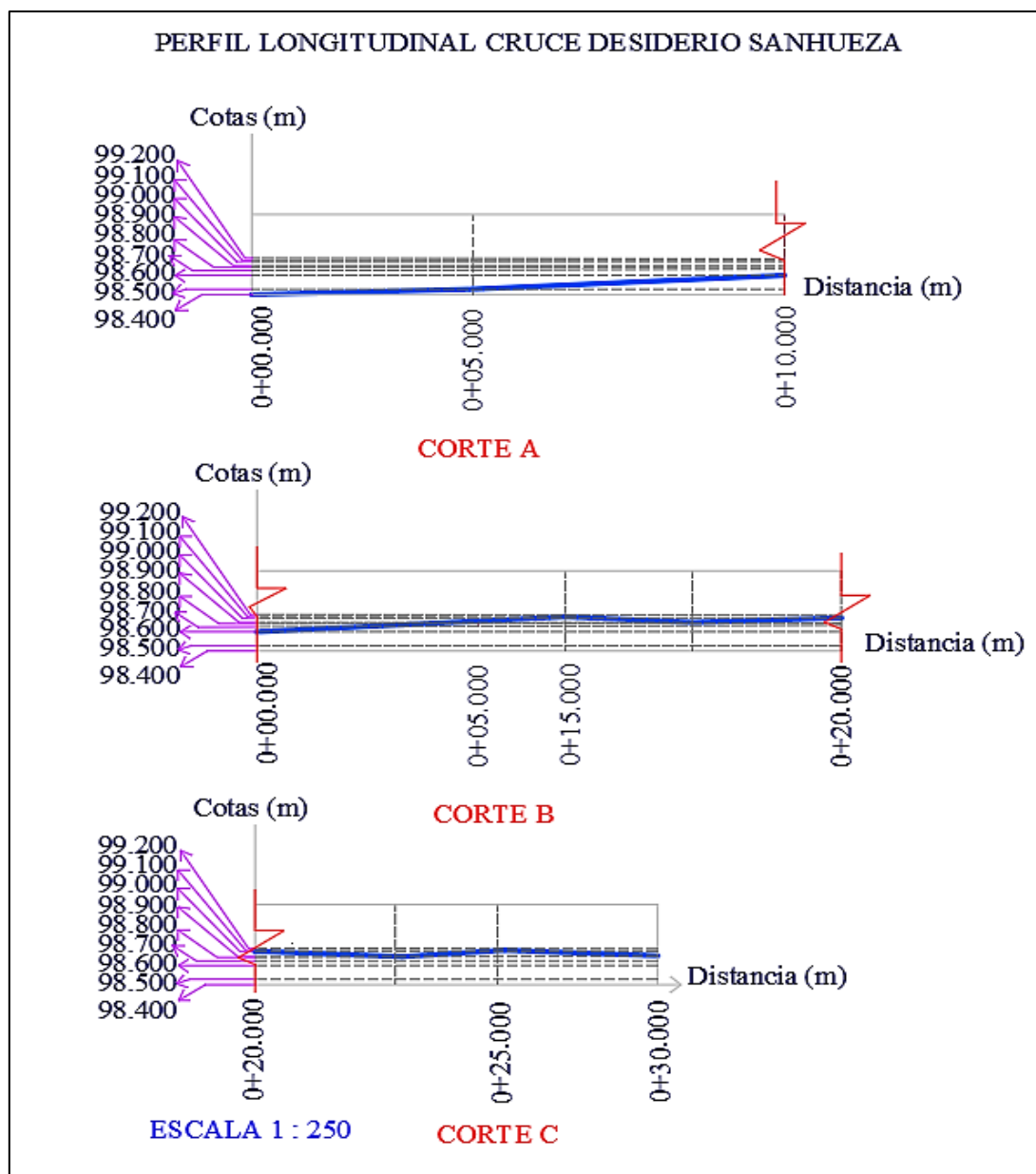


Figura 14: Cortes Perfil longitudinal desde Av. Desiderio Sanhueza hacia Av. Padre Alberto Hurtado.

Fuente: Elaboración Propia

Distancia Acumulada	Cotas de Puntos
0 + 00.000	98.521,00
0 + 03.787	98.620,00
0 + 09.117	98.875,00
0 +14.397	99.150,00
0 +16.567	99.048,00
0 +19.117	99.129,00
0 +21.517	99.033,00
0 +23.267	99.151,00
0 +26.007	99.045,00

Tabla 1: Distancia acumulada y cotas de perfil longitudinal

Fuente: Elaboración propia

El Manual de Carreteras, Volumen N°6, en el área de seguridad vial, establece que los cruces ferroviarios deben mantener una intersección con el tráfico vehicular en un ángulo de 90°, con el objetivo de garantizar una visibilidad óptima tanto para los maquinistas como para los conductores. Sin embargo, según el perfil longitudinal del cruce, se observa que la intersección ferroviaria entre Desiderio Sanhueza y Concepción no cumple con el ángulo requerido, lo que podría comprometer la seguridad en la zona.

Punto	Atrás	Media	Adelante	Alt. Instrumental	Cota Punto	Distancia	Distancia Acumulada
PR	1,747			1,24			
1		1,479			98.521	0.00	0
2		1,380			98.620	3.79	3.79
3		1,125			98.875	5.33	9.12
4		0,850			99.150	5.28	14.40
5		0,952			99.048	2.17	16.57
6		0,871			99.129	2.55	19.12
7		0,967			99.033	2.40	21.52
8		0,849			99.151	1.75	23.28
9		0,955		1,345	99.045	2.74	26.00
PR			1,849				
Cota Final				-	Cota Inicial		
98.521				-	99.150		
Altura o Dist. Vertical: 0.629				/	Dist. Horizontal: 14.40		
Pendiente: 0,043689658				X 100	4,37 %		

Tabla 2: Muestreo topográfico cruce ferroviario Desiderio Sanhueza

Fuente: Elaboración Propia

El Manual de Carreteras, en su Volumen N.º 3, que establece los criterios de diseño geométrico, indica que la pendiente previa a la entrada de un cruce ferroviario no debe superar el 2% a 3%. Sin embargo, según el perfil longitudinal obtenido en terreno para el cruce ferroviario Desiderio Sanhueza, se ha constatado que la pendiente en los accesos desde Avenida Manuel Montt y Desiderio Sanhueza hacia el centro de Concepción excede este límite, alcanzando un 4,37%.

1.4 ANALISIS DE FACTORES TÉCNICOS

1.4.1 CRECIMIENTO DEL TRANSPORTE FERROVARIO Y SU IMPACTO EN LA SEGURIDAD VIAL EN CONCEPCIÓN.

El uso del transporte ferroviario en la zona de Concepción ha mostrado un crecimiento significativo. En 2023, el Biotrén transportó más de 10 millones de pasajeros, una cifra récord que refleja un incremento notable respecto a años anteriores. Esta tendencia continuo en 2024, con más de 6,6 millones de usuarios solo en el primer semestre, a pesar de las interrupciones por problemas climáticos y actos vandálicos. Este aumento representa una expansión significativa del servicio, con la demanda diaria alcanzando hasta 54 mil viajes en los meses iniciales a 2024, lo que es siete veces mayor en comparación con 2017.

Este aumento se atribuye al ahorro de tiempo en comparación con la congestión vial y a la mayor frecuencia de los servicios en las líneas L1 y L2, que conectan Concepción con Coronel y Talcahuano en ambos sentidos. Estos datos se presentan en las tablas 1 y 2, correspondientes a los días hábiles de la semana. En total, se contabilizan 610 servicios de lunes a viernes.

1.4.1.1 Registro Detallado de los Horarios del Tránsito de Pasajeros en las Líneas L1 y L2 de Lunes a Viernes.

♣ Antecedentes recorridos línea Biotrén por línea L1 – L2 días hábiles.

Línea L2 Ida: Concepción - Coronel		Línea L2 Ida: Concepción - Coronel	
Línea L2 Vuelta: Coronel - Concepción		Línea L2 Vuelta: Coronel - Concepción	
Salida	Llegada	Salida	Llegada
Concepción / Coronel	Coronel / Concepción	Concepción / Coronel	Coronel / Concepción
06:45	06:42	17:15	15:12
07:00	06:57	17:30	15:27
07:30	07:20	17:45	16:22
08:00	07:27	18:00	17:27
08:15	07:50	18:15	17:42

08:30	07:57	18:30	17:57
08:45	08:12	18:45	18:12
09:00	08:27	19:00	18:27
09:15	08:42	19:15	18:42
09:30	08:57	19:30	18:57
09:45	09:12	19:45	19:12
10:00	09:27	20:00	19:27
10:35	09:42	20:15	19:42
11:30	09:57	20:30	19:57
11:45	10:12	20:45	20:12
12:15	10:32	21:00	20:27
13:00	10:47	21:15	20:42
13:15	11:17	21:30	20:57
14:35	11:42	21:45	21:12
15:15	12:12	22:20	21:27
15:30	12:57		21:42
16:40	13:12		
16:55	14:32		

Tabla 3: Registro línea L2 Concepción – Coronel / Coronel – Concepción

Fuente: Elaboración Propia, plataforma de planificación EFE.

Línea L1 Ida: Concepción - Talcahuano	
Línea L1 Vuelta: Talcahuano – Concepción	
Salida:	Llegada:
Concepción / Talcahuano	Talcahuano / Concepción
07:00	06:55
07:32	07:25
08:02	07:55
08:32	08:25
09:15	08:55
09:32	09:25
09:50	10:25
10:32	12:29
12:02	15:25
12:49	16:25
16:32	17:25
17:02	17:55
17:32	18:25
18:32	19:25
19:02	19:55
19:32	20:25
20:32	20:55
21:02	

Tabla 4: Registro línea L1 Concepción – Talcahuano / Talcahuano – Concepción

Fuente: Elaboración Propia, plataforma de planificación EFE.

Durante los fines de semana, la operación disminuye: los sábados se registran 61 servicios, detallados en las tablas 3 y 4, y los domingos 32, reflejados en las tablas 5 y 6 de este informe. El incremento en la demanda ha derivado en un aumento de la inseguridad vial, ocasionado por las aglomeraciones y los retrasos en los cruces vehiculares que interceptan las vías ferroviarias, como es el caso del cruce ferroviario Desiderio Sanhueza.

1.4.1.2 Registro Detallado de los Horarios del Tránsito de Pasajeros en las Líneas L1 y L2 día Sábado y Domingo.

♣ Antecedentes recorridos línea Biotrén por línea L1 – L2 fin de semana.

Línea L2 Ida: Concepción – Coronel (Sábado)		Línea L2 Ida: Concepción – Coronel (Sábado)	
Línea L2 Vuelta: Coronel – Concepción (Sábado)		Línea L2 Vuelta: Coronel – Concepción (Sábado)	
Salida:	Llegada:	Salida:	Llegada:
Concepción / Coronel	Coronel / Concepción	Concepción / Coronel	Coronel / Concepción
07:00	07:27	11:30	11:42
07:30	07:57	12:15	12:12
08:00	08:27	13:00	12:57
08:30	08:57	13:15	14:32
09:00	09:27	14:35	15:27
09:30	09:57	15:30	16:22
10:00	10:32	16:40	17:27
10:35	11:17		
17:30	17:57		
18:00	18:27		
18:30	18:57		

Tabla 5: Registro línea L2 Concepción - Coronel / Coronel – Concepción

Fuente: Elaboración Propia, plataforma de planificación EFE.

Línea L1 Ida: Concepción - Talcahuano (Sábado).		Línea L1 Ida: Concepción - Talcahuano (Sábado).	
Línea L1 Vuelta: Talcahuano – Concepción (Sábado).		Línea L1 Vuelta: Talcahuano – Concepción (Sábado).	
Salida:	Llegada:	Salida:	Llegada:
Concepción / Talcahuano	Talcahuano / Concepción	Concepción / Talcahuano	Talcahuano / Concepción
09:32	08:54	17:32	17:25
09:59	10:25	18:32	18:25
12:49	12:54	19:32	19:25
16:32	16:25	21:02	20:25

Tabla 6: Registro línea L1 Concepción – Talcahuano / Talcahuano – Concepción

Fuente: Elaboración Propia, plataforma de planificación EFE.

Línea L2 Ida: Concepción – Coronel (Domingo)		Línea L2 Ida: Concepción – Coronel (Domingo)	
Línea L2 Vuelta: Coronel – Concepción (Domingo)		Línea L2 Vuelta: Coronel – Concepción (Domingo)	
Salida:	Llegada:	Salida:	Llegada:
Concepción / Coronel	Coronel / Concepción	Concepción / Coronel	Coronel / Concepción
9:30	09:27	15:30	15:27
10:35	10:32	16:40	16:22
11:30	11:17	17:30	17:27
12:15	12:12	18:30	18:27
13:15	12:57	19:00	18:57
14:35	14:32	20:00	19:57

Tabla 7: Registro línea L2 Concepción – Coronel / Coronel – Concepción

Fuente: Elaboración Propia, plataforma de planificación EFE.

Línea L1 Ida: Concepción - Talcahuano (Domingo)	Línea L1 Vuelta: Talcahuano – Concepción (Domingo)
Salida:	Llegada
Concepción / Talcahuano	Talcahuano / Concepción
9:59	08:54
12:49	12:54
17:32	16:25
21:02	20:25

Tabla 8: Registro línea L1 Concepción – Talcahuano / Talcahuano – Concepción

Fuente: Elaboración Propia, plataforma de planificación EFE.

Esta situación afecta directamente el flujo vehicular, ya que los vehículos deben permanecer detenidos entre 3 y 5 minutos. Esto se debe a que las barreras comienzan a descender cuando el tren se encuentra a 1,5 km del cruce. Además, una vez que el tren ha pasado, los vehículos que se desplazan desde Desiderio Sanhueza hacia el centro de Concepción, así como aquellos que circulan desde la Avenida Manuel Montt en dirección a calle Las Heras o hacia la Avenida Padre Alberto Hurtado, deben esperar a que el semáforo recupere su configuración normal, lo que genera una alta congestión sobre el cruce ferroviario Desiderio Sanhueza.

En este contexto, algunos conductores cometen imprudencias al intentar cruzar cuando las barreras aún no han subido por completo y las alarmas luminosas siguen parpadeando, indicando la aproximación del tren. Estas acciones incrementan significativamente la inseguridad vial, poniendo en riesgo tanto la seguridad ferroviaria como la posibilidad de siniestros viales.

1.5 FACTORES EXTERNOS

1.5.1 FLUJO DE TRÁNSITO MEDIO DIARIO (TMDA)

Conceptualización Transito Medio Diario Anual (TMDA): “Representa el promedio aritmético de los volúmenes diarios para todos los días del año, previsible o existente en una sección dada de la vía. Su conocimiento da una idea cuantitativa de la importancia de la ruta en la sección considerada.”

Manual de Carreteras: Volumen N°3

Cálculo de tránsito medio diario anual (TMDA)

Para el cálculo del Transito Medio Diario Anual (TMDA) del año 2024 en el cruce ferroviario Desiderio Sanhueza, se utilizó un registro de la Unidad Operativa de Control de Tránsito (UOCT Biobío) correspondiente a los años 2017 y 2018. Los datos fueron ajustados conforme a los estándares establecidos en el Manual de Carreteras, con el objetivo de obtener un valor real para el presente año.

Datos para TMDA Vehicular

El Volumen 2 – Procedimientos de Estudios Viales establece que, cuando la medición del tráfico cubre menos días que los recomendados, se debe aplicar un ajuste proporcional. Esto asegura que el TMDA refleje un valor comparable al que se obtendría con una cantidad estándar de días.

Paso 1: Ajuste por número de días medidos

→ Fórmula

$$\text{TMDA Ajustado} = \frac{\text{TMDA medido} \times \text{D estándar}}{\text{D medidos}}$$

→ Días medidos en 2018: 2 Días Estándar: 3

Continuación Paso 1: Ajuste por número de días medidos



→ Aplicación

$$\text{TMDA 2018 Ajustado} = \frac{12.246 \times 3 \text{ días}}{2 \text{ días}}$$

2 días

$$\text{TMDA 2018 Ajustado} = \mathbf{18,369 \text{ Vehículos}}$$

Paso 2: Ajuste Estacional

El Volumen 9 – Estudios y Criterios Ambientales en Proyectos Viales menciona la importancia de considerar ajustes estacionales, dado que las mediciones en invierno tienden a ser menores en comparación con las de verano. Para este caso, se aplicará un ajuste del 15% para compensar esta diferencia.

Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2023). Manual de carreteras: Estudios y criterios ambientales en proyectos viales (Vol. 9, Cap. 9.5). Santiago, Chile: Dirección de Vialidad.

→ Fórmula

$$\text{TMDA ajustado por estacionalidad} = \frac{\text{TMDA ajustado}}{0.85}$$

→ Aplicación

$$\frac{18,369}{0.85} = \mathbf{21,610.59 \text{ Vehículos}}$$

Paso 3: Promedio Simple del TMDA

El Volumen 2 del Manual de carreteras también sugiere utilizar el promedio simple entre mediciones anuales para suavizar fluctuaciones. Esta técnica es útil para proyecciones cuando las condiciones entre años varían considerablemente.

Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2023). Manual de carreteras: Procedimientos de estudios viales (Vol. 2, Cap. 2.4). Santiago, Chile: Dirección de Vialidad.

→ **Fórmula**

$$\text{Promedio TMDA} = \frac{\text{TMDA 2017} + \text{TMDA 2018 Ajustado}}{2}$$

→ **Aplicación**

$$\text{Promedio TMDA} = \frac{50,382 + 21,610.59}{2} = 35,996.29 \text{ Vehic.}$$

Paso 4: Proyección del TMDA para 2024

El Volumen 1 de Planificación y Desarrollo Vial recomienda que, cuando no se disponga de mediciones recientes, se utilice un promedio histórico como base para la proyección. Esto permite prever el comportamiento del tránsito para futuros años con condiciones similares.

Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2023). Manual de carreteras: Planificación, evaluación y desarrollo vial (Vol. 1, Cap. 1.2). Santiago, Chile: Dirección de Vialidad.

→ **Proyección TMDA 2024 = 35,996 Vehículos / día.**

Datos para Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) Ferroviario

El Volumen 2 del Manual de Carreteras – Procedimientos de Estudios Viales, al igual que en el tráfico vehicular, para el cálculo del TMDA ferroviario se ajusta el flujo diario por el número de días anuales.

Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2023). Manual de carreteras: Procedimientos de estudios viales (Vol. 2, Cap. 2.3). Santiago, Chile: Dirección de Vialidad.

Días Hábles: Lunes a Viernes	122 servicios diarios durante 261 días del año
Fin de semana: Sábado a Domingo	61 servicios diarios los días sábados y 32 servicios diarios los días domingo.

Paso 1: Ajuste por días de Operación

→ **Fórmula**

$$\text{Total de servicios anuales} = (\text{Servicios Días hábiles} \times 261) + (\text{Servicios fin de semana} \times 104)$$

→ **Aplicación**

$$\begin{aligned} \text{Total de servicios anuales} &= (122 \times 261) + (61 \times 52) + (32 \times 52) \\ \text{Total de servicios anuales} &= \mathbf{36,678 \text{ Serv. Anuales}} \end{aligned}$$

Paso 2: Cálculo del TMDA Ferroviario

Una vez obtenido el cálculo de los servicios anuales, se procede a determinar el promedio diario de los servicios ferroviarios.

Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2023). Manual de carreteras: Procedimientos de estudios viales (Vol. 2, Cap. 2.3). Santiago, Chile: Dirección de Vialidad.

→ Fórmula

$$\text{TMDA Ferroviario} = \frac{\text{Servicios Anuales}}{365 \text{ días}}$$

→ Aplicación

$$\text{TMDA Ferroviario} = \frac{36,678 \text{ Serv. Anuales}}{365 \text{ días}}$$
$$\text{TMDA Ferroviario} = \mathbf{100,5 \text{ Servicios Diarios}}$$

Paso 3: Comparación TMDA Vehicular / TMDA Ferroviario

→ Fórmula

$$\frac{\text{TMDA Vehicular}}{\text{TMDA Ferroviario}} = \frac{35,996 \text{ Veh. / día}}{100,5 \text{ Serv. / día}}$$

→ Aplicación

$$\text{Proporción Veh. / Trenes} = \mathbf{358,2 \text{ Veh. X Serv. Ferroviario}}$$

Cálculo del TMDA Ferroviario sobre el Tránsito Vehicular en el Cruce Ferroviario Desiderio Sanhueza.

1. Tiempo Total de Cierre diario por Tren

Siguiendo el cálculo indicado según el Manual de Carreteras, Volumen 2, se verifica que cada tren genera un cierre promedio de 3 minutos por cruce, con un Transito Medio Diario Anual (TMDA) ferroviario de 100,5 servicios diarios.

Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2023). Manual de Carreteras: Procedimientos de Estudios Viales (Vol. 2, Cap. 2.3). Santiago, Chile: Dirección de Vialidad

→ **Fórmula**

$$100,5 \text{ trenes diarios} \times 3 \text{ minutos} = 301.5 \text{ minutos} / \text{día} = 5 \text{ Hrs} / \text{día}.$$

2. Vehículos Afectados por las Interrupciones

El TMDA Vehicular es de 35,996 vehículos / día. Distribuyendo este flujo en 16 horas:

$$\frac{35,996}{16} = 2,249.8 \text{ Vehículos} / \text{hora}$$

Por cada cierre de 3 minutos:

$$\frac{2,249.8 \text{ vehículos} / \text{hora} \times 3 \text{ minutos}}{60 \text{ minutos}} = 112.5 \text{ minutos vehículos detenidos} / \text{tren}$$

Impacto total diario:

$$112.5 \times 100.5 = 11,306.25 \text{ vehículos} / \text{día}$$

3. Horas de retraso Acumulado

Para realizar el cálculo de retraso acumulado, se sigue lo establecido en el Manual de Carreteras, Volumen 1.

Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2023). Manual de Carreteras: Planificación, Evaluación y Desarrollo Vial (Vol. 1). Santiago, Chile: Dirección de Vialidad.

Cada vehículo espera 3 minutos por tren. Por lo tanto:

$$\frac{11,306.25 \text{ vehículos / día} \times 3 \text{ minutos}}{60 \text{ minutos}} = 565.31 \text{ horas de retraso diario.}$$

Si 11.306,25 vehículos se detienen diariamente en un período evaluado de 16 horas, se acumulan un total de 33.918,75 minutos de interrupción, equivalentes a 565,31 horas diarias de detención conjunta para todos los vehículos.

Este valor no representa el retraso por vehículo de forma individual, sino la suma de los tiempos de espera acumulados de todos los vehículos afectados durante un día completo. Se trata de una métrica útil para evaluar el impacto general del cruce ferroviario en la congestión vehicular. No obstante, cada vehículo experimenta, en promedio, un tiempo de espera individual de solo 3 minutos por tren.

1.5.2 IMPACTO AMBIENTAL: CONSUMO Y EMISIONES

El trabajo se realiza conforme a lo establecido en el Manual de Carreteras, Volumen 9, “Estudios y Criterios Ambientales en Proyectos Viales”. Se evalúa el impacto que genera la detención de cada vehículo durante la espera del paso del tren.

Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2023). Manual de Carreteras: Estudios y Criterios Ambientales en Proyectos Viales (Vol. 9, Cap. 9.5). Santiago, Chile: Dirección de Vialidad

¡Información!

- Consumo promedio en ralentí = 0.8 litros / hora (Manual de Carreteras, Volumen 9).
- Emisión de CO_2 = 2.3 kg por litro de gasolina.

Consumo Total	
Cálculo consumo total	565.31 horas de retraso diario x 0.8 litro / hora
Cálculo consumo total	452.25 litros
Emisiones de CO_2	
Cálculo de emisiones	452.25 litros x 2.3 = 1,040,18 kg CO_2 / día.

Tabla 9: Cálculo de Impacto Ambiental por detención de cada vehículo

Fuente: Elaboración propia, guiado por el Manual de Carreteras Volumen, 9.

El presente análisis evidencia que la operación de los trenes interrumpe el flujo vehicular por un total de cinco horas diarias, impactando a más de 11.306 vehículos al día y ocasionando un retraso acumulado de 565 horas. Asimismo, la congestión generada contribuye a la emisión de 1.040 kg de CO_2 por día, lo que subraya la necesidad de implementar medidas de optimización en el cruce ferroviario Desiderio Sanhueza.

1.6 FACTORES Y CAUSAS IDENTIFICADAS

1.6.1 Método ISHIKAWA

Utilizando el método Ishikawa, se ha determinado que el problema principal objeto de análisis es la **Inseguridad vial en el Cruce Ferroviario Desiderio Sanhueza**. Este cruce, ubicado en una intersección crítica para el tráfico ferroviario y vehicular en Concepción, presenta una alta incidencia de incidentes debido a múltiples factores interrelacionados.

La inseguridad vial en este cruce se refleja en el aumento de atropellos, colisiones, vandalismo y fallos en las barreras, lo que impacta tanto la circulación de trenes como la de vehículos. Además, las interrupciones del tráfico afectan la movilidad urbana y generan un alto costo en términos de tiempo perdido y emisiones contaminantes.

Para comprender las causas que contribuyen a este problema, el método Ishikawa permite clasificar los factores en las siguientes categorías:

a) Factores Humanos

- Conductores imprudentes que cruzan con las barreras aún en funcionamiento.
- Colisiones accidentales de vehículos contra las barreras.
- Actos de vandalismo y robo de componentes eléctricos.
- Peatones cruzando en zonas no habilitadas.

b) Infraestructura

- Fallas frecuentes en las barreras y sistemas de control.
- Angulo de intersección no óptimo, lo que disminuye la visibilidad para conductores y maquinista.
- Pendiente mayor al estándar recomendado por el Manual de Carreteras a la entrada del Cruce Ferroviario.

c) Gestión del Sistema

- Errores en el sistema de enclavamiento, que afectan la sincronización entre trenes y vehículos.
- Falta de coordinación adecuada entre el tráfico ferroviario y vehicular.

d) Condiciones Ambientales

- Clima adverso que reduce la visibilidad y la adherencia de los vehículos.
- Horas punta con alta afluencia de vehículos y trenes, aumentando el riesgo de incidentes.

e) Flujo de Tráfico (TMDA)

- 35,996 vehículos circulan diariamente por el cruce, generando una alta demanda en la infraestructura.
- 100.5 servicios ferroviarios por día, interrumpiendo el flujo vehicular durante un promedio de 5 horas.
- Cada interrupción afecta a 11,306 vehículos al día, acumulando retrasos equivalentes a 565 horas.
- El tiempo perdido por estos cierres incrementa las emisiones de CO_2 , afectando la calidad ambiental.

La inseguridad vial en este cruce no solo representa un riesgo significativo para los usuarios, si no que también impacta la eficiencia operativa del Biotrén, al generar demoras en las rutas de las líneas L1 (Concepción – Talcahuano) y L2 (Concepción – Coronel). Por lo tanto, es crucial desarrollar estrategias integradas que consideren estos factores, con el fin de mitigar riesgos y optimizar tanto el tráfico ferroviario como vehicular.

1.6.1.1 Diagrama Método ISHIKAWA

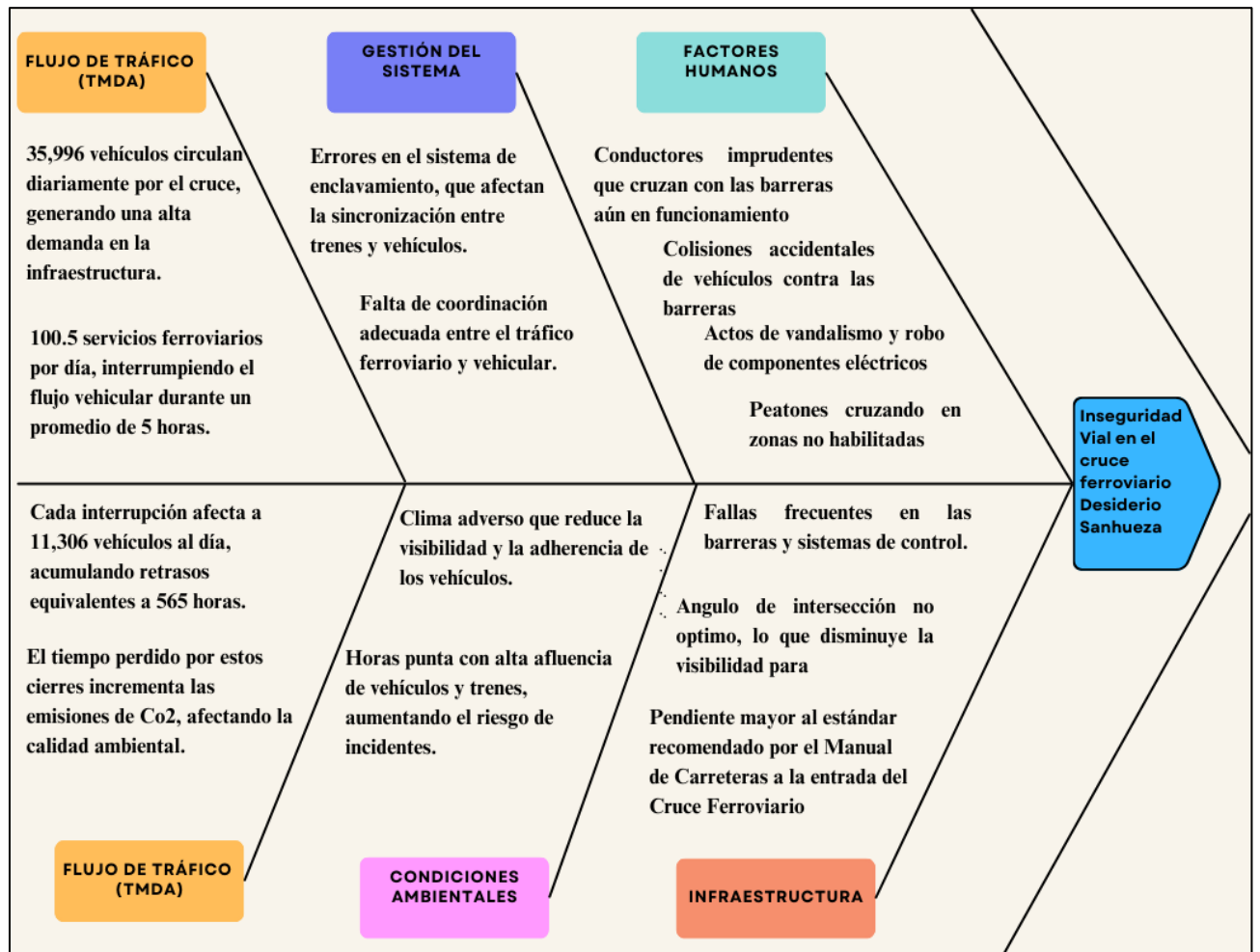


Figura 15: Diagrama de ISHIKAWA

Fuente: Elaboración Propia

1.6.2 Método 5 ¿Por qué?

Se ha implementado el método de los 5 porqués como complemento del método Ishikawa, con el objetivo de identificar de manera precisa la causa raíz del problema de inseguridad vial en el cruce ferroviario Desiderio Sanhueza. Este enfoque permite descomponer las situaciones y problemáticas en niveles más profundos de análisis, explorando las razones subyacentes que generan los incidentes registrados en el cruce.

➤ Problema Principal:

Inseguridad vial en el cruce ferroviario Desiderio Sanhueza

1. ¿Por qué ocurre la inseguridad vial?

Porque se producen colisiones, atropellos y actos de vandalismo sobre este cruce ferroviario, a pesar de las medidas de seguridad implementadas, como las barreras automáticas, guarda cruzada y señalización ferroviaria.

2. ¿Por qué se producen colisiones y atropellos?

Porque algunos conductores cruzan con las barreras en funcionamiento cuando estas están comprobando abajo o se instalan en la ubicación donde las barreras comienzan a descender generando una falsa comprobación, además, el sistema de barreras presenta fallas técnicas ocasionales debido a falsa ocupación de pedales en la vía, lo que contribuye a la ocurrencia de accidentes.

3. ¿Por qué los conductores cruzan con las barreras abajo? ¿Irresponsabilidad o falla el sistema?

El cruce ferroviario presenta una alta demanda de flujo vehicular, además de un elevado tránsito de trenes al conectar con la estación principal. Esta situación genera congestión y un tiempo de espera promedio por vehículos de 3 minutos. Ante esta demora, algunos conductores optan por cruzar con las barreras abajo para evitar la espera.

4. ¿Por qué los conductores no esperan el levantamiento de las barreras?

Porque no existe un sistema de gestión del tráfico que minimice las demoras, como sincronización semafórica o tiempos más eficientes de las barreras, lo que aumenta la frustración y lleva a conductores a tomar decisiones riesgosas.

5. ¿Por qué el diseño del cruce es inadecuado y no se han implementado mejoras para su optimización?

Porque la infraestructura no fue adaptada para soportar el aumento del Tránsito Medio Diario Anual (TMDA), tanto vehicular como ferroviario, y la falta de gestión de planificación estratégica y limitaciones presupuestarias han retrasado la implementación de soluciones de infraestructura o tecnológicas.

Causa Raíz

La falta de adecuación del diseño e infraestructura del cruce al aumento del flujo vehicular y ferroviario. Esta situación combinada con la ausencia de un sistema eficiente de gestión del tráfico y una planificación estratégica limitada ha generado un entorno propenso a fallas técnicas, comportamiento riesgosos de los conductores y congestión recurrente.

1.6.2.1 Diagrama Método 5 ¿Por qué?

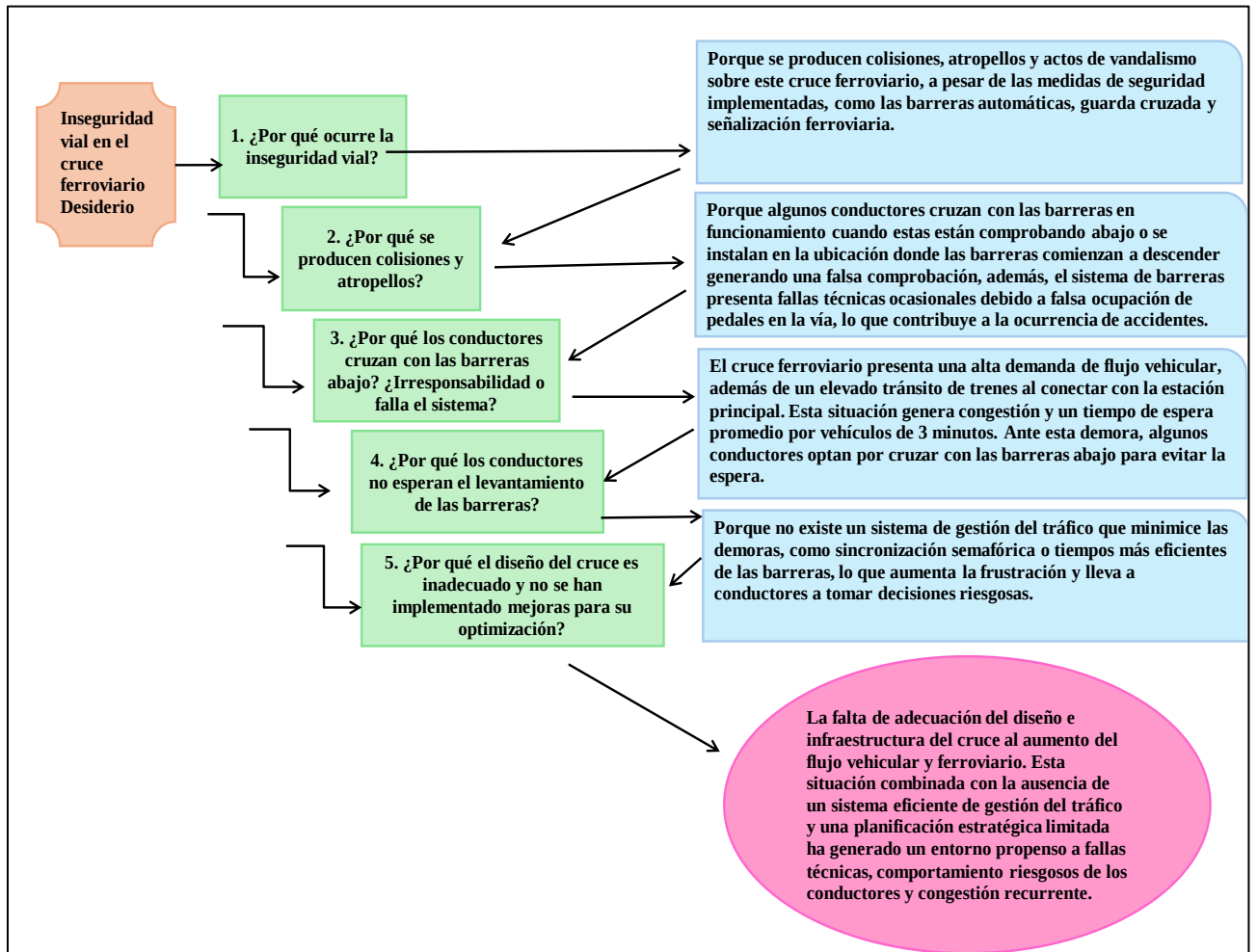


Figura 16: Diagrama de los 5 ¿Por qué?

Fuente: Elaboración Propia

1.7 CONCLUSIÓN

El análisis evidenció que la inseguridad vial en el cruce ferroviario Desiderio Sanhueza resulta de una interacción compleja entre factores humanos, de infraestructura y gestión de sistemas. Utilizando los métodos Ishikawa y los '5 Por Qué', se identificó que la raíz del problema radica en un diseño e infraestructura insuficientemente adaptados al creciente flujo vehicular y ferroviario. La falta de una planificación estratégica para modernizar la infraestructura y de sistemas eficientes de gestión del tráfico ha generado un entorno propenso a fallas técnicas, comportamientos riesgosos de los conductores y congestión recurrente. Estos elementos, combinados con el alto flujo de tránsito diario y las deficiencias en las pendientes y ángulos de intersección del cruce, incrementan significativamente los riesgos de incidentes, afectando tanto la seguridad vial como la operatividad del Biotrén.

CAPÍTULO 2: DESARROLLAR ALTERNATIVAS DE SOLUCIONES PARA EL CRUCE FERROVIARIO DESIDERIO SANHUEZA DE LA LÍNEA L1 DEL BIOTRÉN CONCEPCIÓN – TALCAHUANO Y DE LA LÍNEA L2 CONCEPCIÓN – CORONEL, PARA DISMINUIR EL INDICE DE ATROPELLOS DEL CRUCE FERROVIARIO.

2.1 INTRODUCCIÓN

El cruce ferroviario Desiderio Sanhueza, conectado directamente con la Estación Principal Concepción. Correspondiente a las líneas L1 del Biotrén (Concepción – Talcahuano) y L2 (Concepción – Coronel), presenta un incremento en el índice de atropellos, situación que exige la implementación de soluciones que fortalezcan la seguridad vial en el punto crítico. Este capítulo examina dos alternativas de infraestructura orientadas a mitigar dichos incidentes: la construcción de un paso a desnivel y el soterramiento del cruce vehicular. Mediante un análisis técnico y económico, se evaluará la viabilidad y efectividad de cada alternativa, en conformidad con las normativas nacionales vigentes y considerando el impacto en el desarrollo urbano sostenible de la región del Bio-Bio.

2.1.1 REVISIÓN DE CAUSAS DE ATROPELLOS Y PROBLEMAS IDENTIFICADOS.

En el análisis del cruce ferroviario Desiderio Sanhueza, se identifican las principales causas de atropellos y problemas de inseguridad vial, ordenadas de mayor relevancia a menor relevancia:

Causa	Factores
Conductores Imprudentes	i. Evasión de barreras
	ii. Ignorancia de advertencias acústicas y visuales
	iii. Presencia de guarda cruzada inadvertida
	iv. Falta de respeto a la Infraestructura
	v. Minimización del tiempo de espera

Causa	Factores
Condiciones de infraestructura	i. Ángulo inadecuado de la Intersección
	ii. Pendiente superior a la recomendación
	iii. Faja de vía en malas condiciones
	iv. Congestión Vehicular

Causa	Factores
Errores en el enclavamiento	i. Mal funcionamiento del sistema de barreras
	ii. Dependencia del accionamiento del pedal en la vía
	iii. Fallas técnicas en el sistema
	iv. Actos de vandalismo

Causa	Factores
Alto flujo de tráfico	i. Intensidad del flujo vehicular
	ii. Frecuencia del tráfico ferroviario
	iii. Infraestructura inadecuada
	iv. Retrasos significativos

Estos factores resaltan la necesidad de implementar mejoras en el diseño y gestión del tráfico en el cruce Desiderio Sanhueza, con el objetivo de mitigar los riesgos y optimizar la seguridad para todos los usuarios.

2.2 ESTUDIO DE SOLUCIONES APLICADAS EN CRUCES FERROVIARIOS SIMILARES.

Una solución implementada en otros cruces ferroviarios es el soterramiento del cruce vehicular, estrategia utilizada en zonas urbanas de alta densidad para mejorar tanto la seguridad como la conectividad vial. Un ejemplo reciente es el proyecto de **soterramiento del cruce ferroviario Santa Sofía**, ubicado en Chiguayante, en la Región del Biobío, Chile. Este proyecto tiene como objetivo reducir los riesgos de accidentes en intersecciones entre vías ferroviarias y rutas urbanas, brindando lecciones valiosas que podrían aplicarse en otros cruces ferroviarios, como por ejemplo el cruce ferroviario Desiderio Sanhueza.

Caso de Estudio: Soterramiento del Cruce Ferroviario Santa Sofía

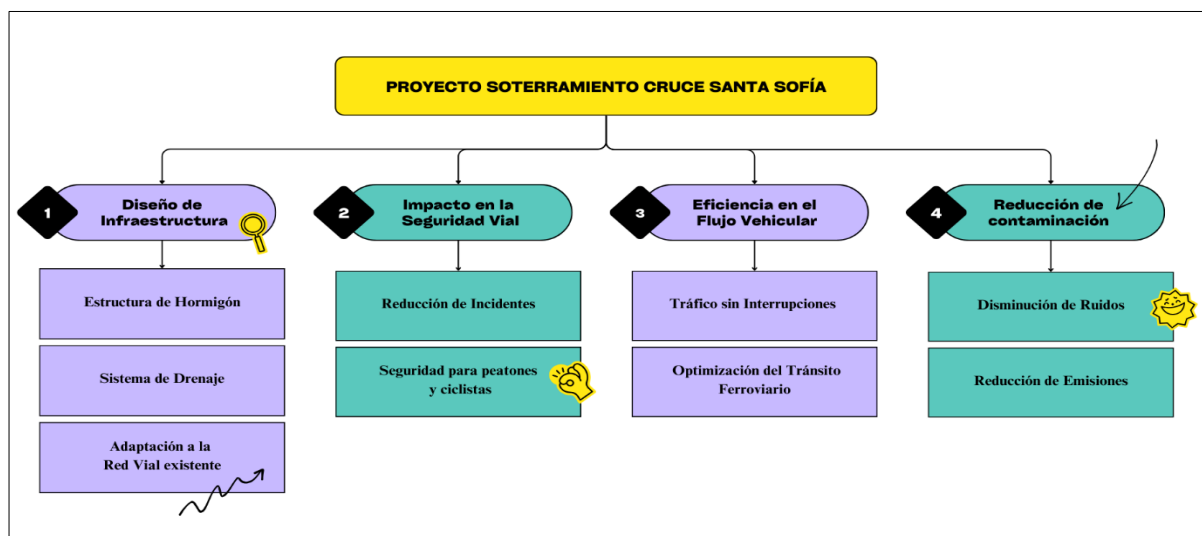


Figura 17: Esquema Solución Constructiva Implementada en Cruce Santa Sofía

Fuente: Diario Concepción, Elaboración Propia

La solución de soterramiento implementada en Santa Sofía ofrece una referencia valiosa para el cruce Desiderio Sanhueza. Los beneficios de seguridad, eficiencia en el flujo de tránsito y reducción de contaminación sugieren que el soterramiento es una alternativa viable ya largo plazo. Aunque requiere una inversión inicial significativa, esta opción representa una mejora sustancial en la seguridad vial y calidad de vida de los habitantes de la zona, alineándose con los objetivos de sostenibilidad y desarrollo de infraestructura de la Región del Biobío.

2.3 IDENTIFICACIÓN DE ANÁLISIS DE POSIBLES ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

El análisis desarrollado en el capítulo N°1 permite identificar que una de las principales causas del aumento en las inseguridades viales en el cruce Desiderio Sanhueza es la incapacidad de la infraestructura actual para gestionar eficientemente los altos flujos vehiculares y ferroviarios, tanto de manera individual como combinada. Esta convergencia de servicios en un mismo punto genera riesgos significativos que comprometen la seguridad vial y operativa.

El presente estudio tiene como propósito determinar alternativas viables que permitan mitigar los riesgos asociados al cruce, mediante la propuesta de una solución técnicamente factible, económicamente sostenible y orientada a eliminar los riesgos de forma integral. Para ello, se han establecido criterios claros de evaluación, que se presentan a continuación:

2.4.1 Criterios de Evaluación:

Los criterios que guían el análisis de cada alternativa incluyen los siguientes aspectos clave:

✓ Seguridad Vial:

Capacidad de cada alternativa para reducir incidentes como colisiones y atropellos, mediante medidas de separación de flujos, señalización adecuada y sistemas de control.

✓ Fluidez Operativa:

Impacto en el flujo continuo de vehículos y trenes, evaluando la disminución de tiempos de espera y la capacidad para manejar un TMDA vehicular y ferroviario elevado.

✓ Viabilidad Técnica:

Adaptabilidad al terreno y cumplimiento con las normativas de diseño estructural y geométrico, asegurando la factibilidad constructiva y operativa. Según los volúmenes del Manual de Carreteras correspondiente para cada uno.

✓ Costo-Eficiencia:

Relación entre los costos de implementación, operación y mantenimiento frente a los beneficios esperados.

2.4 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

De acuerdo con el análisis previo, una solución técnicamente sólida y segura para el cruce ferroviario Desiderio Sanhueza es la separación física de los flujos vehicular y ferroviario. Esta alternativa se fundamenta en las disposiciones del Manual de Carreteras, Volumen N°3, y el Reglamento Técnico Ferroviario, que clasifican ambos flujos como de alta densidad, evidenciando que su operación conjunta en el mismo nivel resulta ineficiente y riesgosa.

En este contexto, se proponen dos soluciones constructivas orientadas a optimizar la seguridad y eficiencia del cruce. Estas alternativas estarán respaldadas por estudios técnicos preliminares que evalúan su viabilidad y permiten determinar la opción más adecuada para una futura implementación.

El Manual de Carreteras, en su Volumen N°3, específicamente en la página 198, establece que cuando el flujo vehicular supera los 20.000 vehículos diarios y comparte la vía con un cruce ferroviario, se recomienda separar ambos flujos mediante soluciones a desnivel, tales como:

2.4.1 Puente a desnivel Método muros TEM con vigas prefabricadas.

El puente a desnivel construido mediante el método de muros de Tierra Estabilizada Mecánicamente (TEM) y vigas prefabricadas es una solución estructural que permite la segregación de flujo de tránsito en distintos niveles. Este sistema emplea muros de contención formados por capas de suelo granular compactado, reforzado con materiales geosintéticos como geomallas o geotextiles, los cuales proporcionan estabilidad y resistencia frente a cargas estáticas y dinámicas. Los muros son revestidos con paneles prefabricados de hormigón que actúan como acabado estructural y estético.

Sobre estos muros de contención se instalan vigas prefabricadas de hormigón armado o pretensado, fabricadas bajo estrictos estándares de calidad en plantas especializadas. Estas vigas, colocadas mediante grúas de alta capacidad, constituyen el soporte principal de la losa superior, que se diseña para resistir las cargas del tránsito vehicular. Este método destaca por su eficiencia constructiva, su adaptabilidad a diferentes condiciones geográficas y su capacidad para reducir el impacto ambiental y los tiempos de ejecución de obra.

A continuación, una imagen representativa de lo que corresponde a un muro TEM:



Figura 18: Ejemplificación de Muro TEM, proyecto Arauco.

Fuente: Elaboración Propia, Web Tierra Armada.

Este método, al igual que otros, presenta ventajas y desafíos para su desarrollo, los cuales se describen a continuación:

- Ventajas:
 - Eficiencia Constructiva: Ejecución rápida debido a la fabricación y montaje simultaneo de los elementos prefabricados.
 - Reduce los tiempos de interrupción del tránsito durante la construcción.
 - Ofrece la posibilidad de ajustar el diseño a diversas longitudes y alturas según las necesidades del proyecto.
 - Los muros TEM y las vigas prefabricadas están diseñados para soportar altas cargas estáticas y dinámicas, garantizando seguridad y durabilidad.

- Desafíos

- El transporte y manejo de elementos prefabricados, como vigas de gran tamaño, puede ser complejo y costoso, especialmente en zonas de difícil acceso.
- En áreas con alta salinidad, humedad o exposición constante a químicos, los componentes prefabricados (como paneles y vigas de concreto) pueden requerir protección adicional para evitar corrosión o degradación.
- El desempeño del sistema depende en gran medida de la calidad del suelo, los geosintéticos y los elementos prefabricados. Materiales de baja calidad pueden comprometer la durabilidad y seguridad del proyecto.

El Manual de Carreteras, en su Volumen N°5, establece los criterios técnicos para la construcción de muros TEM con vigas prefabricadas pretensadas, diseñadas para un puente a desnivel. Estos criterios se detallan en el siguiente punto:

2.4.1.1 Consideraciones técnicas para método muros TEM con vigas prefabricadas constructivo según el Marco Normativo en su Volumen N°5

1. Granulometría del Relleno para muros TEM:

Para muros de altura mayor a 6 metros, el relleno granular debe cumplir con los siguientes límites granulométricos, según el Manual de Carreteras en el Volumen N°5:

- Tamiz 75 mm (3"): 100% pasa.
- Tamiz 5 mm (N.º 4): 25-70% pasa.
- Tamiz 0.315 mm (N.º 50): 0.5-20% pasa.
- Tamiz 0.075 mm (N.º 200): 0-0.5% pasa.

2. Hormigón para muros TEM:

Las placas de terminación deben cumplir con la sección 5.501, asegurando resistencia y durabilidad según el diseño. Y para el acero los refuerzos o elementos metálicos deben ser galvanizados conforme a las normas ASTM A153 o ASTM A123, debiendo cumplir con la sección 5.503 del Manual de Carreteras en su Volumen N°5.

3. Método de Compactación:

El relleno debe compactarse al 95% de la Densidad Máxima Compactada en Seco (DMCS), según el Método Proctor Modificado.

4. Sistema de Drenaje:

El diseño debe incluir barbacanas, tuberías y geocompuestos drenantes para evitar la acumulación de agua detrás de los muros, según la sección 5.615. Además, las cunetas de hormigón y tuberías de PVC con rejilla deben ser especificadas en el proyecto para garantizar un drenaje adecuado.

5. Vigas Prefabricadas

- Estas deben cumplir con los requerimientos de diseño estructural, soportando cargas vehiculares, sísmicas y ambientales. El hormigón para utilizar debe cumplir con el grado especificado en el proyecto, con granulometría adecuada con el tamaño máximo nominal tolerado según lo indicado por la norma.
- Deben ser fabricadas en plantas certificadas, con procedimiento que incluyan el tensado de cables en bancos de pretensado en fábrica o en obra.
- El montaje debe garantizar la correcta alineación y cota según el diseño. Es necesario el uso de equipos especializados para evitar tensiones no previstas.

6. Muestreo y Ensayos:

- El control de compactación se realiza mediante el ensayo de Proctor Modificado.
- El hormigón debe cumplir con los ensayos especificados en la sección 5.501, incluyendo pruebas de resistencia a la compresión.
- Es obligatorio presentar certificados de calidad del acero y del hormigón utilizados, verificando su cumplimiento en las normativas aplicables.

7. Configuración y Dimensiones.

- Muros TEM: El espaciamiento entre capas de refuerzo no debe exceder los 81 cm o el doble del ancho del bloque.
- Vigas Prefabricadas: Las vigas deben incluir contra flechas específicas determinadas por el diseño estructural.

2.4.1.2 Modelado Puente a Desnivel en Cruce Ferroviario Desiderio Sanhueza

Este apartado expone modelos visuales elaborados mediante fotomontajes, los cuales representan la implementación de un puente a desnivel en el cruce ferroviario Desiderio Sanhueza, Esta solución propone la separación completa entre el flujo ferroviario y el vehicular, asegurando su independencia y mejorando la seguridad operativa.



Figura 19: Foto Montaje Puente a Desnivel Cruce Desiderio Sanhueza

Fuente: Elaboración Propia.

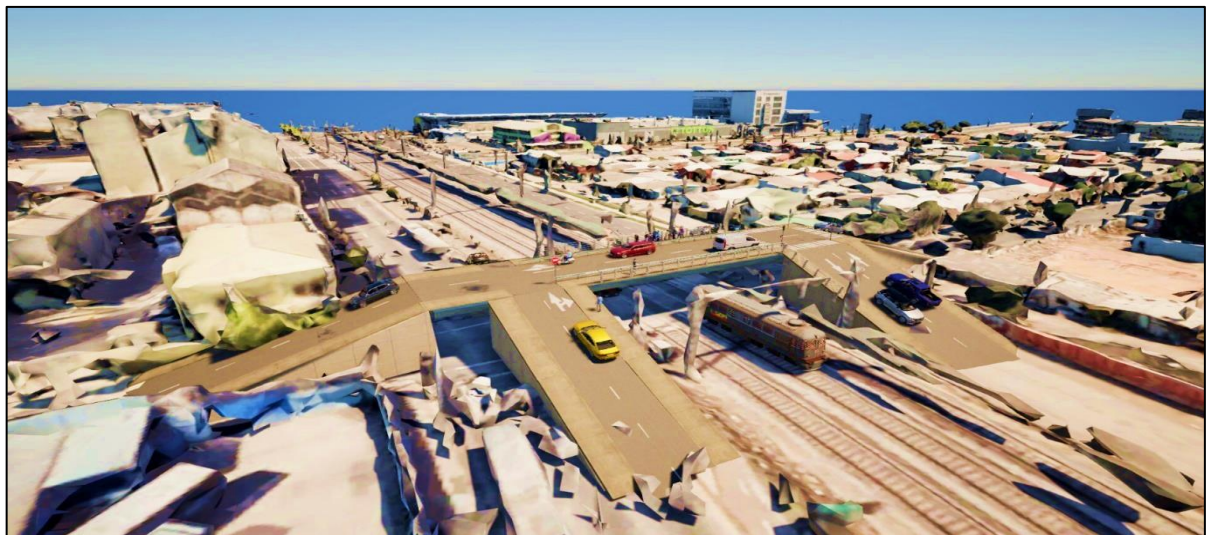


Figura 20: Foto Montaje Puente a Desnivel Cruce Desiderio Sanhueza

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 21: Foto Montaje Puente a Desnivel Cruce Desiderio Sanhueza

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 22: Foto Montaje Puente a Desnivel Cruce Desiderio Sanhueza

Fuente: Elaboración Propia.

La segunda alternativa constructiva planteada, que se considera igualmente altamente eficiente para el cruce ferroviario Desiderio Sanhueza, es el soterramiento del flujo vehicular. Esta solución asegura la independencia total entre el tránsito ferroviario y vehicular, además de ofrecer una integración visual menos invasiva con el entorno. En el apartado siguiente se detalla el método de soterramiento utilizando una tuneladora como técnica principal.

2.4.2 Soterramiento del Cruce Vehicular; Método Túnel Excavado con Tuneladora

El soterramiento con tuneladora consiste en la construcción de un túnel subterráneo para cruces vehiculares utilizando una máquina especializada denominada Tunnel Boring Machine (TBM). Este método permite excavar en diversos tipos de terreno, desde suelos blancos hasta roca dura, adaptándose a las condiciones geológicas y urbanas. La tuneladora avanza a través del terreno mientras corta, retira el material excavado y coloca anillos de revestimiento de hormigón prefabricado que garantizan la estabilidad estructural y la impermeabilidad del túnel.

Este diseño típico incluye sistemas de ventilación, drenaje y acabados de interiores para asegurar la funcionalidad y la seguridad del cruce vehicular. La profundidad de soterramiento y el diámetro del túnel se determinan según las características del proyecto, permitiendo su integración con la infraestructura vial existente. Este método es eficiente en zonas urbanas densas, minimizando impactos en la superficie durante su construcción.

A continuación, se presenta una imagen detallada que ilustra el funcionamiento del sistema mediante una tuneladora TBM.

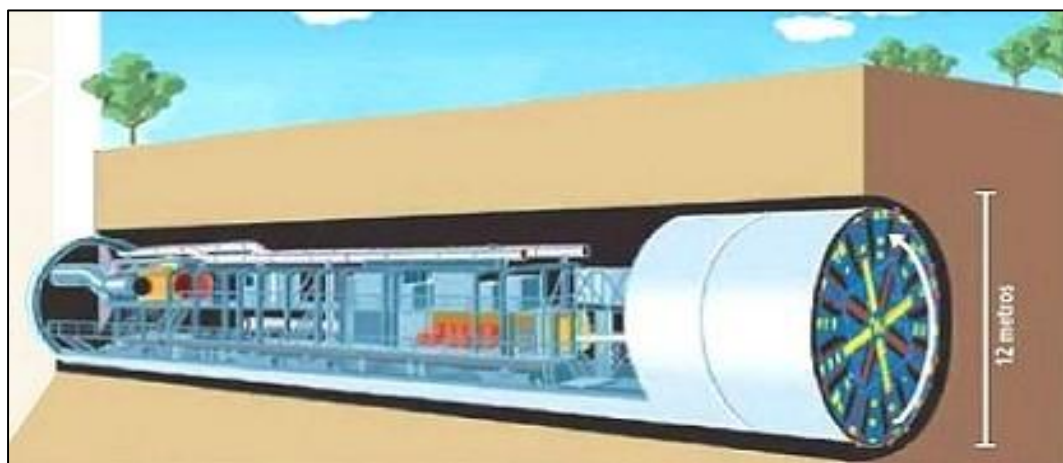


Figura 23: Ejemplificación de túnel con Tuneladora TBM.

Fuente: Elaboración Propia, extraída de internet.

Este método constructivo presenta las siguientes ventajas y desafíos para poder llevar a cabo el trabajo:

- Ventajas:
 - Permite construir en entornos urbanos densamente poblados sin interrumpir significativamente la actividad en la superficie.
 - La tuneladora proporciona un control detallado del proceso de excavación, reduciendo riesgos de deformaciones o asentamientos en el terreno.
 - Los túneles construidos con este método son altamente resistentes y están diseñados para soportar el paso de vehículos durante décadas.
 - Elimina intersecciones entre vehículos, peatones y trenes, reduciendo significativamente el riesgo de accidentes.
- Desafíos:
 - Requiere una inversión inicial considerable, tanto por el equipo especializado como por los materiales y obras complementarias.
 - El proceso es más lento en comparación con otras soluciones, debido al avance controlado de la tuneladora y a las obras de integración.
 - La tuneladora y sus sistemas requieren mantenimiento técnico altamente calificado durante el proceso de construcción.
 - La preparación del pozo de lanzamiento y los accesos al túnel pueden ser logísticamente complicados, especialmente en áreas urbanas congestionadas.

La construcción de túneles utilizando tecnología de tuneladora TBM está principalmente regulada por diversos segmentos de los volúmenes del Manual de Carreteras y por normativas chilenas como la NCh430.Of2008 y la NCh3357. A continuación, se presentan las consideraciones técnicas clave para la ejecución de este tipo de obras:

2.5.2.1 Consideraciones Técnicas del Método Túnel Excavado con Tuneladora en Conformidad con el Manual de Carreteras: Volúmenes N°3, N°5, N°6, N°7 y N°8.

1. Sección Transversal del Túnel:

El gálibo vertical mínimo recomendado es de 4,5 metros, con el propósito de garantizar el paso seguro de vehículos de gran tamaño. Para túneles con un solo carril por sentido, se establece un ancho mínimo de 3,5 metros por carril, mientras que, en túneles con dos carriles por sentido, se considera un ancho de 3,5 metros por carril, complementado con una berma lateral de 1 metro.

2. Especificaciones Técnicas para Hormigón:

El hormigón utilizado en el revestimiento del túnel debe tener una resistencia mínima a la compresión de 35 MPa, conforme a las especificaciones del “Manual de Carreteras en su Volumen N°5: Especificaciones Técnicas Generales de Construcción “.

3. Métodos de Ensayo y Control:

Se deben realizar tres ensayos en primer lugar, el de resistencia a la compresión del hormigón debe verificarse mediante ensayos en cilindros estándar que el hormigón cumple con lo especificado y asegurando que cumple con los valores en el diseño estructural. En segundo lugar, es necesario implementar un sistema de monitoreo geotécnico que incluya instrumentos como extensómetros y piezómetros, para detectar y registrar asentamientos y deformaciones durante y después de la construcción. Finalmente, se deben realizar ensayos geotécnicos del terreno, como sondeos, pruebas de penetración estándar (SPT) y análisis de laboratorio, con el fin de determinar las propiedades mecánicas y físicas del suelo y la roca, contribuyendo a la estabilidad y seguridad del proyecto, cumpliendo con lo indicado en el “Manual de Carreteras en su Volumen N°8: Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensayo y Control “.

4. Seguridad Vial y Mantenimiento:

La implementación de sistemas de ventilación, iluminación, señalización y dispositivos de emergencia, tales como salidas de evacuación y sistemas contra incendios, es crucial para garantizar la seguridad en los túneles. Asimismo, es indispensable establecer protocolos rigurosos de inspección y mantenimiento periódicos, que abarquen la revisión integral de los sistemas eléctricos, mecánicos y estructurales, con el objetivo de preservar la operatividad y prolongar la vida útil de la infraestructura.

Todo esto se encuentra normado por el Manual de Carreteras Volumen N°6: Seguridad Vial y el Volumen N°7: Mantenimiento Vial del "Manual de Carreteras".

2.4.2.2 Modelado de Soterramiento Vehicular en Cruce Ferroviario Desiderio Sanhueza.

En las siguientes imágenes se ilustra cómo se vería el soterramiento del cruce vehicular en el cruce ferroviario Desiderio Sanhueza, una solución que optimizaría tanto el tránsito vehicular como el ferroviario, brindando una mejora sostenible a largo plazo.



Figura 24: Foto Montaje de Soterramiento Cruce Ferroviario Desiderio Sanhueza.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 25: Foto Montaje de Soterramiento Cruce Ferroviario Desiderio Sanhueza.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 26: Foto Montaje de Soterramiento Cruce Ferroviario Desiderio Sanhueza.

Fuente: Elaboración Propia.

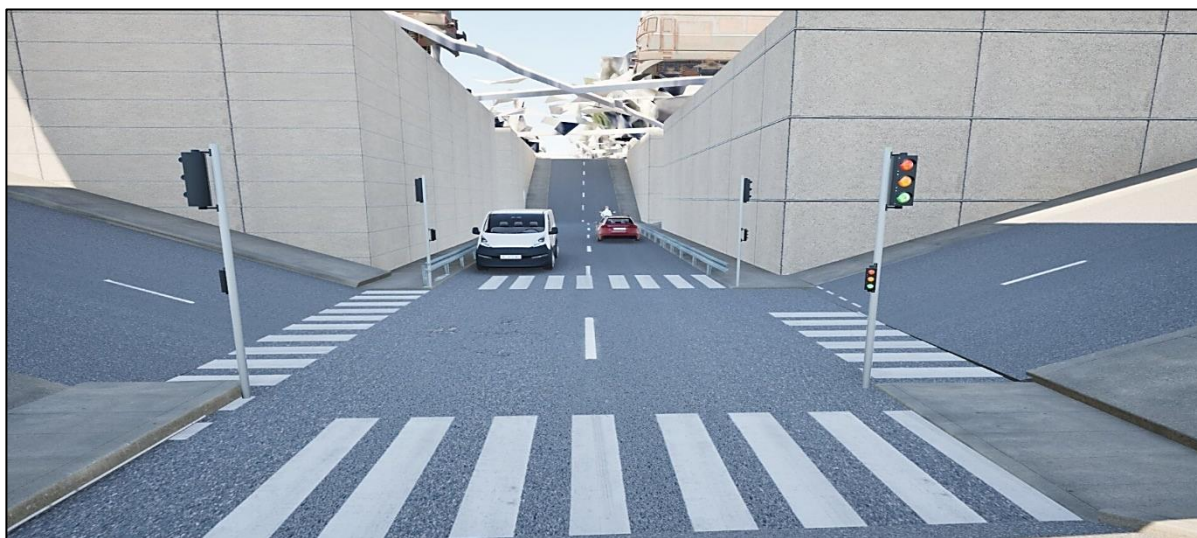


Figura 27: Foto Montaje de Soterramiento Cruce Ferroviario Desiderio Sanhueza.

Fuente: Elaboración Propia.

2.4.3 ANTECEDENTES TÉCNICOS

En este apartado se presenta un ensayo de mecánica de suelos proporcionado por la Dirección de Obras Municipales de la comuna de Concepción, relacionado con el tipo de suelo presente en el sector de Desiderio Sanhueza, específicamente en el punto 160, cercano al cruce ferroviario en estudio. denominado Cruce Ferroviario Desiderio Sanhueza. Este análisis tiene como propósito complementar la información disponible para realizar una comparación técnica de las soluciones constructivas, asegurando que se elija la alternativa más adecuada desde los puntos de vista técnico, económico y de tiempo.

2.4.3.1 Ensayo de Mecánica de Suelos

2. CARACTERÍSTICAS DEL SUBSUELO	
2.1 Antecedentes Geológicos El subsuelo del sector está constituido por arenas basálticas de granulometría fina a media y limos asociados al proceso de depositación fluvial del río Bío Bío, posiblemente en el Pleistoceno más reciente. La arena se caracteriza por su color gris oscuro y está compuesta principalmente por granos de basalto, fragmentos cristalinos de plagioclasa y magnetita, su densidad es relativamente alta. Los limos presentan un alto contenido de finos, en la mayoría de los casos muy baja o escasa plasticidad. Estos depósitos sedimentarios sobreyacen la roca basal que en el sector se estima a una profundidad del orden de 70 m.	
2.2. Perfil Estratigráfico El análisis de la información conduce a la modelación simplificada del subsuelo que se presenta a continuación.	
Horizonte 1: (0.00 a 4.60 m)	Superficialmente relleno heterogéneo de arenas, limos, escoria de acería y escombros. Más abajo arena fina limosa, color gris, compactidad suela y limo de alta compresibilidad, color gris de consistencia blanda a media. Este horizonte no es apto para la fundación de los edificios, por lo que debe ser extraído y reemplazado por relleno estructural.
Horizonte 2: (4.60 a 30.45 m)	Estratificaciones de arenas finas a medias, con poco fino y arenas finas a medias limosas, de fino no plástico, color gris, compacta a muy compacta. Se detectan horizontes de limos de alta y baja compresibilidad, no plásticos y plásticos, color gris, consistencia semidura a dura. El estrato se presenta saturado. Para la caracterización del estrato se utilizarán los siguientes parámetros :
Clasificación USCS	: SP-SM y SM para arenas : MH y ML para limos
Contenido de finos (bajo malla # 200 ASTM)	: 6% a 32% para arenas : 94% a 98% para limos
Índice de plasticidad, IP	: NP para arenas : NP a 22 para limos
Peso específico, G_s	: 2.79 para arenas : 2.58 para limos
Peso unitario saturado, γ_{sat}	: 2.12 T/m ³ para arenas : 1.73 T/m ³ para limos
Índice de Penetración Estándar, SPT	: 57 Golpes/30cm para arenas : 13 Golpes/30cm para limos
Velocidades de ondas de corte (V_s)	: 198 a 328 m/s
Módulo de Elasticidad, E_s	: 300 a 750 kg/cm ²

Página 5 de 21

Figura 28: Ensayo de mecánica de Suelo

Fuente: Proyecto Nuevo Centro, Dirección Municipal Concepción.

3. RECOMENDACIONES Y CONSIDERACIONES GENERALES 3.1. Tipo de Fundación Losa de hormigón armado apoyada sobre relleno estructural. 3.2. Sello de Fundación (S.F.) El Sello de Fundación quedará definido por proyecto de arquitectura y cálculo estructural. Se recomienda no menor a 1.00m respecto del nivel de terreno natural. 3.3. Mejoramiento Generalizado a toda el Área de Edificación En toda el área de edificación se deberá realizar un reemplazo de suelos conducido hasta una profundidad no menor a 4.60m, medido desde la superficie del terreno actual. 3.4. Sello de Excavación (S.E.) Quedará definido a la cota EL 4.18*, lo que en promedio representa una profundidad del orden de 4.40m medidos de la cota de terreno natural. El sello deberá presentar una superficie pareja y limpia, sin material removido, ni exceso de agua, y conformados por arena limosa. Se deberá retirar y reemplazar por relleno estructural todo bolsón de limo, rellenos heterogéneos y cualquier otro material extraño distinto de arena Bío Bío. El sello de excavación será extendido a toda el área de edificación más un sobreancho de 2.50m, medido desde el borde exterior de las fundaciones. La recepción final la realizará un profesional de esta oficina, con nota de aceptación conforme en Libro de Obras. *) Cota referida al levantamiento topográfico desideriosanhueza.dwg. 3.5. Excavación Generalizada y Estructuras de Retención Temporal Si existen los espacios necesarios, para alcanzar el sello de excavación se podrá recurrir a excavación de taludes con una pendiente no superior a la relación V:H =1:1. Independiente de lo anterior, desde el borde de talud y hasta una distancia horizontal de 2.00m no deberán existir muros medianeros, ni edificaciones, ni patios con sobrecarga, ni calles con tráfico vehicular. La ITO deberá verificar que el proceso constructivo considere los conceptos contenidos en la norma NCh349.Of1999 "Construcción-Disposiciones de seguridad en excavación". En todos los casos en donde no se disponga el espaciamiento indicado anteriormente, las excavaciones deben proyectarse con estructuras de retención temporal o socialzados, según corresponda. La evaluación de las estructuras de retención se deberá realizar con el proyecto de arquitectura y planos estructurales terminados. El diseño de las estructuras de retención y/o socialzados no están consideradas en el presente estudio. En caso de requerirse, se podrá solicitar a esta misma oficina u otra de ingeniería especializada, y su diseño deberá ajustarse a las recomendaciones y conceptos contenidos en la norma NCh3206.Of2010 "Geotecnia – Excavaciones, Entibaciones y Socialzados".
--

Página 7 de 21

Figura 29: Ensayo de mecánica de Suelo

Fuente: Proyecto Nuevo Centro, Dirección Municipal Concepción.

- El ensayo de mecánica de suelos determina lo siguiente:
 - **Horizonte N°1 (0,0 a 4,60 m de profundidad):** Se identifica un suelo compuesto por limos de baja plasticidad (ML) o alta plasticidad (MH), caracterizado por su alta compresibilidad y baja capacidad portante. Según el Manual de Carreteras, Volumen N°6, Geotecnia, este tipo de suelo se clasifica como Tipo N°6 (Suelos Cohesivos de Baja Capacidad Portante).

- **Horizonte N°2 (4,60 a 30,45 m de profundidad):** Predomina un suelo compuesto por arenas limosas compactas (SM) o arenas mal graduadas con limos (SP-SM), las cuales presentan una buena resistencia mecánica. Este suelo se clasifica como Tipo N°4 (Suelos Granulares con Moderado a Buen Comportamiento Estructural), de acuerdo con el mismo manual.

2.4.4 Cuadro Comparativo Técnico de Soluciones Constructivas

En el siguiente cuadro comparativo se detallan las características técnicas entre dos soluciones constructivas: Túnel Excavado con Tuneladora (TBM) y Puente a Desnivel (Muros TEM con Vigas Prefabricadas). El objetivo es analizar y comparar criterios clave, como métodos constructivos, costos, impacto ambiental y otros factores técnicos relevantes, para facilitar la elección de la solución más adecuada según el contexto del proyecto.

Criterio	Túnel Excavado con Tuneladora (TBM)	Puente a Desnivel (Muros TEM con vigas prefabricadas)
Método Constructivo	Excavación mecanizada con tuneladora (TBM), ideal para condiciones del Horizonte 2 (arenas compactas y limos semiduros).	Construcción de muros TEM sobre relleno estructural compactado en el Horizonte 1, con vigas prefabricadas para rapidez.
Profundidad	Generalmente mayor a 10 m, trabajando principalmente en el Horizonte 2 (estratos homogéneos y resistentes).	Altura típica de 4-6 m sobre el nivel del suelo, cimentación en el Horizonte 1 con mejoramiento previo.
Duración del Proyecto	12-36 meses debido a la complejidad del proceso de excavación y manejo de la napa freática.	6-18 meses gracias al uso de elementos prefabricados y menor impacto en la napa freática.
Impacto Ambiental	Menor impacto visual, pero posible afectación subterránea a flujos hídricos y licuación si no se gestiona adecuadamente.	Mayor impacto visual y potencial interferencia con hábitats superficiales, especialmente en áreas urbanas.

Requerimientos de Espacio	Ideal en zonas urbanas densas, menor ocupación superficial.	Requiere mayor espacio superficial para rampas y obras auxiliares, especialmente en accesos y salidas.
Costos de Construcción	Altos, debido al equipo especializado y sistemas para el control de la napa freática (rebaje continuo de agua).	Moderados, debido al menor uso de tecnología avanzada y la reutilización de materiales compactados.
Mantenimiento	Costoso, relacionado con sistemas de ventilación, drenaje y control estructural en túneles largos.	Más económico, limitado a reparaciones de juntas, pavimentos y tratamientos en muros TEM.
Ventilación y Drenaje	Necesidad de sistemas avanzados para ventilación forzada y drenaje continuo en suelos saturados como el Horizonte 2.	Sistemas básicos de drenaje suficientes, sin necesidad de ventilación.
Adaptabilidad Geotécnica	Ideal para el Horizonte 2 (arenas y limos compactos), pero requiere estudios avanzados para evitar asentamientos diferenciales.	Requiere mejoramiento integral del Horizonte 1 (relleno heterogéneo y susceptible a licuación).
Durabilidad	Alta, vida útil superior a 100 años con mantenimiento adecuado, con menos riesgo de deterioro externo.	Moderada a alta, vida útil de 50-75 años, con mayor desgaste por exposición a condiciones climáticas.
Flexibilidad ante Ampliaciones	Limitada, ampliaciones implican costos elevados y obras mayores.	Alta flexibilidad, posibilidad de adicionar carriles o modificar accesos.
Interferencia con Servicios Existentes	Alta posibilidad de interferencia con redes subterráneas en las capas superiores (Horizonte 1).	Menor interferencia, generalmente ajustable sin reubicaciones significativas.

Seguridad Operativa	Alta seguridad, adecuada protección ante sismos y condiciones climáticas adversas.	Menor en comparación con túneles, más expuesto a deslizamientos y riesgos climáticos.
Normativa Específica	Diseñado conforme a Volumen 3: Diseño Geométrico (cap. de túneles) y Volumen 4: Geotecnia y Estructuras del Manual de Carreteras.	Diseñado conforme a Volumen 3: Diseño Geométrico (cap. de puentes) y Volumen 5: Estructuras Prefabricadas del Manual de Carreteras.

Tabla 10: Cuadro comparativo de Soluciones Constructivas

Fuente: Elaboración Propia

2.5 CONCLUSIÓN

En conclusión, el análisis comparativo desarrollado en el capítulo dos demuestra que tanto el puente a desnivel construido mediante el método de muros TEM con vigas prefabricadas como el túnel excavado utilizando tuneladora TBM son soluciones técnicamente viables para el cruce ferroviario Desiderio Sanhueza.

El puente a desnivel se destaca por su menor costo y tiempos de ejecución, lo que lo convierte en una alternativa eficiente y práctica para una implementación a corto plazo. Su construcción, basada en técnicas probadas y materiales prefabricados, asegura estabilidad y adaptabilidad a las necesidades del proyecto. Sin embargo, su impacto visual y el espacio requerido para rampas de acceso representan desafíos en áreas densamente urbanizadas.

Por otro lado, el túnel con tuneladora TBM ofrece una solución de alta seguridad y menor impacto visual y ambiental, ideal para preservar el entorno urbano. Esta alternativa, aunque más costosa y con tiempos de ejecución más extensos, aprovecha las condiciones favorables del subsuelo profundo, garantizando una integración eficiente y sostenible.

Ambas opciones representan mejoras significativas en la seguridad vial y el flujo vehicular-ferroviario, pero considerando los criterios técnicos, económicos y el contexto de necesidades inmediatas, el puente a desnivel emerge como la solución más adecuada para abordar los desafíos actuales del cruce ferroviario, maximizando la relación costo-beneficio y contribuyendo al desarrollo sostenible de la Región del Biobío.

**CAPÍTULO 3: ANALIZAR LAS ALTERNATIVAS EN TÉRMINOS DE COSTO Y
TIEMPO DE EJECUCIÓN DEL CRUCE FERROVIARIO DESIDERIO SANHUEZA.**

3.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se lleva a cabo un análisis comparativo económico y de tiempo de las dos alternativas propuestas en el capítulo N°2 anterior, para resolver la mejor alternativa de solución ya sea a través de la construcción de un puente a desnivel mediante muros TEM con vigas prefabricadas o el soterramiento del cruce vehicular mediante túnel excavado con tuneladora TBM. Dicho análisis se centra en determinar los costos totales de ejecución y los plazos requeridos para la implementación de cada solución, estableciendo criterios objetivos de evaluación.

La importancia de este análisis radica en seleccionar la alternativa que presente la mejor relación costo-beneficio, asegurando la optimización de recursos, la reducción de tiempos de intervención y el cumplimiento de los estándares de seguridad vial y eficiencia estructural. Además, se consideran las implicancias en términos de desarrollo sostenible, tales como la disminución de emisiones de CO₂ y la mejora en la movilidad urbana, aspectos críticos en un cruce con alto Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) y relevancia estratégica para la conectividad de la Región del Biobío.

Con este estudio comparativo se proporcionarán los insumos necesarios para fundamentar la solución más adecuada desde una perspectiva técnica, económica y temporal, contribuyendo de manera efectiva a la mejora de la seguridad y funcionalidad del cruce ferroviario Desiderio Sanhueza.

3.2 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

La metodología de evaluación aplicable para este capítulo será desarrollada mediante:

- ♣ **Costo Total:** Se calcula considerando las partidas críticas y principales asociadas a la solución planteada, utilizando valores referenciales expresados en unidades globales. Este cálculo se basa en la comparación con proyectos que emplean metodologías constructivas equivalentes, permitiendo estimar costos preliminares en la etapa de anteproyecto.
- ♣ **Tiempo de Ejecución:** El análisis del tiempo de ejecución se realiza mediante una planificación detallada en una herramienta como Project, donde se proyectan ambas soluciones, identificando sus respectivas rutas críticas y estableciendo los plazos estimados para cada actividad.
- ♣ **Viabilidad Técnica:** Se evalúa la factibilidad técnica de ambas soluciones a través de un análisis comparativo estructurado en tablas, la determinación de los tiempos de ejecución mediante una carta Gantt elaborada en Project, y el cálculo preliminar del anteproyecto para cada alternativa propuesta.

3.2.1 Análisis de Costos:

La estimación presupuestaria se elaboró a partir de datos provenientes de fuentes confiables y representativas del sector construcción. Para ello, se consideraron las bases de costos proporcionadas por la **Cámara Chilena de la Construcción (CChC)**, que incluyen precios actualizados de materiales, equipos y mano de obra. Asimismo, se incorporaron antecedentes obtenidos de licitaciones públicas de proyectos de mayor envergadura, disponibles en plataformas como **Mercado Público y el Portal de Contratación Pública**. Además, se utilizaron los indicadores económicos e índices de inflación publicados por el Instituto **Nacional de Estadísticas (INE)**, asegurando así que el presupuesto refleje las condiciones actuales del mercado.

El análisis de costos resultante permitió obtener un presupuesto globalizado, técnicamente fundamentado y adaptado a las características específicas del proyecto.

➤ Presupuesto para Puente a Desnivel con Método de Muros TEM y Vigas Prefabricadas

▪ **Desglose del Presupuesto**

El presupuesto se organiza en categorías específicas, que abarcan los principales componentes del proyecto:

1. Obras Preliminares: Incluye la preparación del terreno, demoliciones y movimientos de tierra necesarios para habilitar la zona de intervención.
2. Estructura Principal: Considera la construcción de muros TEM y la fabricación, transporte e instalación de vigas prefabricadas, que constituyen la estructura central del puente.
3. Obras Complementarias: Contempla la implementación de sistemas de drenaje, iluminación, señalización y otras obras menores necesarias para garantizar la funcionalidad y seguridad del puente.
4. Gastos Generales: Se incluyen los costos indirectos asociados al desarrollo eficiente del proyecto, como administración de obra, instalaciones provisionales, logística, seguridad y contingencias.
5. Utilidades: Representan la retribución económica por la gestión, el riesgo asumido y la ejecución del proyecto, calculadas como un porcentaje del presupuesto total.

A continuación, se presenta el presupuesto globalizado para la solución de construcción de un puente a desnivel mediante el método de muros TEM con vigas prefabricadas. Este presupuesto integra de manera consolidada las categorías previamente mencionadas, proporcionando una visión general de los costos asociados al proyecto, con énfasis en su fundamentación técnica y económica:

ITEMIZADO ANTEPROYECTO PUENTE A DESNIVEL DESIDERIO SANHUEZA					
Propuesta:	Puente a Desnivel Muros TEM Desiderio Sanhueza				
Ubicación:	AV. Desiderio Sanhueza intersección Av.Manuel Montt con Av.Padre Alberto Hurtado				
Duración:	12 meses				
PRESUPUESTO ALTERNATIVA N°1					
ITEM	DESIGNACION	UN	CANT.	VALOR \$	Total \$
1	OBRAS PRELIMINARES				
1.1	Cierre Perimetral del Terreno	GL	1	\$ 7.500.000	\$ 7.500.000
1.2	Trazado Topográfico	GL	1	\$ 5.000.000	\$ 5.000.000
1.3	Desvíos de Servicios Existentes	GL	1	\$ 7.000.000	\$ 7.000.000
1.4	Habilitación de Caminos	GL	1	\$ 10.000.000	\$ 10.000.000
1.5	Instalación del Letrero	GL	1	\$ 3.500.000	\$ 3.500.000
2	INST. DE FAENA				
2.1	Inst. de containers en Terreno	GL	1	\$ 7.500.000	\$ 7.500.000
2.2	Preparación de Habilitación de Containers	GL	1	\$ 2.500.000	\$ 2.500.000
3	MOVIMIENTO DE TIERRA				
3.1	Despeje y Limpieza del Terreno	GL	1	\$ 50.000.000	\$ 50.000.000
3.2	Excavación y Nivelación	GL	1	\$ 100.000.000	\$ 100.000.000
3.3	Compactación y Relleno Inicial del Terreno	GL	1	\$ 150.000.000	\$ 150.000.000
4	CONSTRUCCIÓN DEL MURO TEM				
4.1	Inst. Soleras prefabricadas de reglaje	GL	1	\$ 100.000.000	\$ 100.000.000
4.2	Inst. de Escamas	GL	1	\$ 175.000.000	\$ 175.000.000
4.3	Apuntalamiento de Escamas	GL	1	\$ 75.000.000	\$ 75.000.000
4.4	Acuñado y Nivelación de Escamas	GL	1	\$ 60.000.000	\$ 60.000.000
4.5	Compactación de capas de terreplanado 95%	GL	1	\$ 75.000.000	\$ 75.000.000
4.6	Inst. Geotextil Geotrap 5	GL	1	\$ 200.000.000	\$ 200.000.000
4.7	Inst. Sistema de Drenaje	GL	1	\$ 150.000.000	\$ 150.000.000
5	FABRICACIÓN E INSTALACIÓN VIGAS PREFABRICADAS				
5.1	Fabricación Vigas con H° en planta certificada	GL	1	\$ 250.000.000	\$ 250.000.000
5.2	Preparación de Apoyos e Instalación de Vigas	GL	1	\$ 178.000.000	\$ 178.000.000
6	CARPETA DE RODADO DE ASFALTO				
6.1	Preparación de la Base	GL	1	\$ 32.500.000	\$ 32.500.000
6.2	Riego de Imprimación	GL	1	\$ 9.000.000	\$ 9.000.000
6.3	Preparación y transporte de la mezcla	GL	1	\$ 90.000.000	\$ 90.000.000
6.4	Colocación de la mezcla asfáltica	GL	1	\$ 40.000.000	\$ 40.000.000
6.5	Compactación	GL	1	\$ 17.500.000	\$ 17.500.000
6.6	Riego de Sello	GL	1	\$ 12.500.000	\$ 12.500.000
7	FINALIZACIÓN Y ACABADO				
7.1	Sellos y Juntas	GL	1	\$ 30.000.000	\$ 30.000.000
7.2	Elementos de Seguridad	GL	1	\$ 100.000.000	\$ 100.000.000
	SUBTOTAL				\$ 1.904.500.000
	GASTOS GENERALES			44,00%	\$ 837.980.000
	UTILIDADES			15,00%	\$ 285.675.000
	SUBTOTAL NETO				\$ 3.028.155.000
	IVA			19,00%	\$ 575.349.450
	VALOR TOTAL DEL PROYECTO				\$ 3.603.504.450

Figura 28: Presupuesto globalizado Puente a Desnivel Muros TEM

Fuente: Elaboración Propia

➤ Presupuesto para soterramiento de cruce vehicular en cruce ferroviario Desiderio Sanhueza con Tuneladora TBM

▪ **Desglose del Presupuesto**

El presupuesto se organiza en categorías específicas, que abarcan los principales componentes del proyecto:

1. Obras Preliminares: Incluyen las actividades iniciales necesarias para preparar y habilitar el terreno, tales como el cierre perimetral, el trazado topográfico, los desvíos de servicios existentes, la habilitación de caminos y la instalación de señalética informativa.
2. Movimiento de Tierra y Estructura Principal: Comprende la excavación del túnel mediante tuneladora TBM, la preparación del pozo de ataque y la instalación de dovelas prefabricadas que conforman el revestimiento estructural del túnel, asegurando su estabilidad y resistencia.
3. Obras Complementarias: Contemplan la instalación de sistemas de drenaje, sistemas eléctricos e iluminación, ventilación, pavimentación de rampas de acceso y los trabajos de losa de rodado dentro del túnel. Estas obras garantizan la funcionalidad, operatividad y conexión eficiente de la infraestructura.
4. Acabados y Finalización: Incluyen la ejecución de trabajos finales, como la colocación de sellos y juntas de pavimentación, demarcación vial y la implementación de sistemas de señalización y seguridad, cumpliendo con las normativas vigentes.
5. Gastos Generales: Consideran los costos indirectos asociados al desarrollo eficiente del proyecto, tales como la administración de obra, instalaciones provisionales, logística, seguridad y contingencias, asegurando la correcta ejecución del proyecto.
6. Utilidades: Representan la retribución económica por la gestión, ejecución y los riesgos asumidos durante el desarrollo del proyecto, calculadas como un porcentaje del presupuesto total.

Seguidamente, se presenta el presupuesto global estimado para la segunda alternativa, que contempla la construcción de un soterramiento vehicular utilizando el método de tuneladora TBM. Este presupuesto se ha elaborado tomando como referencia costos de proyectos con características similares, los cuales se detallan a continuación:

ITEMIZADO ANTEPROYECTO SOTERRAMIENTO CRUCE DESIDERIO SANHUEZA CON TUNELADORA TBM					
Propuesta:	Soterramiento cruce Desiderio Sanhueva con Tuneladora TBM				
Ubicación:	Desiderio Sanhueva c/n Av. Manuel Montt y Av. Padre Alberto Hurtado				
Duración:	24 meses				
PRESUPUESTO ALTERNATIVA N°2					
ITEM	DESIGNACION	UN	CANT.	VALOR	Total \$
1	OBRAS PRELIMINARES				
1.1	Cierre Perimetral del Terreno	GL	1	\$ 70.000.000	\$ 70.000.000
1.2	Trazado Topográfico	GL	1	\$ 50.000.000	\$ 50.000.000
1.3	Desvíos de Servicios Existentes	GL	1	\$ 10.000.000	\$ 10.000.000
1.4	Habilitación de Caminos	GL	1	\$ 20.000.000	\$ 20.000.000
1.5	Instalación del Letrero	GL	1	\$ 5.000.000	\$ 5.000.000
2	INSTALACIÓN DE FAENA				
2.1	Instalación de Containers en Terreno	GL	1	\$ 150.000.000	\$ 150.000.000
2.2	Preparación de habilitación de Containers	GL	1	\$ 250.000.000	\$ 250.000.000
3	MOVIMIENTO DE TIERRA				
3.1	Preparación Pozo de Ataque	GL	1	\$ 700.000.000	\$ 700.000.000
3.2	Excavación del Túnel con TBM	GL	1	\$ 1.500.000.000,00	\$ 1.500.000.000
3.3	Soporte temporal Excavación	GL	1	\$ 300.000.000	\$ 300.000.000
4	PREPARACIÓN DE DOVELAS				
4.1	Producción e Inst. Dovelas Prefabricadas	GL	1	\$ 1.800.000.000	\$ 1.800.000.000
5	SISTEMA DE DRENAJE				
5.1	Instalación Sistema de Drenaje	GL	1	\$ 450.000.000	\$ 450.000.000
6	INTERIOR DEL TÚNEL				
6.1	Inst. Sistema de Ventilación	GL	1	\$ 1.200.000.000	\$ 1.200.000.000
6.2	Inst. Sistema Eléctrico e Iluminación	GL	1	\$ 1.000.000.000	\$ 1.000.000.000
7	RAMPA DE ACCESO				
7.1	Preparación de Terreno Rampa de Acceso	GL	1	\$ 500.000.000	\$ 500.000.000
7.2	Pavimentación de Rampa de Acceso	GL	1	\$ 700.000.000	\$ 700.000.000
8	LOSA DE RODADO TÚNEL				
8.1	Pavimentación Interna del Túnel	GL	1	\$ 1.500.000.000	\$ 1.500.000.000
9	ACABADO Y FINALIZACIÓN				
9.1	Sellos y Juntas de Pavimentación	GL	1	\$ 200.000.000	\$ 200.000.000
9.2	Demarcación	GL	1	\$ 100.000.000	\$ 100.000.000
9.3	Sistema de Señalización y Seguridad	GL	1	\$ 300.000.000	\$ 300.000.000
	SUBTOTAL				\$ 10.735.000.000
	GASTOS GENERALES			44,00%	\$ 4.723.400.000
	UTILIDADES			15,00%	\$ 1.610.250.000
	SUBTOTAL NETO				\$ 17.068.650.000
	IVA			19,00%	\$ 3.243.043.500
	VALOR TOTAL DEL PROYECTO				\$ 20.311.693.500

Figura 29: Presupuesto globalizado Soterramiento Tuneladora TBM

Fuente: Elaboración Propia

3.2.2 Comparación de Costos Totales

El presente cuadro compara dos soluciones de infraestructura: Puente a Desnivel con Muros TEM y el Túnel con Tuneladora TBM, evaluando criterios económicos, técnicos y de impacto constructivo:

Cuadro comparativo Económico		 Soterramiento Tuneladora TBM	 Puente a Desnivel Muros TEM
 Costo Total del Proyecto (\$)		\$20.311.693.500	\$3.603.504.450
 Costo Neto Subtotal (\$)		\$17.068.650.000	\$3.028.155.000
 Costo de Movimiento de Tierra (\$)		\$2.500.000.000	\$200.000.000
 Costo de Obras Preliminares (\$)		\$175.000.000	\$7.500.000
 Costo de Sistemas de Drenaje (\$)		\$450.000.000	\$150.000.000
 Costo de Preparación de Faena (\$)		\$400.000.000	\$10.000.000

Tabla 11: Cuadro comparativo de Costos de Soluciones Constructivas

Fuente: Elaboración Propia

El túnel TBM representa una alternativa con una inversión inicial significativamente más elevada, siendo su costo total 5,6 veces superior al del puente a desnivel. Esta diferencia se refleja también en el costo mensual promedio, que resulta 4,2 veces mayor, lo que evidencia no solo una mayor demanda de recursos financieros durante su ejecución, sino también la complejidad técnica y la magnitud de las obras requeridas. A largo plazo, si bien el túnel ofrece una vida útil más extensa, su costo promedio anual sigue siendo 3,3 veces superior al del puente a desnivel, lo que plantea un desafío en términos de sostenibilidad económica y justificación presupuestaria.

Por otro lado, el puente a desnivel utilizando muros TEM se presenta como la solución más eficiente, ya que además de ser considerablemente más económica, permite una ejecución más rápida en comparación con el túnel TBM, lo que lo convierte en una alternativa técnica y financieramente más viable.

3.2.3 Análisis de Tiempos de Ejecución

3.2.3.1 Puente a Desnivel

El puente a desnivel, utilizando la tecnología de muros TEM con vigas pretensadas prefabricadas, tiene un tiempo estimado de construcción que varía entre **6 y 18 meses**. A continuación, se presenta una **carta Gantt** elaborada en **Project**, donde se distribuyen los tiempos de las diferentes partidas, ajustándose a un plazo total de **12 meses**.

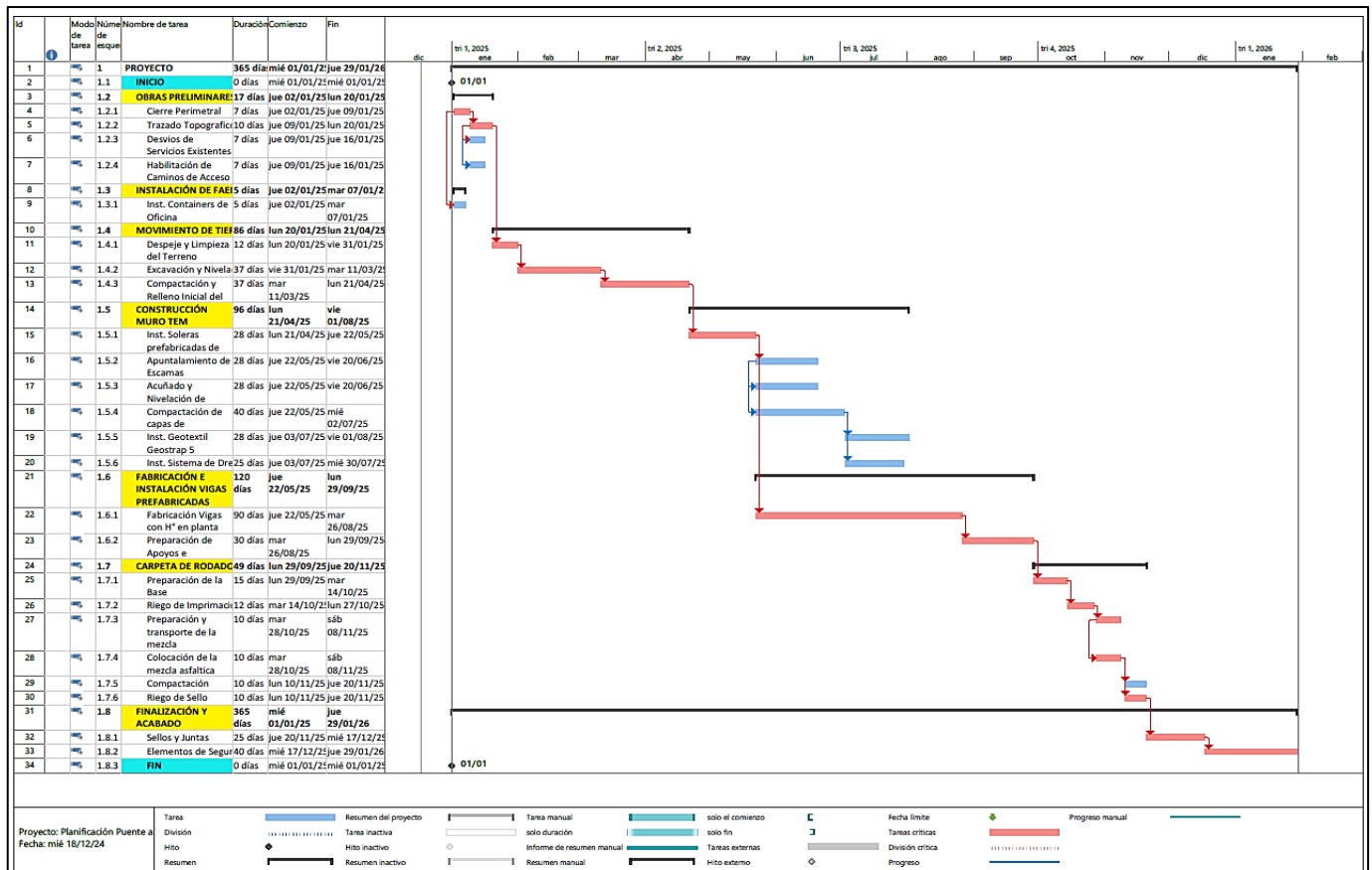


Figura 30: Carta Gantt Puente a Desnivel Muros TEM

Fuente: Elaboración Propia

3.2.3.2 Soterramiento Vehicular

El soterramiento vehicular, utilizando la tecnología de la máquina tuneladora (TBM), tiene un tiempo estimado de ejecución que varía entre **12 y 36 meses**. Este rango depende principalmente del período requerido para la fabricación de la tuneladora, diseñada específicamente para el modelo constructivo del proyecto. A continuación, se presenta una **carta Gantt** elaborada en **Project**, donde se distribuyen las actividades correspondientes al soterramiento, ajustando el plazo de ejecución a **24 meses**. Cabe señalar que este cronograma no incluye el tiempo asociado a la fabricación de la tuneladora.

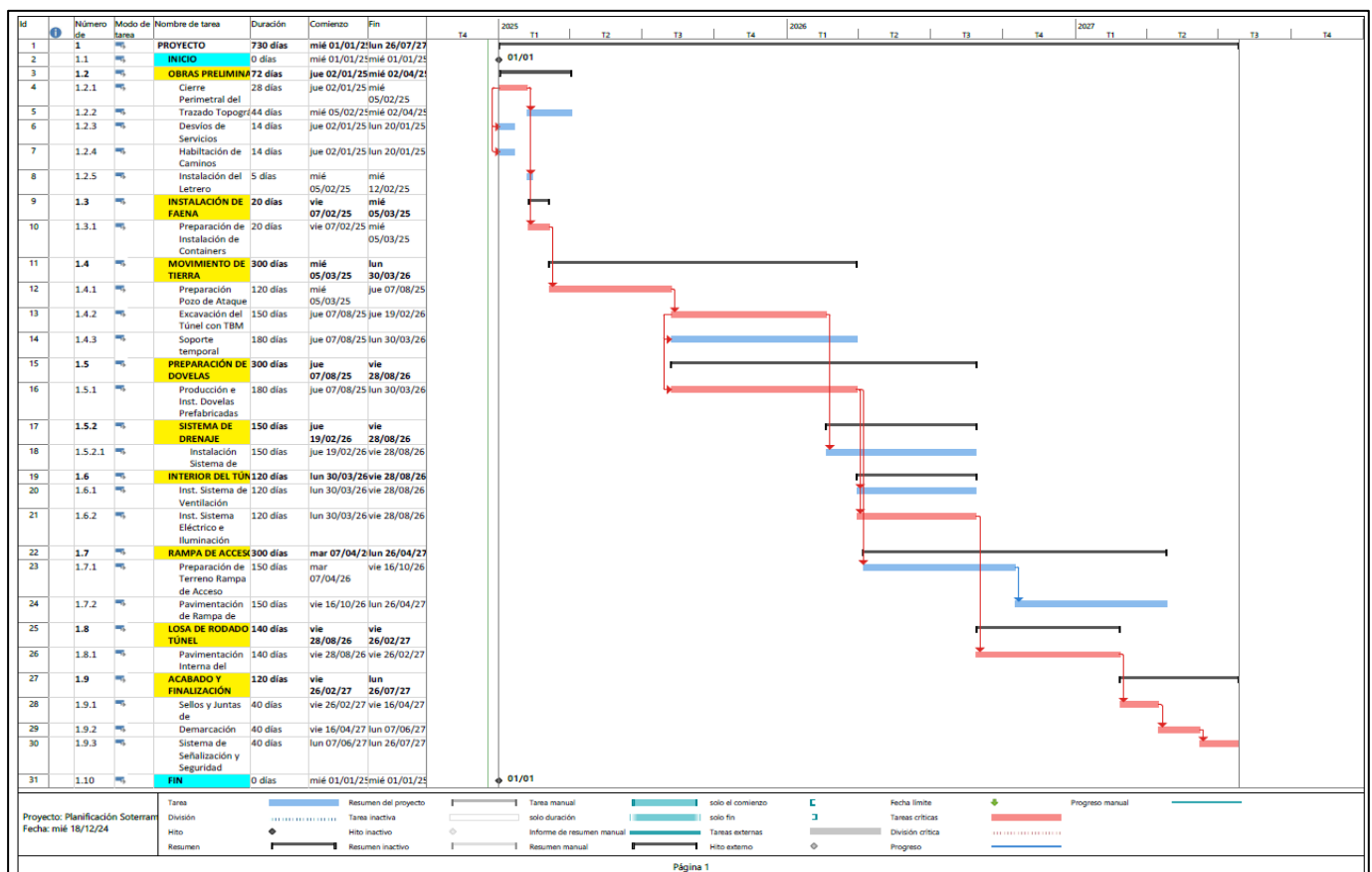


Figura 31: Carta Gantt Soterramiento Tuneladora TBM

Fuente: Elaboración Propia

3.2.3.3 Comparación de Tiempos

A continuación, se adjunta un cuadro comparativo de tiempos entre ambas alternativas de soluciones:

 Comparación de tiempos de ejecución		
Item	Carta Gantt Puente a Desnivel	Carta Gantt Soterramiento
 Duración Total	365 días (1 año)	730 días (2 años)
 Numero de Fases	5 Fases Principales	9 Fases Principales
 Ruta Crítica	60 % de las tareas críticas	55 % de las tareas críticas
 Duración de la Ruta Crítica	218 días	401 días

Figura 32: Cuadro comparativo de ejecución de tiempos

Fuente: Elaboración Propia

El proyecto de Puente a Desnivel tiene una duración total de 1 año (365 días) y consta de 5 fases principales enfocadas en tareas de construcción convencionales, mientras que el proyecto de Soterramiento abarca 2 años (730 días) y 9 fases principales que integran sistemas complejos como drenaje, acabados interiores y rampas. El 60% de las tareas en el Puente son críticas, con una duración de ruta crítica de 218 días, mientras que en el Soterramiento el 55% son críticas, extendiéndose por 401 días. Esto refleja que el soterramiento, por su mayor complejidad técnica y volumen de trabajo, requiere más tiempo de ejecución, siendo la metodología del Puente a Desnivel un 50% más rápida.

3.3 EVALUACIÓN COMPARATIVA GLOBAL

<u>Evaluación Global</u>		
 Item	 PUENTE A DESNIVEL MÉTODO MUROS TEM	 SOTERRAMIENTO VEHICULAR TUNELADORA TBM
 Costo Total CLP	\$3.603.504.450	\$20.311.693.500
 Tiempo de Ejecución	12 meses	24 meses
 Ventajas	• Construcción rápida • Bajo costo de ejecución • Reducción de Interrupción	• Impacto visual bajo • Alta durabilidad • Compatibilidad con zonas densas
 Desventajas	• Impacto visual alto • Requiere ancho de la calzada.	• Costo muy elevado • Complejidad técnica elevada • Riesgo con napas subterráneas

Figura 33: Cuadro de comparativa Global

Fuente: Elaboración Propia

3.3.1 Relación Costo-Beneficio

3.3.1.1 Impacto en el flujo vehicular/ferroviario:

Ambas soluciones eliminan interacciones entre tráfico vehicular y ferroviario. Sin embargo, el soterramiento vehicular ofrece una integración más eficiente al minimizar interferencias superficiales.

❖ **Ahorro en emisiones y tiempo perdido:**

- **Puente a desnivel**: Permite una reducción del 60% en tiempos de espera vehicular gracias a su implementación rápida y efectiva.
- **Soterramiento Vehicular**: Mejora significativamente la movilidad a largo plazo, con una disminución proyectada de emisiones en un 30% adicional frente al puente.

❖ **Viabilidad Presupuestaria**

El puente a desnivel es considerablemente más viable desde una perspectiva de costos iniciales y tiempos de recuperación de la inversión. En contraste, el soterramiento vehicular presenta costos de implementación y mantenimiento mucho más elevados, lo que dificulta su justificación en el corto plazo.

3.4 CONCLUSIÓN

El análisis realizado en este capítulo, enfocado en evaluar las alternativas de solución para el cruce ferroviario Desiderio Sanhueza en términos de costos y tiempos de ejecución, permite concluir que el puente a desnivel mediante muros TEM con vigas prefabricadas es la solución más adecuada según los objetivos específicos del capítulo. Esta alternativa destaca por su menor costo de implementación, eficiencia constructiva y tiempos de ejecución más cortos, lo que responde a la necesidad de una intervención ágil y económicamente viable.

Aunque el soterramiento vehicular representa una alternativa robusta en términos de separación de flujos y beneficios a largo plazo, su elevado costo y mayor complejidad técnica no se alinean plenamente con los objetivos de este capítulo, que priorizan soluciones efectivas y eficientes en el corto plazo.

Por lo tanto, el puente a desnivel se establece como la opción más coherente con los objetivos de optimizar los recursos económicos y minimizar los tiempos de intervención, sin dejar de garantizar mejoras significativas en la seguridad vial y la operatividad del cruce.

CONCLUSIÓN GENERAL

El presente proyecto alcanzó el objetivo general de comparar técnica y económicamente alternativas para la mejora de la seguridad vial en el cruce ferroviario Desiderio Sanhueza, situado en la línea L1 del Biotrén Concepción–Talcahuano y la línea L2 Concepción–Coronel. Este análisis se sustentó en el cumplimiento de los objetivos específicos, que guiaron la identificación de las problemáticas existentes, el desarrollo de soluciones potenciales y la evaluación de sus costos y tiempos de implementación.

Respecto al primer objetivo específico, se identificaron los factores y causas que generan inseguridad vial en el cruce. Los hallazgos destacaron deficiencias en la infraestructura, tales como pendientes que superan los límites normativos, ángulos de intersección que comprometen la visibilidad, y fallas recurrentes en los sistemas de barreras. Además, se constató un comportamiento imprudente por parte de los usuarios y una alta densidad de tránsito vehicular y ferroviario, lo que incrementa el riesgo de incidentes y afecta la operatividad del Biotrén.

En relación con el segundo objetivo específico, se desarrollaron dos alternativas técnicas de solución: un puente a desnivel basado en el método de muros TEM con vigas prefabricadas, y un sistema de soterramiento vehicular mediante tuneladora TBM. Ambas propuestas fueron diseñadas para abordar las problemáticas identificadas, asegurando una separación física de los flujos vehicular y ferroviario, con énfasis en la reducción de riesgos y la mejora de la eficiencia operativa.

Finalmente, el tercer objetivo específico permitió realizar un análisis comparativo de estas alternativas en términos de costos y tiempos de ejecución. El puente a desnivel destacó por su eficiencia constructiva, tiempos reducidos de implementación y menor costo global, mientras que el soterramiento vehicular se presentó como una opción más robusta y sostenible a largo plazo, aunque con mayores exigencias económicas y técnicas.

En conclusión, el análisis permitió proponer soluciones viables alineadas con las normativas, estableciendo una base técnica y económica para optimizar la seguridad vial y la operatividad del cruce ferroviario Desiderio Sanhueza, contribuyendo al desarrollo sostenible y a mejorar la calidad de vida en la Región del Biobío.

BIBLIOGRAFIA

- ❖ Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2023). Manual de Carreteras: Volumen 1 - Planificación y Desarrollo Vial. Santiago, Chile: Dirección de Vialidad.
- ❖ Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2024). Manual de Carreteras, Volumen N.º 2: Procedimientos de Estudios Viales. Dirección de Vialidad, Santiago, Chile. Resolución Exenta DV N.º 1677.
- ❖ Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2023). Manual de Carreteras: Volumen 3 - Diseño Geométrico. Santiago, Chile: Dirección de Vialidad.
- ❖ Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2019). Manual de Carreteras, Volumen N.º 5: Especificaciones Técnicas Generales de Construcción. Dirección de Vialidad, Santiago, Chile. Resoluciones Exentas N.º 1705 y N.º 2213.
- ❖ Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2022). Manual de Carreteras, Volumen N.º 6: Seguridad Vial. Dirección de Vialidad, Santiago, Chile. Resoluciones Exentas N.º 1705 y N.º 2213.
- ❖ Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2023). Manual de Carreteras: Volumen 9 - Estudios y Criterios Ambientales. Santiago, Chile: Dirección de Vialidad.
- ❖ Reglamento Técnico Ferroviario (RTF). (2017). Santiago, Chile: Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.
- ❖ CONASET. (2023). Informe Anual de Seguridad Vial en Chile. Santiago, Chile.

LINKOGRAFÍA

- ❖ Diario Concepción. (2024). “Proyectos de soterramiento en cruces ferroviarios”. Disponible en: www.diarioconcepcion.cl
- ❖ Biotrén. (2024). “Horarios y servicios”. Disponible en: www.efe.cl/biotren
- ❖ Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. (2024). “Estudios sobre seguridad ferroviaria”. Disponible en: www.mtt.gob.cl
- ❖ Tierra Armada. (2024). “Soluciones constructivas para infraestructura vial”. Disponible en: www.tierraarmada.cl
- ❖ Unidad Operativa de Control de Tránsito (UOCT Biobío). (2024). “Informes de tránsito”. Disponible en: www.uoctbiobio.cl