



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

**ESTUDIO A NIVEL DE INGENIERÍA CONCEPTUAL DE ALTERNATIVAS DE  
TRAZADOS VIALES PARA LA RUTA 60-CH TRAMO JUNCAL-PORTILLO**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**IGNACIO EDUARDO OSVALDO MUÑOZ TOLOZA**

PROFESOR GUÍA:  
RODOLFO MÉNDEZ JOJOT

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
ADOLFO OCHOA LLANGATO  
SAÚL GALÁZ BAEZA

SANTIAGO DE CHILE

2021

**RESUMEN DE MEMORIA PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE:** Ingeniero Civil con mención  
en Estructuras, Construcción y Geotecnia.  
**POR:** Ignacio Eduardo Muñoz Toloza  
**FECHA:** 26/07/2021  
**PROFESOR GUÍA:** Rodolfo Méndez

## **ESTUDIO A NIVEL DE INGENIERÍA CONCEPTUAL DE ALTERNATIVAS DE TRAZADOS VIALES PARA LA RUTA 60-CH TRAMO JUNCAL-PORTILLO**

En el presente trabajo de título, se realiza un estudio a nivel de ingeniería conceptual de múltiples alternativas de trazados viales para la ruta 60-Ch, en el tramo Juncal-Portillo, realizando una comparación técnica – económica entre los trazados propuestos. Lo anterior considerando las problemáticas geomorfológicas y climáticas al estar en una zona correspondiente a la media/alta montaña en la cordillera de Los Andes, que provoca que el Paso Sistema Cristo Redentor se cierre al tránsito de vehículos en 26 días promedio al año.

El trabajo de título se realiza para la Consultora Ingeniería El Alba LTDA, quien a su vez tiene como mandante a la Dirección de Vialidad – Departamento de Licitaciones, del Ministerio de Obras Públicas (MOP), el cual saca a concurso público el Proyecto: *“ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD CONSTRUCCIÓN PAR VIAL, SECTOR JUNCAL - PORTILLO Y AMPLIACIÓN RUTA 60-CH, PORTILLO - TÚNEL DEL CRISTO REDENTOR, REGIÓN DE VALPARAÍSO”*, del cual se enmarca el presente trabajo.

El estudio desarrollado corresponde a la fase inicial de un proyecto de ingeniería, un estudio preliminar asociado a un análisis de Prefactibilidad. La metodología de este trabajo de título se basa en el orden lógico propuesto por la Dirección de Vialidad, sumado a características propias del proyecto como serían los estudios de Riesgos Naturales, que influyen directamente en la determinación final de los trazados propuestos. De esta forma, el informe se compone de una completa recopilación de antecedentes de la Ruta 60-Ch, de la ingeniería básica del área de influencia, de estudios de los múltiples Riesgos Naturales que afectan el sector, para finalmente realizar una propuesta de 4 alternativas de trazados viales, con sus respectivos presupuestos preliminares.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia, quienes me formaron como persona y me han dado su apoyo toda mi vida para lograr mis objetivos. Agradecimiento, admiración y respeto por todo el esfuerzo que han dedicado a lo largo de sus vidas. Gracias a mis padres, hermanas, abuelos, tíos y primos.

Quiero agradecer a todos mis amigos que han compartido conmigo este viaje, tanto en el colegio como en la universidad he conocido tremendas personas, de las cuales he podido generar valiosos momentos y recuerdos que mantendré toda mi vida.

Agradecer a mi Profesor Guía, Don Rodolfo Méndez, quien me dio la oportunidad de realizar este trabajo de título, además de poder obtener mi primera experiencia profesional.

Agradecer al Profesor Adolfo Ochoa, quien me apoyó con el trabajo de título. También por su gran disposición y enseñanzas, tanto en el trabajo de título como en los ramos que tuve con él.

Agradecer a Saúl Galaz por integrar la comisión y aportar desde su experiencia.

# TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos .....	2
1.1.1. Objetivo General .....	2
1.1.2. Objetivos Específicos.....	2
1.2. Alcances del Trabajo.....	2
1.3. Metodología General y Estructura del Trabajo.....	3
<b>2. ANTECEDENTES RUTA 60-CH .....</b>	<b>4</b>
2.1. Descripción e Importancia de la Ruta .....	4
2.1.2. Tramo Los Andes – Túnel Cristo Redentor.....	5
2.2. Situación Tramo Juncal – Portillo .....	8
2.3. Estructuras .....	10
2.3.1. Puentes.....	10
2.3.2. Muros y Obras de Contención.....	11
2.3.3. Cobertizos.....	13
2.3.4. Trinchera Cubierta (TC) .....	15
2.3.5. Túnel Falso.....	16
2.4. Antiguo Trazado Ferrocarril Trasandino .....	17
2.5. Áreas de Interés Turístico y Paisajístico .....	20
2.6. Características de la Demanda .....	21
<b>3. INGENIERÍA BÁSICA .....</b>	<b>25</b>
3.1. Geología .....	25
3.2. Geomorfología .....	27
3.3. Hidrología .....	29
3.4. Hidrogeología .....	32
<b>4. ESTUDIOS RIESGOS NATURALES .....</b>	<b>34</b>
4.1. Riesgos Geológicos.....	34
4.1.1. Depósitos de Escombrera de Ladera de Cerro.....	35
4.1.2. Remociones en Masa .....	37
4.1.3. Depósitos Fluviales a Fluvio – Aluviales. ....	38
4.1.4. Depósitos de Flujos de Barro o Detritos.....	38
4.2. Riesgos Geomorfológicos.....	40

4.3.	Riesgos hidrológicos .....	47
4.3.1.	Ubicación .....	47
4.3.2.	Riesgos Asociados al Sector de Estudio.....	49
4.4.	Riesgos Nivelógicos y Avalanchas .....	50
4.4.1.	Nivoclimatología.....	50
4.4.2.	Sendas de Avalanchas .....	54
4.5.	Amenaza sísmica .....	55
4.6.	Amenaza volcánica .....	57
<b>5.</b>	<b>PROPUESTA DE ALTERNATIVAS .....</b>	<b>60</b>
5.1.	Proposición de Corredores Tramo Juncal – Portillo .....	60
5.1.1.	Corredor Ojos de Agua .....	61
5.1.2.	Corredor Río Juncal .....	62
5.2.	Resumen de Alternativas .....	66
5.3.	Ampliación a Doble Calzada Tramo Portillo – Túnel Cristo Redentor .....	67
<b>6.</b>	<b>PRESUPUESTOS PRELIMINARES .....</b>	<b>68</b>
6.1.	Estimación Construcción Proyectos de Camino .....	68
6.1.1.	Nuevo Trazado .....	68
6.1.2.	Mejoramiento de Estándar .....	69
6.1.3.	Ampliación a Doble Calzada .....	69
6.1.4.	Cobertizos.....	70
6.2.	Estimación Costos de Construcción de Túneles.....	71
6.2.2.	Constructibilidad – Método de Excavación.....	77
6.2.3.	Estimación de Costos .....	78
6.2.4.	Costos de Desarrollo de Túnel .....	82
6.3.	Estimación Preliminar de Costos por Alternativas .....	84
6.3.1.	Cubicaciones.....	84
6.3.2.	Resumen Precios Unitarios .....	86
6.4.	Presupuestos por Alternativas .....	87
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>87</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>89</b>
<b>A.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>91</b>
A1.	Áreas de Interés Turístico y Paisajístico .....	91
A2.	Cubicación Costo Trazado Ferrocarril Trasandino .....	97

## ÍNDICE DE TABLAS

Cuadro N°2-1	Sectores Característicos Ruta 60-Ch .....	7
Cuadro N°2-2	Puentes Existentes .....	10
Cuadro N°2-3	Atractivos Turísticos en el área de estudio .....	20
Cuadro N°2-4	Información PNC dentro del Área de Análisis. Flujos Año 2019....	21
Cuadro N°2-5	Información Tránsito Los Libertadores, Peaje Cristo Redentor ....	22
Cuadro N°2-6	Información flujo de carga Peaje Cristo Redentor .....	22
Cuadro N°2-7	Análisis de Cargas Puerto San Antonio.....	23
Cuadro N°2-8	Flujo de Camiones Puerto Terrestre Los Andes .....	24
Cuadro N°3-1	Formaciones Geológicas del área de estudio .....	26
Cuadro N°4-1	Eventos Ocurridos en esta Zona .....	42
Cuadro N°4-2	Clase de Pendientes .....	45
Cuadro N°4-3	Catastro de Sismos Importantes y/o destructivos de la región de Valparaíso.....	56
Cuadro N°5-1	Detalle Estructuras Trazado Ferrocarril Trasandino.....	63
	Fuente: Estudio RyQ (2007).....	63
Cuadro N°6-1	Cubicación Precio Ampliación Doble Calzada. ....	70
Cuadro N°6-2	Cubicación Precio Estructuras a partir de Estudio DDQ-Asistecsa (1995).....	70
Cuadro N°6-3	Distribución porcentual preliminar de clases de soporte para evaluación económica del túnel .....	71
Cuadro N°6-4	Costos Construcción Nuevo Túnel Inmerso Completamente en el Macizo.....	82
Cuadro N°6-5	Costos construcción Nuevo Túnel Superficial, cercano a ladera del macizo.....	82
Cuadro N°6-6	Costos de construcción de ampliación de túnel existente .....	83
Cuadro N°6-7	Resumen de Longitud y Pendiente Media de Alternativas.....	86
Cuadro N°6-8	Presupuestos por Alternativa .....	87

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°2-1	Emplazamiento paso Los Libertadores Contexto Sudamericano ...	4
Figura N°2-2	Tramo Los Andes – Cristo Redentor Ruta 60CH.....	5
Figura N°2-3	Perfil Longitudinal Tramo Los Andes – Cristo Redentor.....	6
Figura N°2-4	Red Vial y Área de Estudio.....	8
Figura N°2-5	Curvas Tramo Juncal-Portillo .....	9
Figura N°2-6	Obras de Contención.....	12
Figura N°2-7	Sección típica cobertizo .....	13
Figura N°2-8	Cobertizos de la Ruta 60 CH .....	14
Figura N°2-9	Sección típica trinchera.....	15
Figura N°2-10	Sección trinchera con salida de ventilación.....	15
Figura N°2-11	Sección transversal túnel falso .....	16
Figura N°2-12	Conexión Cobertizo-Túnel Falso .....	16
Figura N°2-13	Emplazamiento Faja Ferrocarril Trasandino. ....	17
Figura N°2-14	Trazado Ferrocarril Trasandino.....	18
Figura N°2-15	Fotografías estado actual Línea Férrea. ....	19
Figura N°2-17	Evolución de Cargas Puerto San Antonio .....	24
Figura N°3-1	Formaciones Geológicas.....	26
Figura N°3-2	Unidades Morfológicas del Area de Estudio .....	27
Figura N°3-3	Carta de Altitud del Área de Estudio .....	28
Figura N°3-4	Cuencas, Subcuencas y Subsubcuencas del área de estudio. ....	30
Figura N°3-5	Red hidrográfica área de estudio .....	31
Figura N°3-6	Acuíferos de la Hoya del Aconcagua .....	32
Figura N°3-7	Unidades Hidrogeológicas .....	33
Figura N°4-1	Cono de Deyección.....	36
Figura N°4-2	Cono de Deyección.....	36
Figura N°4-3	Depósitos de Avalanchas.....	37
Figura N°4-4	Depósitos de Detritos .....	39
Figura N°4-5	Canalón de Flujo Detrítico.....	39
Figura N°4-6	Clasificación Remociones en Masa.....	40
Figura N°4-7	Localización de Remociones en Masa .....	41
Figura N°4-8	Quebrada Activa.....	42

<b>Figura N°4-9</b>	<b>Área de Remoción en Masa.....</b>	<b>43</b>
<b>Figura N°4-10</b>	<b>Área de Remoción en Masa .....</b>	<b>44</b>
<b>Figura N°4-11</b>	<b>Quebradas presentes en el área de estudio .....</b>	<b>44</b>
<b>Figura N°4-12</b>	<b>Altitudes en el área de estudio. ....</b>	<b>45</b>
<b>Figura N°4-13</b>	<b>Clasificación según pendientes. ....</b>	<b>46</b>
<b>Figura N°4-14</b>	<b>Vista del sector de estudio.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura N°4-15</b>	<b>Principales Cauces del Sector de Estudio.....</b>	<b>48</b>
<b>Figura N°4-16</b>	<b>Ciclo Anual Precipitación Sólida Estación Lagunitas .....</b>	<b>50</b>
<b>Figura N°4-17</b>	<b>Ciclo Anual de la Temperatura Medio Mensual en la zona central de Chile a los 3829 m.s.n.m. (barras rojas) y 2475 m.s.n.m. (barras negras).....</b>	<b>51</b>
<b>Figura N°4-18</b>	<b>Serie de tiempo histórica de los últimos 60 años de nieve anual en Lagunitas.....</b>	<b>52</b>
<b>Figura N°4-19</b>	<b>Serie de tiempo de los último 10 años de la ruta de nieve de agosto en Portillo. ....</b>	<b>53</b>
<b>Figura N°4-20</b>	<b>Relación entre número de días en que el Paso Internacional permaneció cerrado y nieve anual en Lagunitas. Periodos 2009-2020 (puntos negros) y 1988-1999 (puntos rojos). ....</b>	<b>53</b>
<b>Figura N°4-21</b>	<b>Carta de sendas de avalanchas de Ruta CH60 en tramo Juncal – Cristo Redentor. En achurado rojo se muestra la zona que se tiene que extender la carta de avalancha y mientras que en achurado amarillo la carta tiene que ser actualizada.....</b>	<b>54</b>
<b>Figura N°4-22</b>	<b>Localización Eventos Sísmicos Históricos región de Valparaíso. ....</b>	<b>55</b>
<b>Figura N°4-23</b>	<b>Zonificación Sísmica región de Valparaíso. ....</b>	<b>57</b>
<b>Figura N°4-24</b>	<b>Ubicación Cinturón de Fuego del Pacífico. ....</b>	<b>57</b>
<b>Figura N°4-25</b>	<b>Perfiles de ángulos de subducción y su efecto .....</b>	<b>58</b>
<b>Figura N°4-26</b>	<b>Mapa de peligro volcánico de la región de Valparaíso .....</b>	<b>59</b>
<b>Figura N°5-1</b>	<b>Esquema Alternativa Quebrada Ojos de Agua (Alternativa 1) .....</b>	<b>61</b>
<b>Figura N°5-2</b>	<b>Alternativa Línea de Antiguo Ferrocarril El Andino (Alternativa 2).....</b>	<b>62</b>
<b>Figura N°5-3</b>	<b>Esquema Alternativa Ruta E-781 – Curva 29 (Alternativa 3) .....</b>	<b>64</b>
<b>Figura N°5-4</b>	<b>Esquema Alternativa Ruta E-781 – La Yesera – Complejo Fronterizo (Alternativa 4).....</b>	<b>65</b>
<b>Figura N°5-5</b>	<b>Esquema Resumen de Alternativas .....</b>	<b>66</b>
<b>Figura N°5-6</b>	<b>Cobertizo N°6.....</b>	<b>67</b>
<b>Figura N°6-1</b>	<b>Clase de Soporte CS1 .....</b>	<b>72</b>
<b>Figura N°6-2</b>	<b>Clase de Soporte CS2.....</b>	<b>73</b>
<b>Figura N°6-3</b>	<b>Clase de Soporte CS3.....</b>	<b>74</b>

<b>Figura N°6-4</b>	<b>Clase de Soporte CS4</b> .....	<b>75</b>
<b>Figura N°6-5</b>	<b>Clase de Soporte CS5</b> .....	<b>76</b>
<b>Figura N°6-6</b>	<b>Etapas Típicas del Ciclo de Trabajo</b> .....	<b>77</b>
<b>Figura N°8-2</b>	<b>Ubicación Atractivos Turísticos en el Area de Estudio</b> .....	<b>92</b>
<b>Figura N°8-3</b>	<b>Ubicación Glaciar Juncal</b> .....	<b>93</b>
<b>Figura N°8-4</b>	<b>Ubicación Laguna del Inca</b> .....	<b>94</b>
<b>Figura N°8-5</b>	<b>Fotografías Monumento Histórico Refugio de Correos</b> .....	<b>95</b>
<b>Figura N°8-6</b>	<b>Paisajes Complejo Invernal Portillo</b> .....	<b>96</b>
<b>Figura N°8-7</b>	<b>Ubicación Complejo Aduanero</b> .....	<b>96</b>

# 1. INTRODUCCIÓN

La ruta 60 CH es una carretera chilena que abarca la Región de Valparaíso en el Valle Central de Chile. Forma parte del Eje Vial del MERCOSUR, según las definiciones acordadas en IIRSA (Iniciativa para la Integración de la Infraestructura Regional Sudamericana), teniendo una incidencia fundamental en la economía nacional, gracias al intercambio comercial entre Chile y los países vecinos. Esta ruta tiene la ventaja de facilitar el acceso a dos de nuestros principales puertos marítimos, como la llegada a la zona central y la capital de nuestro país, que es donde se concentra la mayor parte de nuestro comercio y la economía nacional.

La Ruta se divide en tres secciones, se inicia en Valparaíso y finaliza en Los Andes. El Tramo Villa Alemana - Los Andes corresponde a la Concesión Autopista Los Andes. Luego de Los Andes asciende la cordillera para terminar en el Túnel Cristo Redentor, continuándose en Argentina como Ruta Nacional 7 la cual termina en Buenos Aires.

El tránsito bidireccional de la ruta 60 CH - constituido por un porcentaje muy importante de vehículos de carga -, presenta disminución de velocidad a partir del sector de Juncal hacia el paso Internacional debido a las severas restricciones geométricas de la Ruta dadas por la geomorfología andina, lo que se ve agravado por las condiciones climáticas invernales adversas, que obligan a suspender el tránsito y a realizar faenas de gran dificultad para el despeje de nieve y rocas sobre ella. En consecuencia, se genera un “cuello de botella” el que se hace cada vez más crítico al superar la capacidad de carga de la Ruta en algunos períodos del año.

Entre Juncal y Portillo, se presentan 30 curvas restrictivas que permiten sortear un desnivel aproximado de 700 m, en una longitud de 9,88 km., que bajo condiciones climáticas invernales obligan a suspender el tránsito. Entre 2013 y 2018, el Paso Sistema Cristo Redentor se ha cerrado al tránsito de vehículos en 26 días promedio al año, según se indica en los reportes mensuales con el detalle diario de la Plaza de Peaje Cristo Redentor de la Dirección de Vialidad.

La DV del MOP, teniendo presente la importancia de contar con una red vial adecuada a los planes de desarrollo del país, saca a concurso público el Proyecto: “*ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD CONSTRUCCIÓN PAR VIAL, SECTOR JUNCAL - PORTILLO Y AMPLIACIÓN RUTA 60-CH, PORTILLO - TÚNEL DEL CRISTO REDENTOR, REGIÓN DE VALPARAÍSO*”, que busca determinar la factibilidad técnica, económica, social, territorial y ambiental de construir un Par Vial a la cuesta Juncal ubicada en el sector Juncal y Portillo, para crear un sistema vial que aumente la capacidad y homogenice el estándar de la Ruta 60 CH en este sector y otorgue mayor seguridad a los usuarios.

En el contexto del proyecto previamente mencionado, es que surge el presente trabajo de Título, que propone y realiza un estudio conceptual de múltiples alternativas de trazados viales en el tramo Juncal-Portillo, realizando una comparación técnica – económica entre los trazados propuestos. Lo anterior considerando las problemáticas geomorfológicas y climáticas de la zona.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer alternativas y realizar un estudio conceptual de trazados viales asociados a la cuesta Juncal, ubicada entre los sectores de Juncal y Portillo de la ruta 60 CH, realizando una comparación técnica – económica entre los trazados propuestos.

### 1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos del presente trabajo de título son los siguientes:

1. Identificar y delimitar el área de influencia directa e indirecta del proyecto en estudio.
2. Analizar los estudios de riesgos naturales, con el propósito de caracterizar las condiciones geológicas, geotécnicas y geomorfológicas del área de estudio y evaluar en detalle los peligros naturales que amenazan a cada alternativa de emplazamiento del camino.
3. Realizar un análisis exhaustivo de los estudios viales previos, de otros estudios de la zona y de la experiencia alcanzada en el diseño, ejecución, operación y mantenimiento de proyectos viales.
4. Desarrollar Anteproyectos Preliminares que se ajusten a los lineamientos generales, criterios de diseño de las alternativas viales y estándares definidos. El alcance de los anteproyectos preliminares en esta etapa, se limitarán a definir los emplazamientos viales y de cada estructura alternativa y descripciones básicas, como ubicación, longitud, costos estimativos preliminares.

## 1.2. ALCANCES DEL TRABAJO

El estudio desarrollado en este trabajo de título corresponde a la fase inicial de un proyecto de ingeniería, un estudio preliminar asociado a un análisis de Prefactibilidad. La Dirección de Vialidad del MOP define 6 Etapas que indican las actividades metodológicas que involucran este nivel de estudio dentro del ciclo de vida de un proyecto:

- Etapa 1: Informe de Diagnóstico
- Etapa 2: Estudios de Base
- Etapa 3: Estudio de Alternativas
- Etapa 4: Anteproyecto
- Etapa 5: Evaluación Económica
- Etapa 6: Informe Final

El presente trabajo de título se enmarcará principalmente en las 2 primeras Etapas, donde el principal objetivo es plantear alternativas y presupuestos preliminares, a nivel de estudio conceptual en base a antecedentes de estudios previos y otros proyectos.

### 1.3. METODOLOGÍA GENERAL Y ESTRUCTURA DEL TRABAJO

La metodología de este trabajo de título se basa en el orden lógico propuesto por la Dirección de Vialidad, la cual sigue lo estipulado en el manual de carreteras [19], sumado a características propias del proyecto como serían los estudios de Riesgos Naturales, que influyen directamente en la determinación final de los trazados propuestos.

Así, se define la siguiente estructura de trabajo:

- Revisión de la normativa existente
- Recopilación de antecedentes Ruta 60-CH
- Ingeniería Básica
- Estudios Riesgos Naturales
- Propuesta de Alternativas trazados viales
- Presupuesto Preliminar de Alternativas

Los principales estudios que sirven como antecedentes del proyecto, de los cuales se utilizarán como fuente de información y base de datos para las distintas etapas del trabajo son los siguientes:

1. Estudio de Ingeniería Refuncionalización Integral del Paso Sistema Cristo Redentor. Fase 1 Ampliación Túnel Caracoles. Fase 2 Ampliación y Mejoramiento Cristo Redentor y la construcción de las Galerías de Interconexión. (2017-2019).
2. Estudio de Prefactibilidad Construcción Túnel Baja Altura, Paso Las Leñas, región de O'Higgins. (2016).
3. Estudio Mejoramiento Ruta 41-CH, Paso Agua Negra, Túnel Internacional, IV Región de Coquimbo. (2009).
4. Estudio de Ingeniería "Mejoramiento Integral Ruta 60 CH, Sector Los Andes – Túnel Cristo Redentor, V Región". Consultora R&Q Ingeniería S.A. (2006).
5. Estudio de Ingeniería "Camino Los Andes – Cristo Redentor, Construcción Túnel Tramo: Complejo Los Libertadores – Túnel Cristo Redentor, V Región". Consorcio Dusan Dujisin Q. y Asistecsa Ltda. (1999).
6. Estudio "Mejoramiento Ruta 60-CH, Sector Los Andes - Cristo Redentor". CCP Ingeniería Ltda. (1994).

A lo anterior se suman estudios propios de la consultora Ingeniería el Alba, quien conforma su equipo de trabajo con especialistas de cada área, realizando mediciones propias y salidas a terreno.

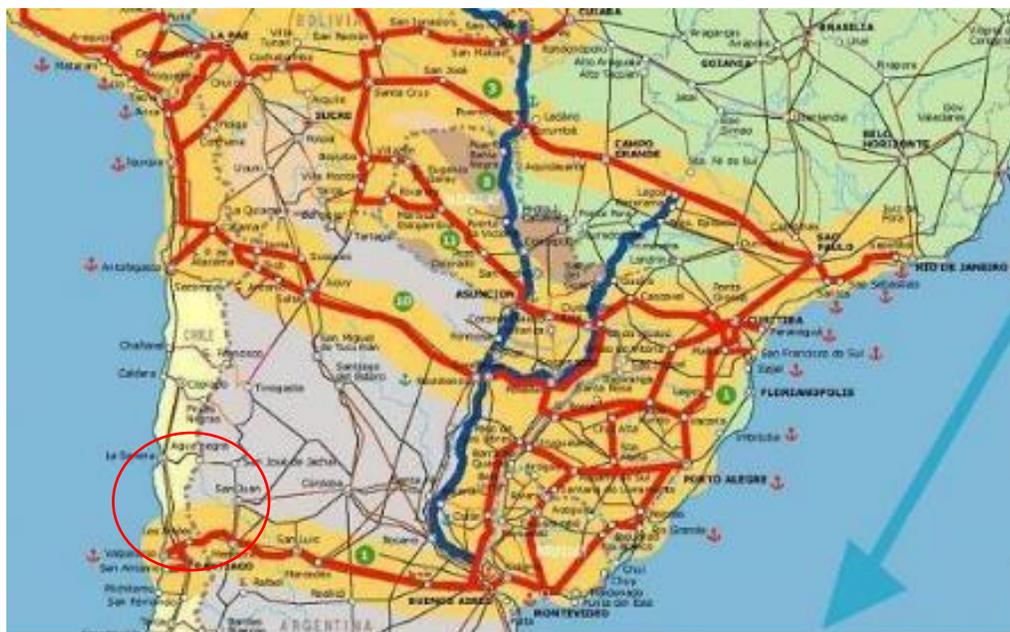
## 2. ANTECEDENTES RUTA 60-CH

### 2.1. DESCRIPCIÓN E IMPORTANCIA DE LA RUTA

La ruta 60 CH es una carretera chilena que atraviesa transversalmente el territorio nacional, cruzando en sentido oriente-poniente la Región de Valparaíso en el Valle Central de Chile. La ruta 60 CH toma una relevancia fundamental al conectar con el paso de Frontera de Cristo Redentor, el cual es el más importante Paso de la frontera terrestre entre la República Argentina y la República de Chile al ser el que más flujo de vehículos y pasajeros presenta.

Forma parte del Eje Vial del MERCOSUR, según las definiciones acordadas en IIRSA (Iniciativa para la Integración de la Infraestructura Regional Sudamericana), teniendo una incidencia fundamental en la economía nacional, gracias al intercambio comercial entre Chile y los países vecinos. Esta ruta tiene la ventaja de facilitar el acceso a dos de nuestros principales puertos marítimos, como la llegada a la zona central y la capital de nuestro país, que es donde se concentra la mayor parte de nuestro comercio y la economía nacional. En detalle la ruta vincula:

- ❖ Hacia el este a la ciudad de Mendoza a 154 km del límite, capital de la Provincia de Mendoza de la República Argentina.
- ❖ Hacia el oeste a la ciudad de Santiago de Chile a 158 km del límite, capital de la República de Chile y al puerto de Valparaíso a 212 km del límite, cabecera de la Región de Valparaíso; siendo lindera con el Paso la provincia de Los Andes.



**Figura N°2-1 Emplazamiento paso Los Libertadores Contexto Sudamericano**

Fuente: Facilitación del transporte en los Pasos de Frontera de Sudamérica, IIRSA, Año 2005.

La Figura N°2-1 muestra el emplazamiento del paso Los Libertadores en el contexto sudamericano y las principales vías que permite conectar.

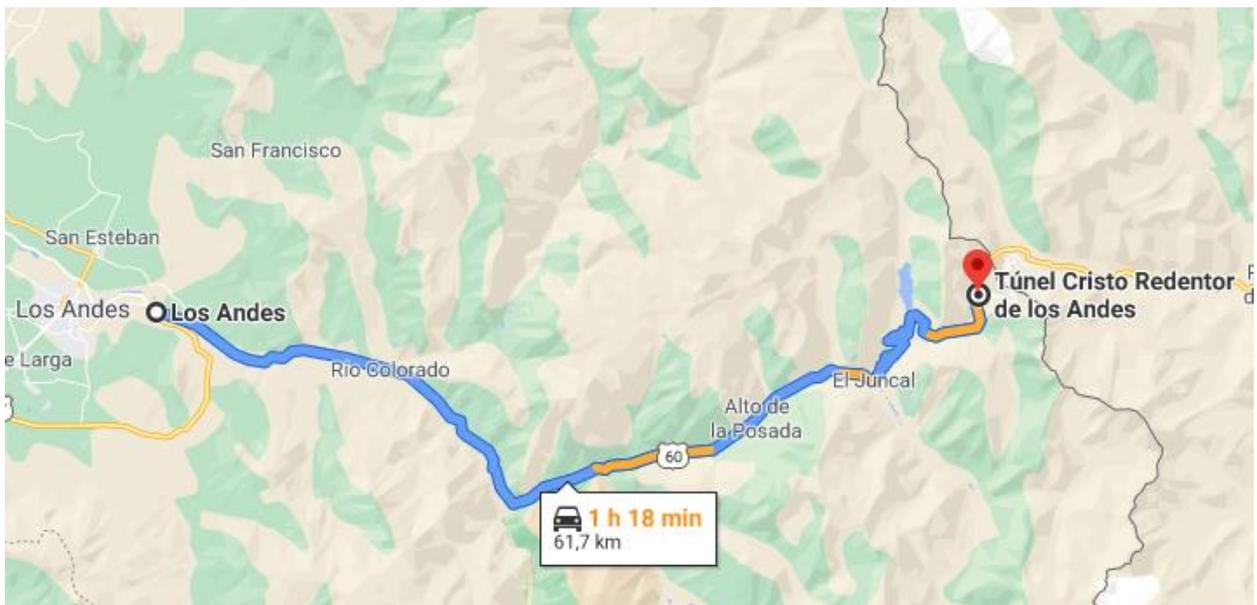
Las principales vías de acceso son desde el lado argentino la Ruta Nacional N° 7, que lo une a Buenos Aires y a la cual convergen, en su último tramo previo al ingreso a la Montaña, la Ruta Nacional N°40 y las rutas provinciales N°29 y N°82.

Desde el lado chileno, la principal vía de acceso es la Ruta Internacional 60-CH, la cual tiene una longitud total de 189 km. La Ruta se divide en tres secciones, se inicia en Valparaíso y finaliza en Los Andes. El Tramo Villa Alemana - Los Andes corresponde a la Concesión Autopista Los Andes. Luego de Los Andes asciende la cordillera para terminar en el Túnel Cristo Redentor.

### **2.1.2. TRAMO LOS ANDES – TÚNEL CRISTO REDENTOR**

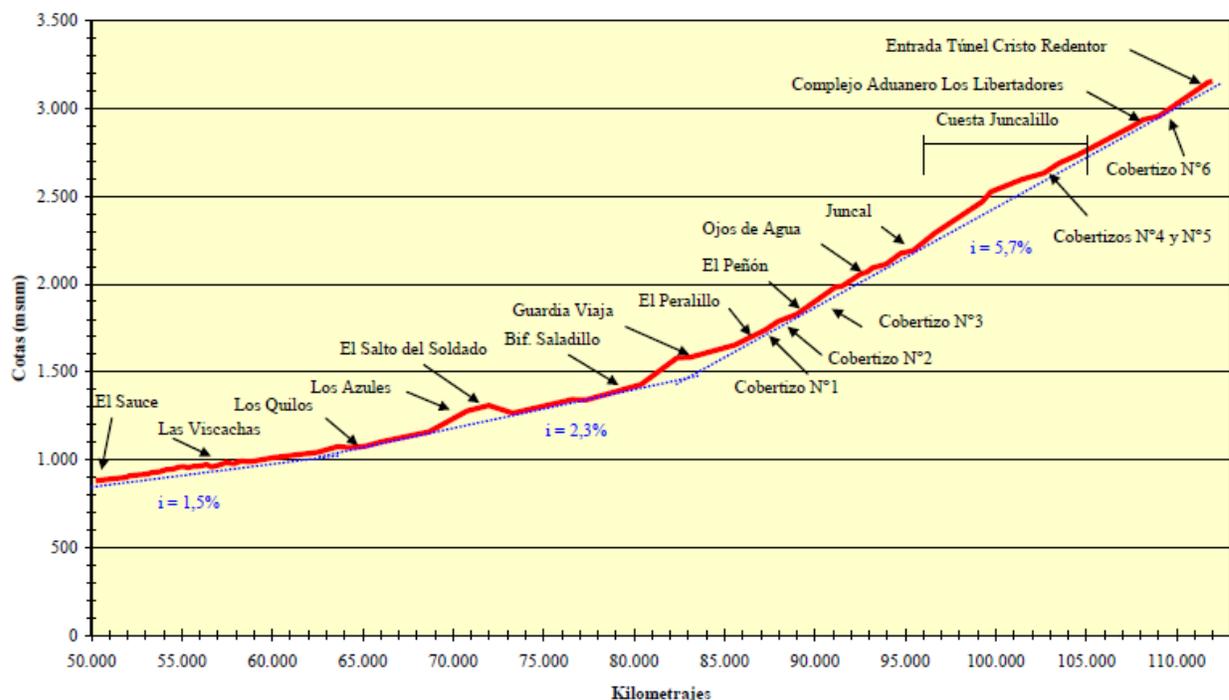
La Ruta 60 Ch en este último tramo tiene una longitud de 62 km. Se ubica en general adyacente y cercana al río Aconcagua desde su inicio, y a dos de los ríos que son sus principales afluentes naturales y que le dan origen, es decir, el río Blanco y Juncalillo, esto, a medida que el camino se extiende hacia el oriente internándose en la Cordillera de Los Andes.

En la Figura N°2-2 se presenta una imagen de la Ruta 60 CH, en el tramo de Los Andes hacia el Túnel Cristo Redentor. Se incluye el tiempo de viaje estimado de un vehículo liviano en horario laboral.



**Figura N°2-2 Tramo Los Andes – Cristo Redentor Ruta 60CH**  
Fuente: Google Maps

En su parte más baja (Dm 50.240), la ruta se encuentra a una altura de aproximadamente 880 m.s.n.m., la que va aumentando gradualmente hacia el oriente a medida que se recorre la ruta con dirección hacia Argentina, hasta llegar a Saladillo, con un gradiente medio entre 15 y 23 m de altura/km de longitud de camino. Posteriormente, este gradiente medio aumenta considerablemente a casi el doble del anterior, hasta llegar al Portal de entrada poniente al Túnel del Cristo Redentor ubicado en el Dm 112.120 y a una cota de 3.185 m.s.n.m., el gradiente resultante es de 57 m de altura/km de longitud de camino (5,7%). En este último sector, localmente existen pendientes máximas a lo largo del camino de hasta un 7%, a pesar del zigzageo de la vía para ganar altura con menores pendientes y desarrollos adecuados. En la Figura N°2-3 se puede apreciar un perfil longitudinal del camino descrito.



**Figura N°2-3 Perfil Longitudinal Tramo Los Andes – Cristo Redentor**

Fuente: Estudio RyQ Mejoramiento Ruta 60CH (2007)

A lo largo de su recorrido, el trazado vial va emplazado en la ladera de los cerros de la Cordillera de Los Andes, al borde de la caja de los ríos señalados previamente, atravesando innumerables quebradas de diferentes tamaños y características, algunas de las cuales son salvadas mediante puentes cuyas longitudes fluctúan entre 8 y 35 m y otras con obras de arte mayores y menores.

Las principales actividades económicas de la zona son las relacionadas con el rubro transporte, minería, comercio, turismo, forestal, agrícola e industrial hidroeléctrico.

En el cuadro siguiente, se presenta una serie de sectores característicos de la Ruta 60 Ch, desde la Ruta 5 Norte hasta la entrada del Túnel Cristo Redentor, esto con el objeto de mostrar, a través de las cotas y estimación de las pendientes medias entre los tramos, la manera en la que el camino va remontando desde el valle central hasta el corazón mismo de la cordillera de Los Andes.

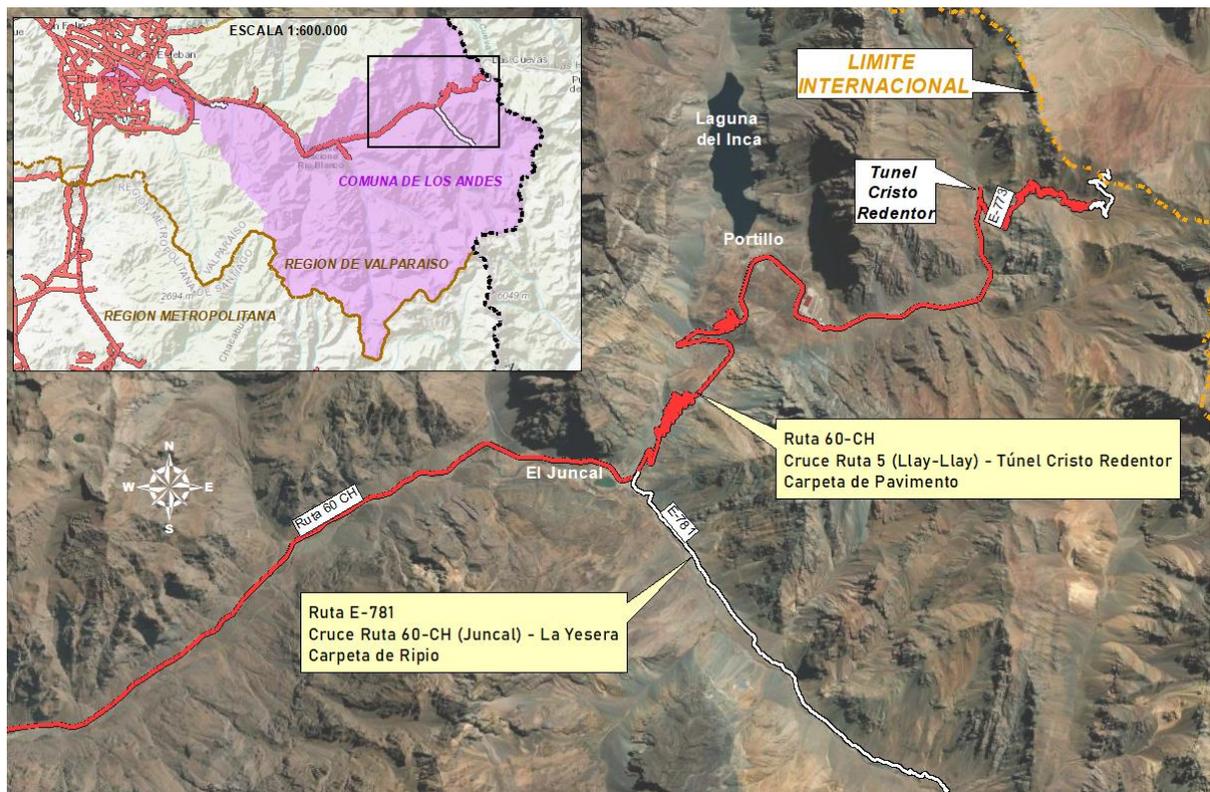
**Cuadro N°2-1 Sectores Característicos Ruta 60-Ch**

<b>Tramo</b>	<b>Sector</b>	<b>Ubicación km</b>	<b>Longitud m</b>	<b>Cota m</b>	<b>Pendiente Media %</b>
---	Enlace Ruta 5 en Llay-Llay	0,00	---	380	---
1	Enlace entre la Autopista Los Libertadores - Autopista Ruta 60 y Ruta 60Ch	50,00	50.000	890	1,02
2	Río Blanco - Empalme a Saladillo	80,00	30.000	1.414	1,75
3	Plaza de Peaje Guardia Vieja	85,00	5.000	1.644	4,60
4	Juncal (Curva 0)	95,40	10.400	2.234	5,67
5	Entrada Llano Juncalillo	100,10	4.700	2.571	7,17
6	Salida Llano Juncalillo	100,90	800	2.599	3,50
7	Entrada Llano La Calavera (Curva 29)	104,40	3.500	2.804	5,86
8	Entrada Complejo Fronterizo	106,90	2.500	2.955	6,04
9	Entrada Túnel Cristo Redentor	111,50	4.600	3.205	5,43

Fuente: Estudio RyQ mejoramiento ruta 60CH (2007)

## 2.2. SITUACIÓN TRAMO JUNCAL – PORTILLO

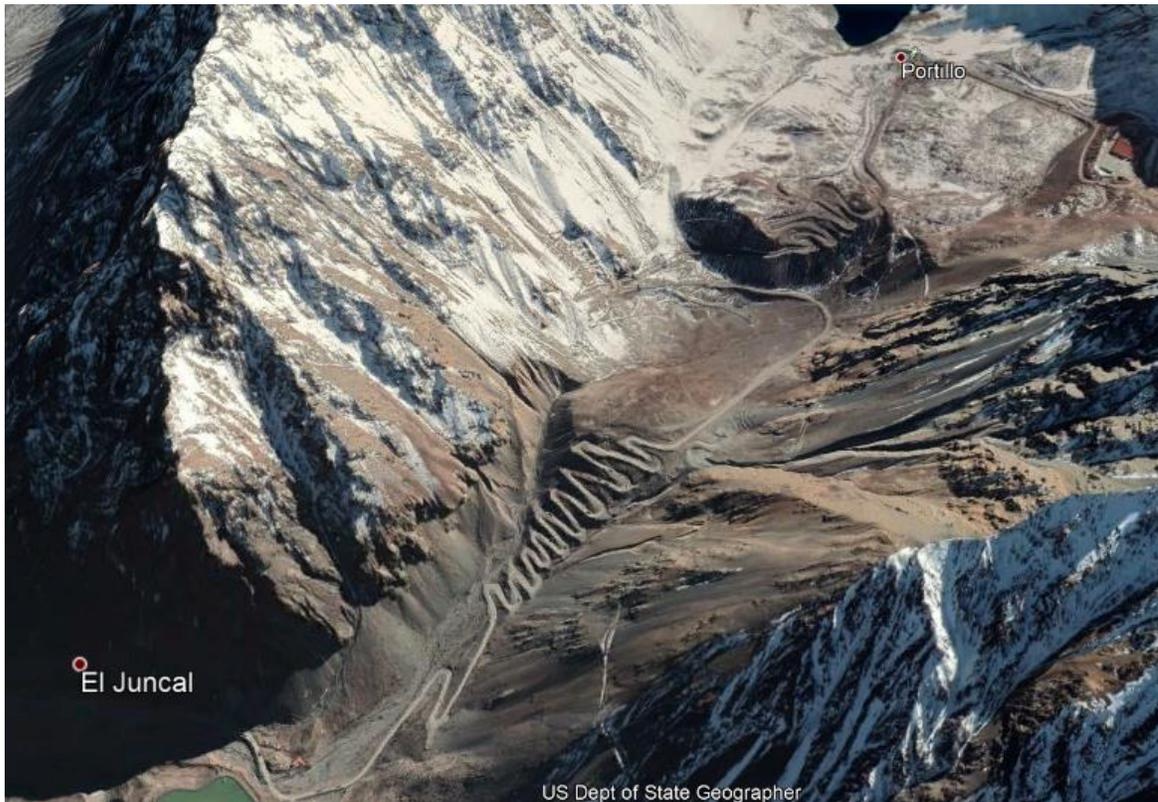
El tránsito bidireccional de la ruta 60 CH - constituido por un porcentaje muy importante de vehículos de carga -, presenta disminución de velocidad a partir del sector de Juncal hacia el paso Internacional debido a las severas restricciones geométricas de la Ruta dadas por la geomorfología andina, lo que se ve agravado por las condiciones climáticas invernales adversas, que obligan a suspender el tránsito y a realizar faenas de gran dificultad para el despeje de nieve y rocas sobre ella. En consecuencia, se genera un “cuello de botella” el que se hace cada vez más crítico al superar la capacidad de carga de la Ruta en algunos períodos del año. En la Figura N°2-4 se presenta el área de interés.



**Figura N°2-4 Red Vial y Área de Estudio**  
Fuente: Estudio Ingeniería El Alba Ruta 60CH (2020)

Entre Juncal y Portillo, se presentan 30 curvas restrictivas que permiten sortear un desnivel aproximado de 700 m, en una longitud de 9,88 km., que bajo condiciones climáticas invernales obligan a suspender el tránsito. Entre 2013 y 2018, el Paso Sistema Cristo Redentor se ha cerrado al tránsito de vehículos en 26 días promedio al año, según se indica en los reportes mensuales con el detalle diario de la Plaza de Peaje Cristo Redentor de la Dirección de Vialidad.

En la Figura N°2-5 se presenta una vista superior del tramo Juncal-Portillo extraída desde Google Earth, en donde se aprecian las curvas y las restricciones geométricas de la ruta.



**Figura N°2-5 Curvas Tramo Juncal-Portillo**  
Fuente: Google Earth

En el capítulo 4 de este informe se mostrarán los resultados de Estudios de Riesgos Naturales con el propósito de caracterizar las condiciones geológicas, geotécnicas y geomorfológicas del área de estudio y los corredores alternativos, y evaluar en detalle los peligros naturales que amenazan a cada alternativa de emplazamiento del camino. Los riesgos a evaluar como parte de este estudio son los siguientes: remoción en masa (deslizamientos, desprendimientos rocosos, caídas de rodados o rocas), flujo de detritos (aluviones), avalanchas, volcánicas, sísmicos, riesgos producto de heladas (hielo en la ruta), viento blanco y riesgos asociados a épocas de lluvias y/o deshielos y a épocas de precipitaciones estivales, según lo establece el acápite 3.900 del Manual de Carreteras.

## 2.3. ESTRUCTURAS

Las principales estructuras presentes en la ruta son de tres tipos: Puentes, Cobertizos y Muros de Contención y/o Retención de rodados, las cuales se encuentran en diversos estados de conservación.

En total son 8 puentes, 6 cobertizos y más de 65 tramos de muros de diversas especies, características, longitudes y alturas presentes a lo largo de la ruta. En general, los cobertizos suelen estar conectados a tramos con otro tipo de estructura, como lo pueden ser las trincheras cubiertas y túneles falsos, lo anterior determinado principalmente en la localización del cobertizo y el tipo de riesgos naturales a los que se ven enfrentados.

### 2.3.1. PUENTES

La siguiente tabla muestra un detalle de los puentes existentes en la ruta.

**Cuadro N°2-2 Puentes Existentes**

N°	Nombre Punte	Ubicación	L	Tr.	Ancho Calz.	Ancho Pasillos	Barandas	Vigas		
		Dm	m	N°	m	m	Tipo	N°	Mat.	Tipo
1	Vizcachas	56.825,35	29,9	1	8,08	0,97	Metálicas Antiguas	4	Acero	Simplemente apoyadas en Estribos
2	Chacayes	62.630,75	12,0	1	8,00	1,20	Metálicas Antiguas	3	Acero	Simplemente apoyadas en Estribos
3	Río Colorado	64.045,85	35,1	3	7,10	0,54	Hormigón Antiguas	2	Hormigón Armado	Vigas en Arco empotradas en Cepas
4	Los Quilos	65.434,40	8,4	1	7,10	0,74	Hormigón Antiguas	-	Hormigón Armado	Puente Losa
5	Los Azules	70.914,80	44,5	2	10,00	1,20	Metálicas Antiguas y Def. Camineras	4	Acero y Hormigón Armado	Simplemente apoyadas en Estribos y Cepas
6	Riecillo	76.813,45	8,5	1	10,05	1,00	Metálicas Anti-Impacto	6	Hormigón Armado	Empotradas, Marco Rígido
7	El Peñón	89.436,00	15,6	1	10,00	1,35	Mixta Tipo New Jersey	-	Hormigón Armado	Puente Losa
8	Ojos de Agua	93.231,90	25,0	1	10,00	1,20	Mixta Tipo New Jersey	4	Hormigón Armado	Postensadas

Fuente: Estudio RyQ mejoramiento ruta 60CH (2007)

### **2.3.2. MUROS Y OBRAS DE CONTENCIÓN**

En total fueron catastrados 65 unidades de muros de contención o retención de rodados a lo largo de la ruta, los que abarcan una longitud de 7.430 m, la mayoría de los cuales se ubican al costado izquierdo del camino, es decir, hacia los cortes, representando un 73% del total con 5.399 m.

Los muros son principalmente de mampostería en piedra pegada con mortero (4.203 m que representan un 57%), seguidos por los de hormigón armado (2.681 m que representan un 36%) y los mixtos (hormigón y mampostería), que en menor magnitud 546 m representan un 7%.

Lo anterior más la observación en terreno, da cuenta de que en general los muros cumplen varias funciones:

1. Contener rellenos de la calzada
2. Retener rodados para evitar que estos invadan la calzada
3. Revestir taludes para evitar la erosión y/o el desprendimiento de clastos hacia la calzada

Los primeros en general son los menos y se observan hacia el costado izquierdo de la calzada, sin embargo, los de mayor utilización son los segundos y terceros de la lista anterior, los que normalmente se encuentran emplazados al pie de los taludes de cortes al costado derecho de la plataforma vial.

Los muros de mampostería de piedra reforzada similares al tipo existente que se muestra en la Figura N°2-6, presentan las siguientes ventajas:

- Evitan la erosión sobre los terraplenes provocadas por las aguas de deshielo o de nieves caídas durante faenas de mantenimiento invernal.
- Evitan la caída de rocas o piedras atrapadas en los taludes de los terraplenes y/o cortes hacia la calzada
- Impiden la acumulación de nieve en los taludes evitando que eventuales volúmenes de ella atrapados en dichos taludes se desprendan espontáneamente provocando obstrucción de la calzada vehicular.
- Ayudan a mantener estable, homogéneo y sin erosión el borde exterior de la calzada que se ubica hacia el lado de los terraplenes.
- Permiten que la nieve que se acumula sobre la calzada se mantengan libre o en cantidad reducida de la contaminación de piedras y rodados, los que dificultan y/o impiden el retiro de la nieve por medio de una barrenieva.

A continuación, se muestra un set de fotografías con ejemplos de muros de contención de derrames del talud y otras obras de contención como mallas.



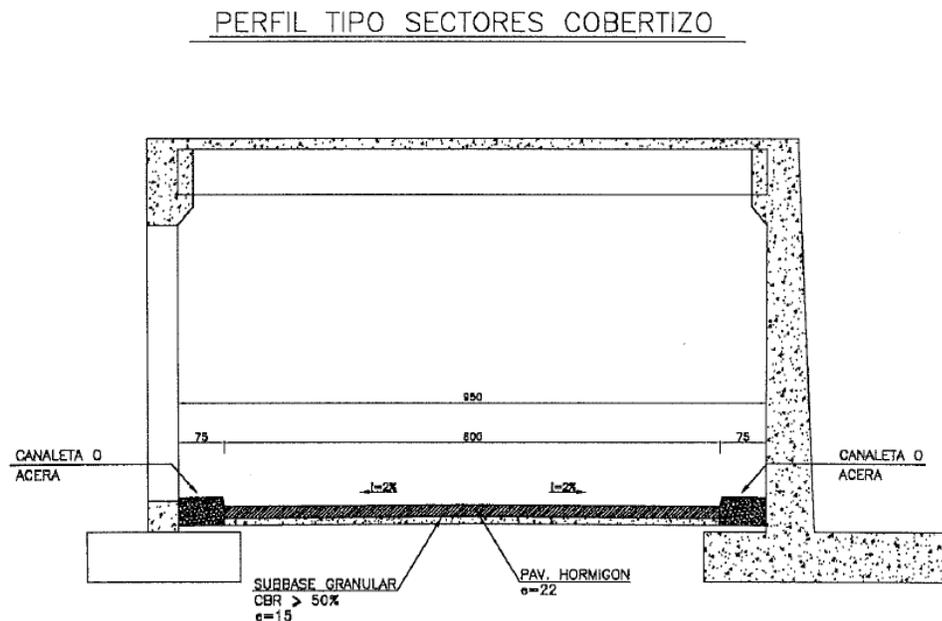
**Figura N°2-6 Obras de Contención**  
Fuente: Propia, tomadas en salida a terreno.

### 2.3.3. COBERTIZOS

Los cobertizos son estructuras de hormigón armado que consisten en un muro de contención por la cara que da hacia el corte del terreno/roca, pilares de hormigón armado, y vigas prefabricadas de hormigón armado. Estos 3 elementos forman marcos rígidos perpendiculares al eje de la vía. Sobre los marcos, se ejecuta una losa de hormigón armado que funciona como un diafragma rígido para la estructura.

Por la cara contraria al terreno, el cobertizo posee aberturas para ventilación que se ejecutan con losetas prefabricadas de hormigón.

A lo largo de la vía, los cobertizos se ejecutan en tramos de 18.4 m, con juntas de dilatación de 5 cm entre ellas.



**Figura N°2-7 Sección típica cobertizo**

Fuente: Estudio DDQ-Asistecsa (2000)

#### ***Efecto de la solución cobertizo:***

Si bien es cierto que los cobertizos son una buena y adecuada solución a la problemática avalanchas en redes viales, se debe ser cuidadoso y no perder de vista que el número de sendas de avalanchas aunque sea elevado es finito y el área que afectan es un porcentaje pequeño respecto al sector que es afectado por precipitación sólida, por otra parte, las frecuencias de desprendimiento de avalanchas en las distintas sendas es diferente y dependen de la orientación de la ladera respecto de la dirección de avance del sistema frontal, la que no tiene grandes variaciones para una misma latitud, esto hace que los vientos locales sean bastante repetitivos entre una tormenta y otra, variando más

bien solo en intensidad. Como la depositación de la nieve en la ladera está influenciada por los vientos presentes, se puede esperar entonces que el comportamiento de una misma senda sea relativamente predecible. Es así, por cierto, que los cobertizos existentes fueron emplazados buscando protección de las sendas más frecuentes que interrumpían el tránsito y que causaban mayores problemas.

A continuación, se presentan Fotografías de algunos de los cobertizos de la ruta:

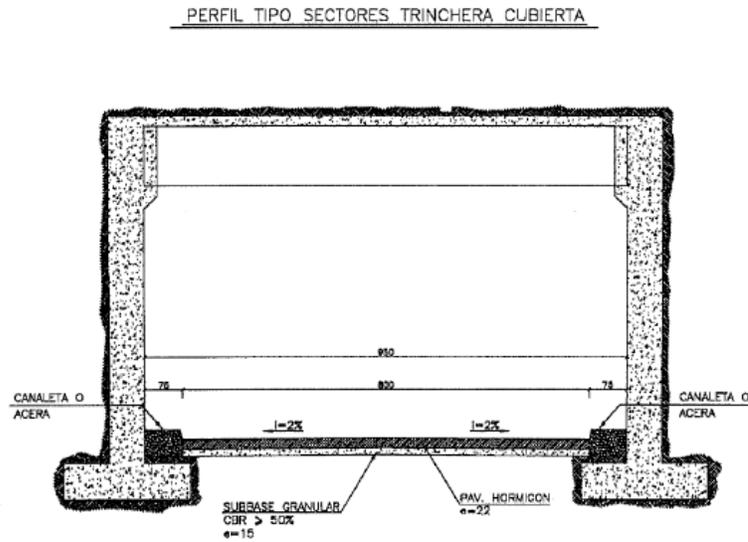


**Figura N°2-8 Cobertizos de la Ruta 60 CH**  
Fuente: Propia, tomada en salida a terreno.

### 2.3.4. TRINCHERA CUBIERTA (TC)

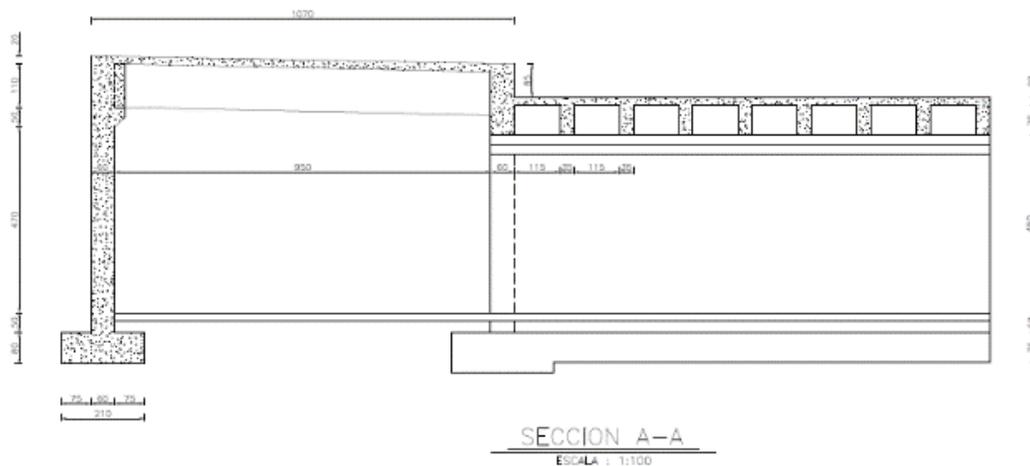
Las trincheras cubiertas son estructuras de hormigón armado que consisten en muros laterales contra terreno, en la dirección longitudinal de la vía, arriostradas transversalmente por vigas prefabricadas de hormigón armado. Sobre dicha estructura, se ejecuta una losa de hormigón armado que funciona como un diafragma rígido.

En algunos tramos, las trincheras poseen salidas laterales de ventilación



**Figura N°2-9 Sección típica trinchera**

Fuente: Estdudio DDQ-Asistecsa (2000)



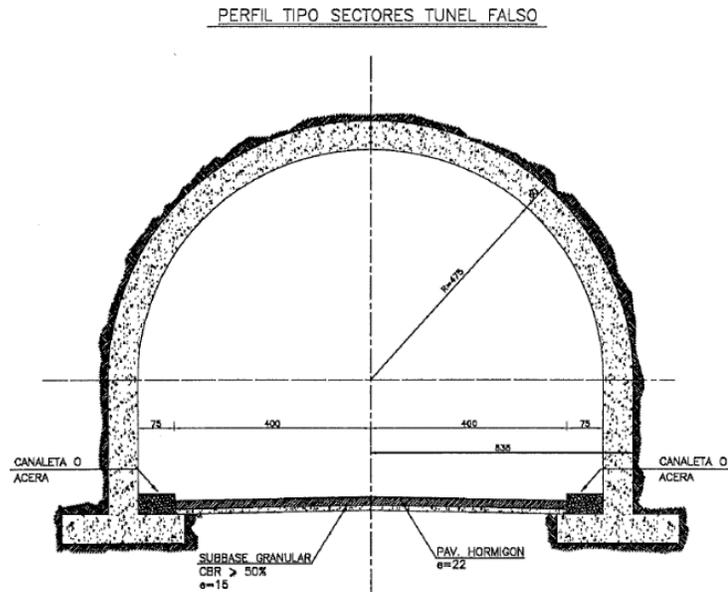
**Figura N°2-10 Sección trinchera con salida de ventilación**

Fuente: Estdudio DDQ-Asistecsa (2000)

### 2.3.5. TÚNEL FALSO

Los túneles falsos son estructuras de hormigón armado con sección semicircular. Estas estructuras enterradas son utilizadas en sectores con poco recubrimiento de terreno, donde una trinchera cubierta no sería factible desde el punto de vista estructural.

Los túneles se ejecutan en tramos de 18 m, con juntas de dilatación de 2 cm. En la Figura N°2-12 se muestra la conexión que hay entre tramos de cobertizo y túnel falso.



**Figura N°2-11 Sección transversal túnel falso**

Fuente: Estudio DDQ-Asistecsa (2000)



**Figura N°2-12 Conexión Cobertizo-Túnel Falso**

Fuente: Propia, tomada en salida a terreno.

## 2.4. ANTIGUO TRAZADO FERROCARRIL TRASANDINO

Un elemento importante para tener en consideración en la propuesta de alternativas de trazados es la existencia del antiguo trazado del Ferrocarril Trasandino, el cual se emplaza en la ladera Sur respecto a la actual ruta 60-CH en el tramo Juncal – Portillo.

Este trazado toma importancia, ya que, al utilizar mayor longitud por la ladera del cerro, permite tener pendientes más suaves, y por correspondiente, tener un trazado vial con una mejor geometría para el tránsito y seguridad de la ruta.

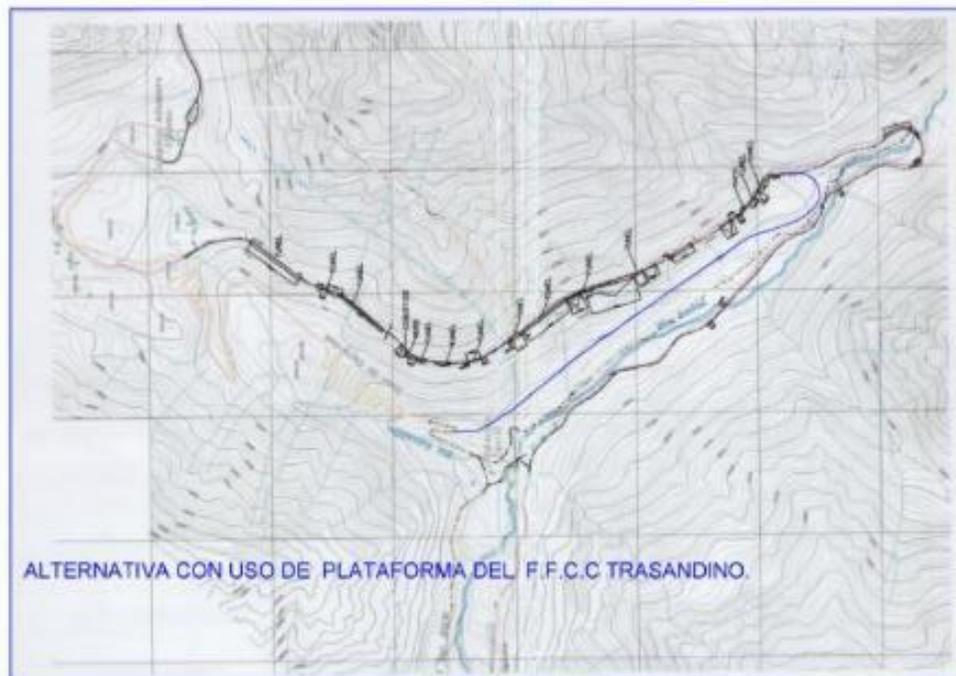
En la siguiente Figura se presenta el tramo Juncal – Portillo, donde en rojo se muestra la Ruta 60-Ch, en verde el trazado del Ferrocarril Trasandino y en blanco el camino E-781.



**Figura N°2-13 Emplazamiento Faja Ferrocarril Trasandino.**  
Fuente: Google Earth.

La vía férrea fue construida hacia comienzos del siglo 20, (1905–1927, aproximadamente) y dejó de operar hacia mediados del año 1978. A lo largo de los 7 km, la actual vía férrea ha sufrido los efectos de un progresivo desmantelamiento, expresado en la extracción de importantes segmentos de las enrieladuras, muros exteriores, disipadores de energía, cobertizos de madera y hormigón, dispuestos sobre las zonas de cruce de activas quebradas de descargas o laderas correspondientes a trayectorias preferenciales de avalanchas de nieve o flujos de barro o detritos (“aluviones”), elementos de señalética, etc. Las únicas estructuras que se han mantenido corresponden a las estructuras de los túneles y las cremalleras (elementos dentados para favorecer el desplazamiento de las locomotoras en zonas con mayor pendiente).

En el tramo en estudio, existen 21 cobertizos que totalizan 1.746 m lineales, mientras que 10 túneles cubren 2.276 m del trazado total; por tanto, estas estructuras representaban aproximadamente el 58 % del total del tramo de la línea férrea

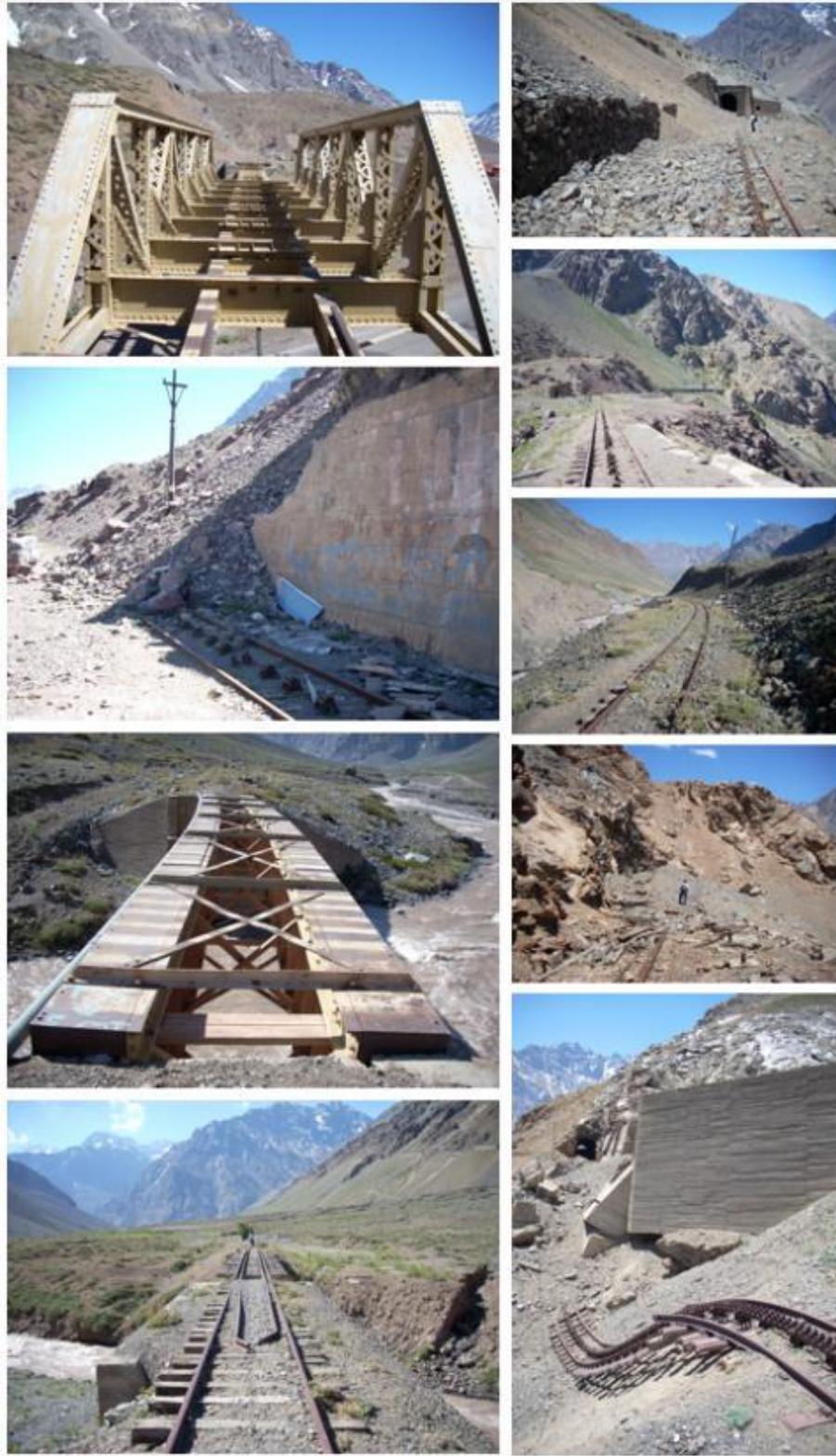


**Figura N°2-14 Trazado Ferrocarril Trasandino.**

Fuente: Dirección de Vialidad.

En su momento, el efecto conjugado de rocas con diversos grados de fracturamiento y/o alteración, unido a desarrollos próximos a las laderas, escasa sobrecarga rocosa sobre las respectivas claves y el empleo de rudimentarias técnicas de perforación y tronadura de la época, determinaron que un porcentaje mayoritario de los túneles ferroviarios exigieran tanto la instalación de elementos de sostenimiento o refuerzo a base de estructuras de hormigón y/o revestimiento de mampostería en los costados y hormigón en la zona de claves.

Para la construcción de un porcentaje mayoritario de los cobertizos para el efectivo **control de avalanchas de nieve, caída de bloques rocosos y/o flujos detríticos, (aluviones de voluminosas masas de fragmentos rocosos con agua)**, se recurrió a un diseño que combina muros internos de mampostería con techumbres conformadas por un entramado de vigas y láminas zincadas apoyadas sobre pilares exteriores de madera. La totalidad de las estructuras de madera han sido desmanteladas; los muros internos de mampostería permanecen en buen estado de conservación. Esta situación se hace extensiva a una serie de cobertizos conformados sobre la base de verdaderas bóvedas falsas de hormigón.



**Figura N°2-15 Fotografías estado actual Línea Férrea.**  
Fuente: Propia, tomadas en salida a terreno.

## 2.5. ÁREAS DE INTERÉS TURÍSTICO Y PAISAJÍSTICO

Según el Plan de Acción de la Región de Valparaíso, esta región posee un total de 434 atractivos turísticos de distintas categorías, en su mayoría *Museos y Manifestaciones Culturales* y *Sitios Naturales*. En el área de estudio destacan los siguientes atractivos:

**Cuadro N°2-3 Atractivos Turísticos en el área de estudio**

<b>NOMBRE</b>	<b>JERARQUIA</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>TIPO</b>	<b>SUBTIPO</b>
<b>COMPLEJO INVERNAL PORTILLO</b>	Internacional	Sitio Natural	Montaña	Área Nevada O Campo De Hielo
<b>LAGUNA DEL INCA</b>	Internacional	Sitio Natural	Lago, Laguna o Humedal	Lago, Laguna o Humedal
<b>GLACIAR DEL JUNCAL</b>	Regional	Sitio Natural	Montaña	Glaciar O Ventisquero
<b>COMPLEJO ADUARERO LOS LIBERTADORES</b>	Local	Realización Técnica, Científica O Artística Contemporánea	Obra De Arte O Técnica	Obra De Ingeniería
<b>REFUGIO DE CORREOS (MH)</b>	Nacional	Museo o Manifestación Cultural	Lugar Histórico	Lugar Histórico

Fuente: SERNATUR, 2018

El detalle de cada uno de los atractivos turísticos nombrados en el Cuadro N°2-3 se presentarán en el Anexo A1, con sus respectivo mapa de ubicación e imágenes representativas.

## 2.6. CARACTERÍSTICAS DE LA DEMANDA

Para conocer la carga que circula por el área de estudio se recopila información de diversas fuentes:

### Información PNC

Se recopiló información de demanda en el sector de estudio, la cual se resume en el siguiente cuadro:

**Cuadro N°2-4 Información PNC dentro del Área de Análisis. Flujos Año 2019**

ESTACIÓN	NOMBRE	ROL	MUESTRA	AUTOS	CAMIONET AS	CAMIONES 2 EJES	CAMIONES MAS 2 EJES	SEMI REMOLQUE	REMOLQUE	LOCOMOCIÓN COLECTIVA	TOTAL RAMA	TRANSITO ANTERIOR
05-152-01-1	LAS VIZCACHAS - GUARDIA VIEJA		V	1905	1272	216	89	793	10	256	4541	6633
05-152-01-2	VIZCACHAS	60CH	I	1209	1179	204	54	1244	12	368	4270	5267
05-152-01-3	BIF. RIO BLANCO		P	1314	1179	269	61	810	3	382	4018	3970
Distribución Porcentual				34,52	28,30	5,37	1,59	22,19	0,19	7,84	Tasa crecimiento: -10,9	
TMDA:				4276								
05-152-02-1	LAS VIZCACHAS -		V	1475	548	117	41	715	10	114	3020	4780
05-152-02-2	VIZCACHAS	60CH	I	768	393	103	21	1156	10	160	2611	3447
05-152-02-3	BIF. RIO BLANCO		P	899	483	171	27	689	3	147	2419	2413
Distribución Porcentual				39,03	17,69	4,86	1,11	31,8	0,29	5,23	Tasa crecimiento: -13,02	
TMDA:				2683								
05-152-03-1	HACIA RIO BLANCO		V	685	891	140	60	101	0	174	2051	2280
05-152-03-2	RIO BLANCO	E-767	I	694	977	142	59	129	1	249	2251	2449
05-152-03-3	BIF. RIO BLANCO		P	652	873	140	55	140	0	297	2157	2027
Distribución Porcentual				31,44	42,44	6,53	2,69	5,73	0,02	11,15	Tasa crecimiento: -2,22	
TMDA:				2153								
05-179-01-1	LLAY LLAY - CRISTO REDENTOR		V	1169	310	85	22	657	10	86	2339	0
05-179-01-2	CRISTO REDENTOR	60CH	I	455	156	54	6	1201	9	81	1962	0
05-179-01-3	BIF. JUNCAL		P	590	158	38	9	649	7	58	1509	0
Distribución Porcentual				38,11	10,74	3,05	0,64	43,15	0,45	3,87	Tasa crecimiento: 0	
TMDA:				1937								
05-179-02-1	LLAY LLAY - CRISTO REDENTOR		V	1186	343	86	22	657	10	86	2390	0
05-179-02-2	LLAY LLAY	60CH	I	457	164	54	6	1201	9	81	1972	0
05-179-02-3	BIF. JUNCAL		P	594	163	38	9	649	7	58	1518	0
Distribución Porcentual				38,04	11,39	3,03	0,63	42,64	0,44	3,83	Tasa crecimiento: 0	
TMDA:				1960								
05-179-03-1	HACIA JUNCAL		V	22	37	1	0	0	0	0	60	0
05-179-03-2	JUNCAL	E-781	I	1	8	0	0	0	0	0	9	0
05-179-03-3	BIF. JUNCAL		P	9	5	0	0	0	0	0	14	0
Distribución Porcentual				38,55	60,24	1,2	0	0	0	0	Tasa crecimiento: 0	
TMDA:				28								

Nota: Elaboración propia en base a PNC

Se aprecia que los flujos mayoritarios en el área de estudio corresponden a la Ruta 60CH, siendo los volúmenes similares en ambos sentidos. Adicionalmente se observa que en temporada Verano (V) los flujos son significativamente mayores que al de temporada normal (I, P).

Respecto de la carga que circula, ésta representa como mínimo un 25% el flujo de cada sentido de la Ruta 60CH, siendo los porcentajes mayores en invierno, donde el porcentaje aumenta a un 35% como mínimo, llegando incluso al 65% en Cristo Redentor.

## **Información Tránsito de cargas en Peaje Cristo Redentor**

Se recopiló información de series históricas relativa al tránsito de cargas y vehículos en el paso en estudio. A continuación, se presenta los resultados de dicha información:

**Cuadro N°2-5 Información Tránsito Los Libertadores, Peaje Cristo Redentor**

AÑOS	AUTOS	AUTOS CARRO 1 O MÁS EJES	BUSES DE 3 O MÁS EJES	CAMIÓN 2 EJES	CAMIÓN Y BUS 3 EJES	CAMIÓN Y BUS 4 EJES	BUS 2 EJES	CAMIÓN 5 EJES	CAMIÓN DE MÁS DE 5 EJES	MOTOS	TOTAL
2017	266,482	421	0	2286	11396	65312	3532	59557	12994	8199	430179
2018	193,207	368	0	2080	9471	68184	3607	62572	12110	8193	359792
2019	141,241	268	1632	1767	5220	62349	3221	60801	10212	6965	293676
2020	46,538	72	1734	1560	633	46185	888	93039	12645	2506	205800

Fuente: Elaboración propia en base a información [www.vialidad.cl](http://www.vialidad.cl). Flujo sólo sentido Chile-Argentina

Obviamente el año 2020 está marcado por el efecto de la pandemia COVID, por lo que el flujo vehicular y de buses disminuyó notoriamente respecto de años anteriores, sin embargo, el flujo de camiones se mantuvo en volúmenes similares a años anteriores.

El porcentaje de flujos de carga se indica a continuación:

**Cuadro N°2-6 Información flujo de carga Peaje Cristo Redentor**

AÑOS	TOTAL CAMIONES	TOTAL BUSES	TOTAL AUTOS	TOTAL
2017	35%	1%	62%	430179
2018	43%	1%	54%	359792
2019	48%	2%	48%	293676
2020	75%	1%	23%	205800

Fuente: Elaboración propia en base a información [www.vialidad.cl](http://www.vialidad.cl). Flujo sólo sentido Chile-Argentina

El cuadro anterior muestra que el flujo de la vía Ruta 60CH en la zona de estudio es un 60% flujo de automóviles y un 40% de carga, lo cual es un porcentaje bastante elevado para tránsito de camiones. La excepción ocurre en el año 2020, donde por efectos de la pandemia COVID, disminuye le flujos de automóviles muy significativamente, no obstante, el flujo de camiones, si bien bajó, se mantuvo en valores similares a años anteriores.

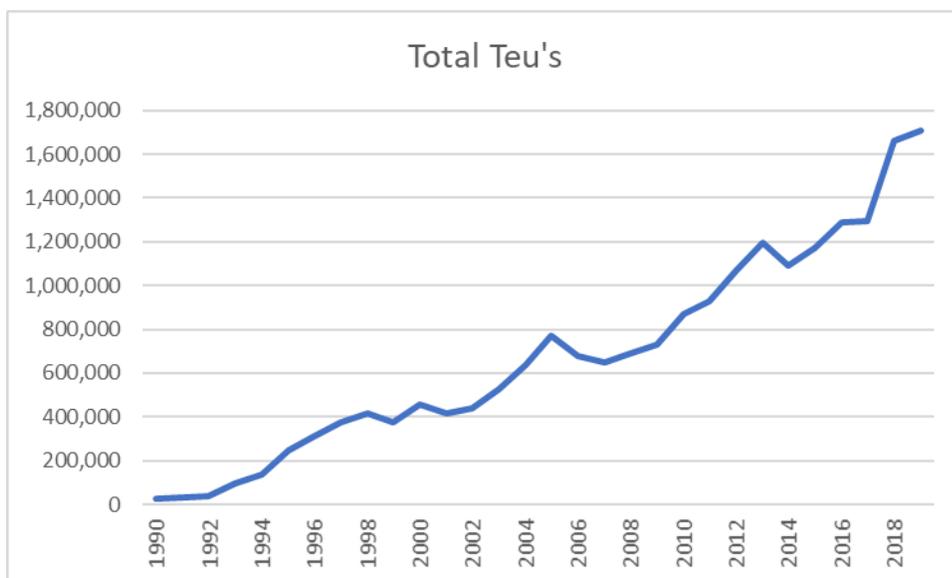
## Información Cargas Puerto San Antonio

Se recopiló información de la actividad portuaria, específicamente una revisión de las estadísticas anuales de forma de obtener correlaciones que permitan estimar la demanda futura del paso internacional.

**Cuadro N°2-7 Análisis de Cargas Puerto San Antonio**

Años	Contenedores	Fraccionada	Carga General	Líquidos	Sólidos	Total Graneles	Total Puerto	Nº de Naves	Total Teu's
1990	251,678	673,109	924,787	132,232	1,075,666	1,207,898	2,132,685	413	23,486
1991	394,234	558,129	952,363	135,103	1,290,245	1,425,348	2,377,711	406	33,278
1992	367,408	558,223	925,631	168,778	1,742,348	1,911,126	2,836,757	469	36,806
1993	885,093	525,778	1,410,871	174,446	1,915,487	2,089,933	3,500,804	582	95,553
1994	1,325,867	627,778	1,953,645	189,483	2,013,411	2,202,894	4,156,539	619	137,469
1995	2,482,002	959,132	3,441,134	179,699	2,015,443	2,195,142	5,636,276	780	248,880
1996	3,100,952	1,157,569	4,258,521	187,491	1,993,616	2,181,107	6,439,628	932	308,792
1997	3,742,280	1,076,197	4,818,477	163,994	1,630,505	1,794,499	6,612,976	892	373,236
1998	3,946,874	940,803	4,887,677	212,179	2,259,368	2,471,547	7,359,224	996	415,001
1999	3,935,405	845,211	4,780,616	514,876	3,001,488	3,516,364	8,296,980	833	374,945
2000	4,604,180	1,046,606	5,650,786	562,457	2,952,458	3,514,915	9,165,700	952	455,604
2001	4,270,651	1,036,593	5,307,244	809,621	2,735,445	3,545,066	8,852,310	851	413,900
2002	4,724,405	772,208	5,496,613	946,317	2,831,578	3,777,896	9,274,509	891	438,585
2003	5,499,885	681,922	6,181,807	1,037,854	5,230,008	3,567,862	9,749,668	882	524,376
2004	6,770,295	613,922	7,384,217	950,388	2,418,029	3,368,417	10,752,634	873	639,762
2005	7,987,169	695,780	8,682,948	1,143,632	2,336,185	3,479,816	12,162,765	1,048	773,048
2006	6,748,475	705,756	7,454,231	1,103,932	3,705,312	4,809,245	12,263,476	1,058	676,300
2007	6,564,856	1,027,002	7,591,858	986,945	4,062,086	5,049,032	12,640,889	1,020	650,697
2008	7,051,791	1,314,169	8,365,960	1,112,636	3,721,765	4,834,402	13,200,362	1,111	687,864
2009	7,010,838	943,678	7,954,516	1,147,488	3,007,974	4,155,461	12,109,977	1,130	729,033
2010	8,527,786	1,514,633	10,042,419	1,139,547	3,253,506	4,393,053	14,435,472	1,202	870,719
2011	9,337,061	1,699,397	11,036,458	1,208,237	3,465,904	4,674,141	15,710,599	1,308	928,432
2012	10,638,270	1,294,419	11,932,689	1,252,052	3,492,674	4,744,726	16,677,415	1,162	1,069,271
2013	11,609,651	1,147,209	12,756,860	1,259,994	3,429,293	4,689,286	17,446,146	1,200	1,196,844
2014	10,622,620	931,679	11,554,300	1,208,429	3,413,308	4,621,737	16,176,037	1,081	1,089,303
2015	11,724,028	936,413	12,660,441	1,204,650	3,540,731	4,745,382	17,405,823	1,119	1,170,184
2016	12,396,136	904,747	13,300,883	1,219,748	3,689,490	4,909,238	18,210,121	1,133	1,287,658
2017	11,607,300	1,003,323	12,610,623	1,184,901	4,153,518	5,338,419	17,949,042	1,134	1,296,890
2018	15,331,489	955,136	16,286,625	1,207,649	4,565,855	5,773,504	22,060,128	1,287	1,660,832
2019	16,221,399	693,765	16,915,164	1,051,356	4,714,327	5,765,683	22,680,847	1,160	1,709,639

Fuente: Memoria Puerto San Antonio 2019



**Figura N°2-17 Evolución de Cargas Puerto San Antonio**  
 Fuente: Memoria Puerto San Antonio 2019

### Información Cargas Puerto Terrestre Los Andes

Se realiza un análisis estadístico de los flujos de camiones que ingresan al Puerto Terrestre Los Andes.

**Cuadro N°2-8 Flujo de Camiones Puerto Terrestre Los Andes**

Año	Importación	Exportación
<b>2018</b>	103,232	35,839
<b>2019</b>	104,387	33,786

Fuente: Memoria Puerto Terrestre Los Andes 2019

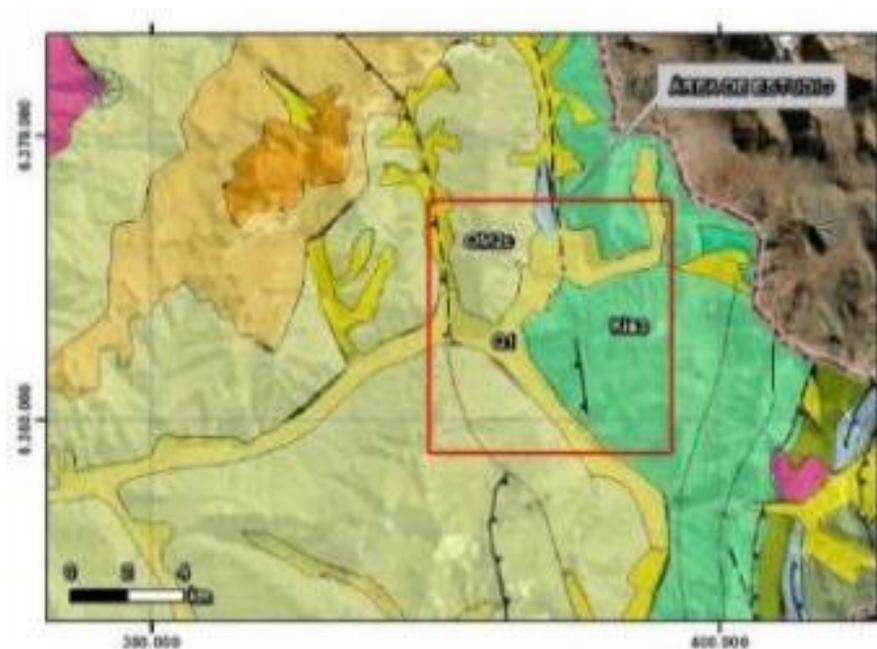
### **3. INGENIERÍA BÁSICA**

El presente capítulo presenta una primera aproximación a la Ingeniería Básica de un proyecto de ingeniería correspondiente a la Etapa 1 y 2 de un estudio de Prefactibilidad. Por lo anterior, los estudios presentes son a nivel de caracterización del Medio Físico del lugar de emplazamiento del proyecto. Estudios más específicos y detallados como los de topografía y de mecánica de suelos corresponden a etapas posteriores, por lo que se escapan del alcance del presente trabajo de título.

#### **3.1. GEOLOGÍA**

En lo que respecta a la formación geológica, la Cordillera de los Andes para su análisis es dividida en tres franjas, éstas son la occidental, central y oriental. La franja occidental (competente al área de estudio), está constituida por rocas de la Formación Abanico (Eoceno Superior- Mioceno Inferior), al Este de esta franja, se encuentra la Formación Farellones (Mioceno) instruida por cuerpos miocenos y parcialmente cubierta por unidades volcánicas y limita al Este con una franja de intrusivos del Mioceno Inferior (Davidson & Vicente, 1973).

El AID se localiza en el sector alto de la cuenca del río Aconcagua, dicha zona tiene influencia de rocas sulfuradas, que son materiales volcánicos vítreos de texturas gruesas ubicados en los sectores de mayores pendientes en la cordillera de los Andes. Estas formaciones están compuestas por rocas de tipo sedimentarias del Pleistoceno – Holoceno; Depósitos fluviales; gravas, arenas y limos del curso actual de los ríos mayores o de sus terrazas y llanuras de inundación; Rocas volcánicas del Mioceno inferior-medio; complejos volcánicos parcialmente erosionados y secuencias volcánicas, lavas, brechas, domos y rocas piroclásticas andesíticos-basálticas a dacíticas. También están presentes rocas volcano-sedimentarias del cretácico inferior-cretácico superior; secuencias sedimentarias y volcánicas continentales, con escasas intercalaciones marinas. Desde el punto de vista de las unidades litológicas locales del área de influencia, se determinó a través del mapa geológico del Servicio Nacional de Geología y Minería (2003) a escala 1:1.000.000, la existencia de las siguientes unidades que son descritas en el Cuadro N°3-11.



**Figura N°3-1 Formaciones Geológicas**

Fuente: SERNAGEOMIN (2003)

**Cuadro N°3-1 Formaciones Geológicas del área de estudio**

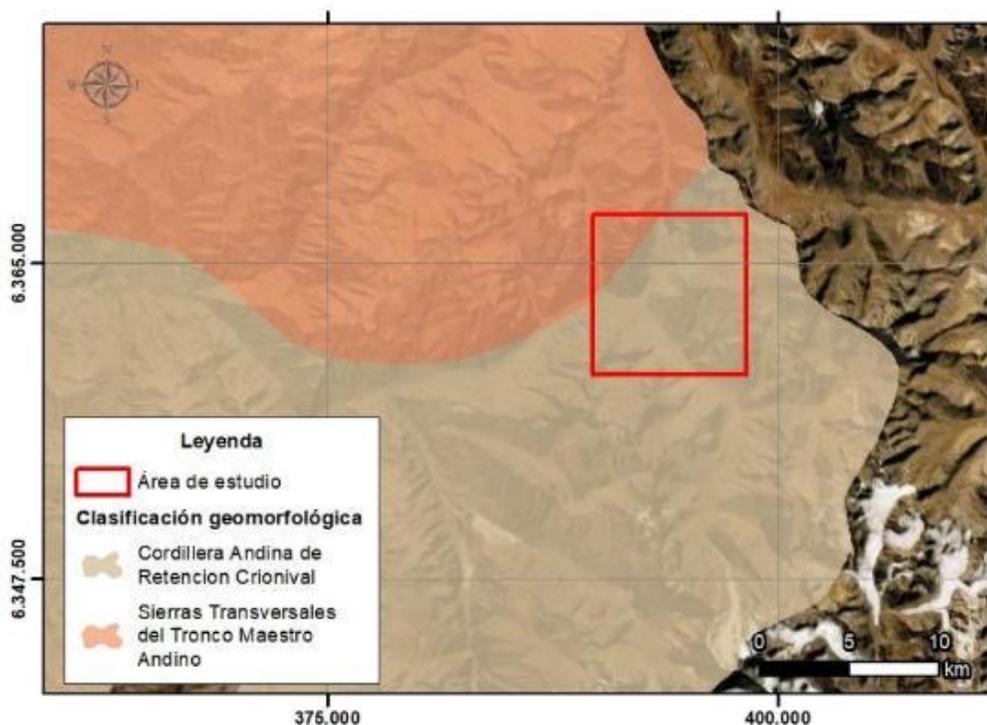
Código Geológico	Nombre	Características
Q1	Pleistoceno – Holoceno	Depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa; en menor proporción fluvio-glaciales, deltaicos, litorales o indiferenciados. En la Depresión Central, regiones Metropolitana a IX: abanicos mixtos de depósitos aluviales y fluvio-glaciales con intercalación de depósitos volcanoclásticos.
OM2c	Oligoceno – Mioceno	Secuencias volcanosedimentarias: lavas basálticas a dacíticas, rocas epiclásticas y piroclásticas. En la Cordillera Principal, regiones I a IX: formaciones Lupica, Escabroso, Abanico, Coya-Machalí, CuraMallín (inferior).
Kia3	Cretácico – Inferior alto	Secuencias y complejos volcánicos continentales: lavas y brechas basálticas a andesíticas, rocas piroclásticas andesíticas a riolíticas, escasas intercalaciones sedimentarias. En las regiones I y II: formaciones Suca, Punta Barranco y Estratos de Quebrada San Cristóbal; en la Cordillera Patagónica, región XI: Grupo Divisadero.

Fuente: SERNAGEOMIN (2003)

### 3.2. GEOMORFOLOGÍA

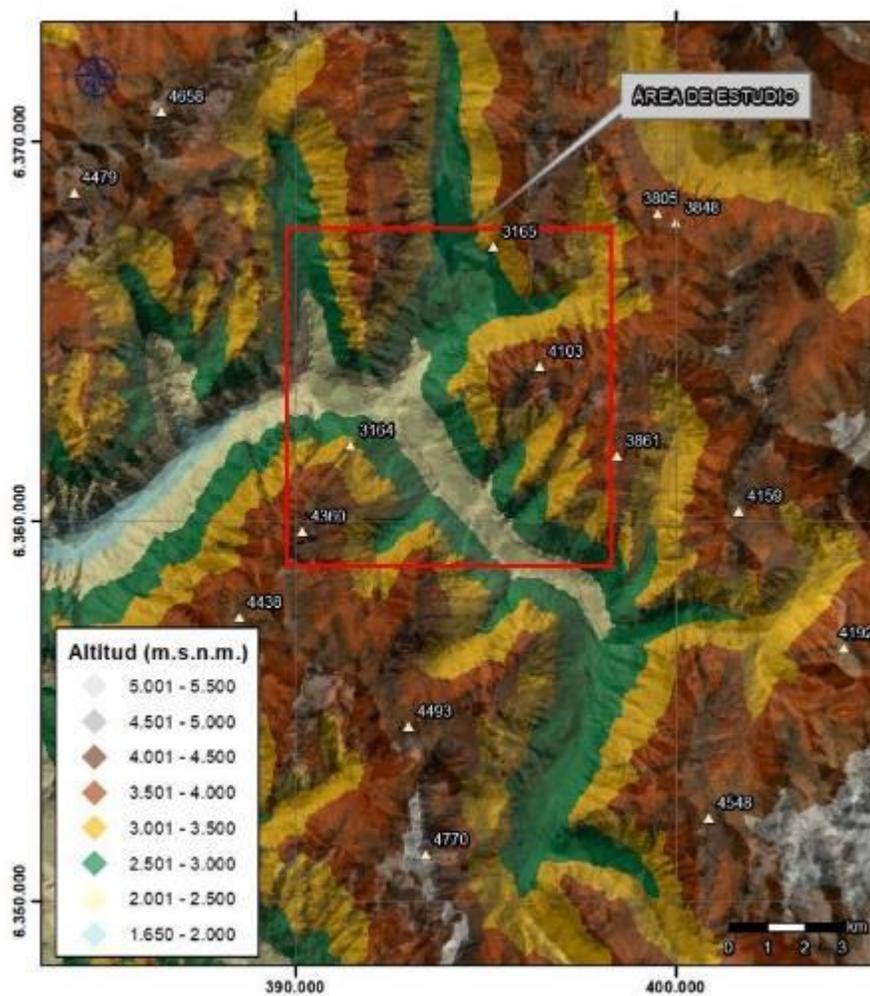
La comuna de Los Andes forma parte de una unidad geomorfológica conocida como el Valle del Alto Aconcagua, que corresponde a la cuenca de origen cordillerano del Río Aconcagua. Los principales elementos geográficos son el Río Aconcagua, la Cordillera de Los Andes, las cadenas de cerros, los cursos de agua y los cerros-isla, todos los cuales constituyen referencias ordenadoras del paisaje, a la vez que conforman la identidad del Valle dentro del contexto paisajístico de la zona central de Chile.

El área de estudio del proyecto se emplaza en la segunda zona geomorfológica definida por Börgel (1983) como “Región de las planicies litorales y cuencas del sistema montañoso andino-costero”, que se desarrolla desde el río Elqui hasta el río Aconcagua, comprende una superficie aproximada de 25.700 km<sup>2</sup>. Dentro de las subagrupaciones formuladas, dentro del área de estudio se reconocen dos tipos: “Cordillera Andina de Retención Crionival”, esta se caracteriza por la retención de nieve y agua en estado sólido a causa del frío en altura. Sus valles altos están ocupados por recubrimientos glacio-volcánicos con incidencias volcánicas y sísmicas. Además, hacia el noroeste del área de estudio, hay se presenta la “Sierras Transversales del Tronco Maestro Andino”, que constituyen parte del encadenamiento principal de la cordillera de los Andes. Los afluentes de algunos ríos se disponen en eje norte-sur creando, dentro del área cordillerana valles longitudinales (Rojas, 2016). En la **¡Error! No se encuentra el origen d e la referencia.** se muestra la distribución de ambas unidades en el área de estudio, donde se evidencia el predominio del de la cordillera Andina de retención crionival.



**Figura N°3-2 Unidades Morfológicas del Área de Estudio**  
Fuente: Elaboración propia a partir de Börgel (1983).

Para analizar el relieve del AID, se realizó un modelo de elevación digital (DEM) en ArcGis 10.5, cuyo resultado fue una carta de altitudes del área de estudio que se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Dado que el área de estudio se localiza en la cordillera de los Andes, se observa que en general el relieve es accidentado de altas altitudes y pendientes, con un valle escajonado y numerosas quebradas, producto de procesos de modelado por agentes hidrológicos. Esta morfología de altura, permite la retención de nieve en la alta cordillera, lo que significa un importante patrimonio de sostenibilidad ambiental para la comuna.



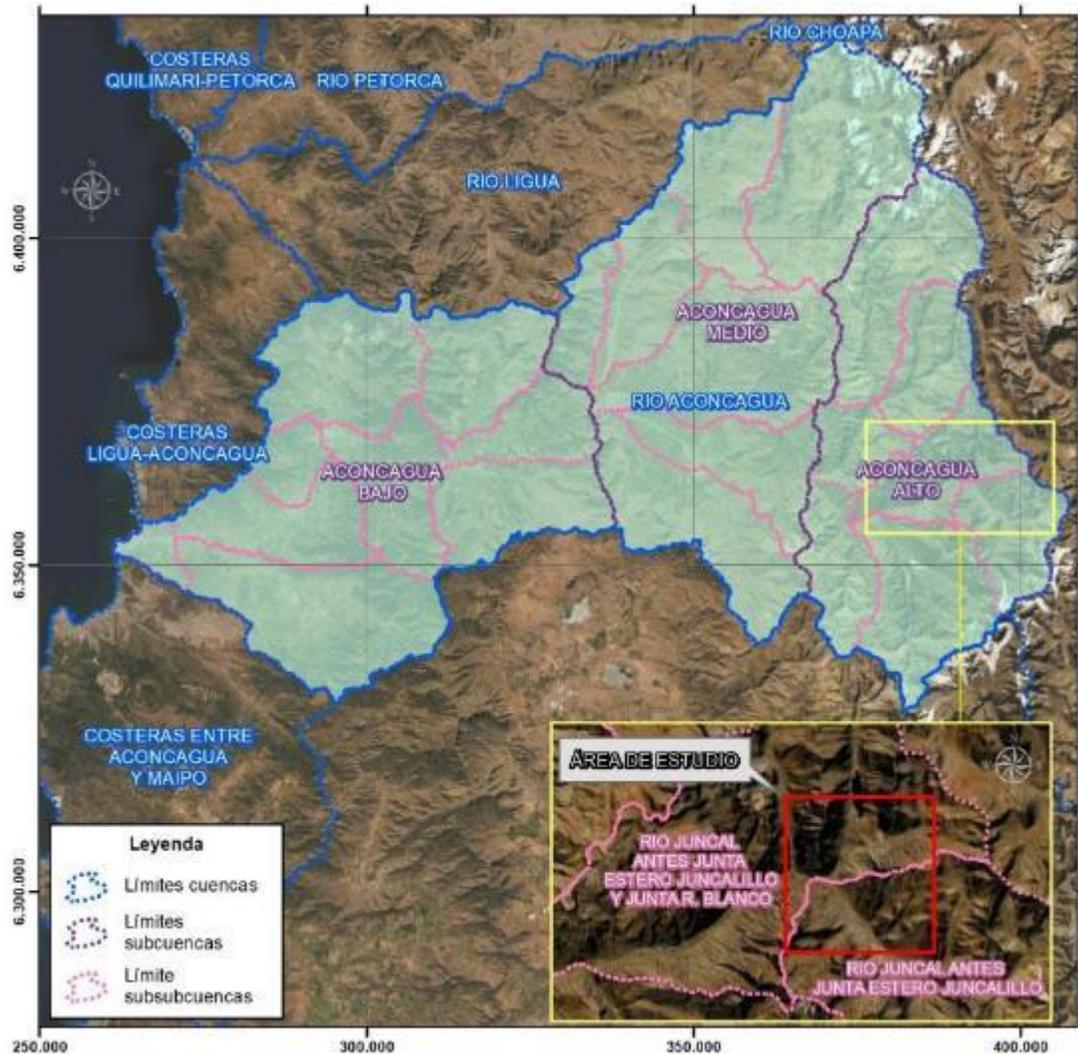
**Figura N°3-3 Carta de Altitud del Área de Estudio**  
Fuente: Estudio Ingeniería El Alba Ruta 60CH (2020)

### 3.3. HIDROLOGÍA

En la región de Valparaíso se pueden encontrar numerosos cursos de agua, debido principalmente a su relieve y precipitaciones. En el sistema hídrico de la región, los cursos principales son los ríos Petorca, La Ligua y Aconcagua y la desembocadura del río Maipo, en el extremo meridional de la región. Existen además hoyas hidrográficas menores que nacen en la Cordillera de la Costa y que son de alimentación pluvial.

El proyecto se inserta en la cuenca exorreica del río Aconcagua. Esta tiene su origen en la confluencia de los ríos Juncal y Blanco en la Cordillera de los Andes. Posee una longitud de 190 km y una hoya hidrográfica de 7.640 km<sup>2</sup> con un caudal medio estimado en 79 m<sup>3</sup>/seg<sup>18</sup>. Tiene un régimen hidrológico de alimentación mixta (nivo-pluvial); en su zona alta y media es de régimen nival, presentando aumentos de caudal en primavera por los deshielos cordilleranos y en la zona baja, posee un régimen pluvial, por lo cual presenta crecidas asociadas directamente con las precipitaciones. En su recorrido hacia a costa, en la cuenca de San Felipe se le une el río Putaendo y antes de su desembocadura en Concón se le une el estero Limache.

En la siguiente Figura, se muestra la cuenca del río Aconcagua y sus divisiones, en este sentido la cuenca principal se divide en tres subcuencas denominadas Aconcagua Alto, Medio y Bajo. A su vez estas se subdividen en 23 subsubcuencas. El AID se encuentra en la subcuenca Aconcagua Alto y también se pueden reconocer dos subsubcuencas: “Río Juncal antes Junta Estero Juncalillo y Junta Río Blanco” y “Río Juncal antes Junta Estero Juncalillo”.



**Figura N°3-4 Cuencas, Subcuencas y Subsubcuencas del área de estudio.**  
 Fuente: Estudio Ingeniería El Alba Ruta 60CH (2020)

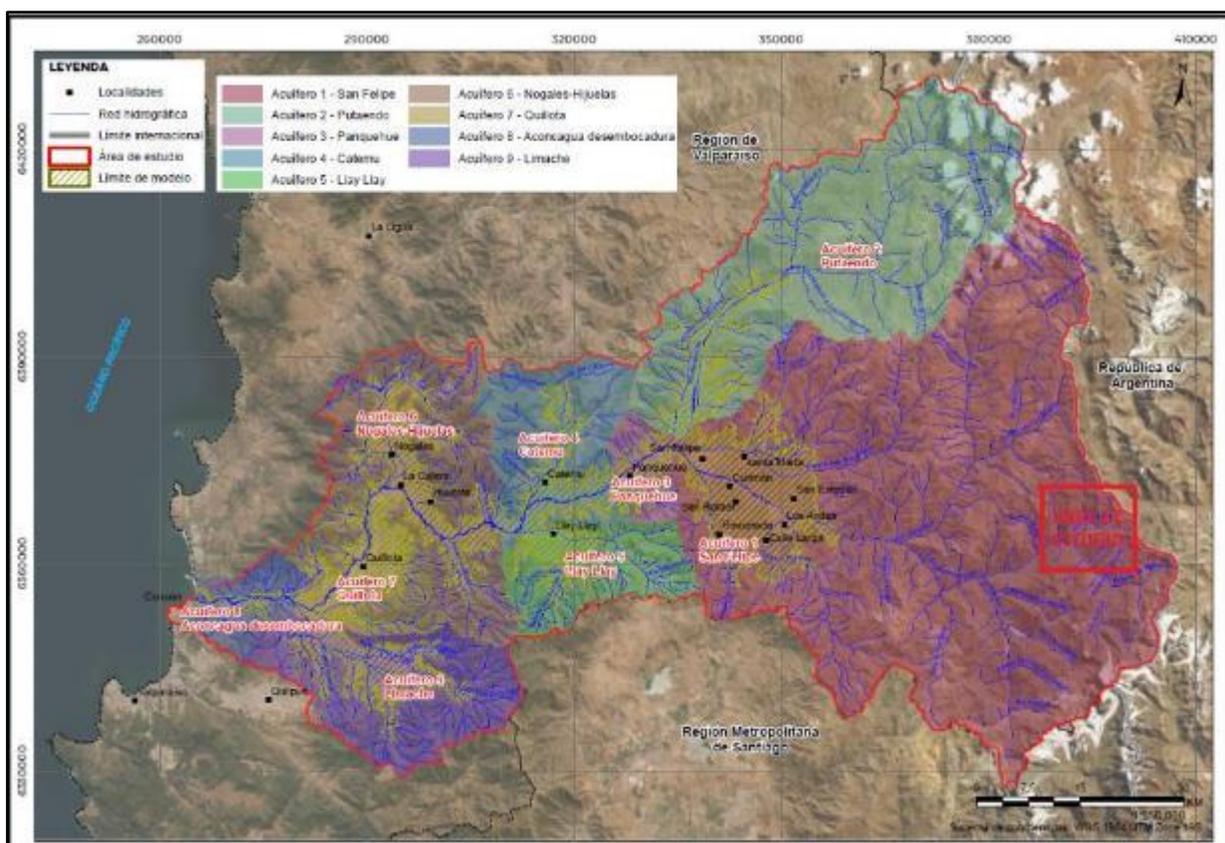
Con respecto a los cursos superficiales, en el AID escurren los ríos Juncal y Juncalillo. El río Juncal se origina en la cordillera homónima, que divide las aguas con la cuenca del Maipo, en una gran lengua de ventisquero llamado glaciar Juncal Norte. En su desarrollo de 35 km recibe por ambas riberas numerosos arroyos, la mayoría originados también en glaciares colgados. Entre esos tributarios está el río Juncalillo, al cual se le reúne el emisario de la laguna del Inca. Este es un cuerpo de agua elevado a 3.200 m sobre el mar, de forma elíptico-elongada con un eje mayor de 4 km y un ancho medio de 600-700 metros (DGA, 2004).



**Figura N°3-5 Red hidrográfica área de estudio**  
 Fuente: Estudio Ingeniería El Alba Ruta 60CH (2020).

### 3.4. HIDROGEOLOGÍA

La Dirección General de Aguas mediante el informe técnico DARH SDT N°357 del año 2014, denominado “Determinación de los Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común, Valle del Río Aconcagua”, define 9 sectores hidrogeológicos contenidos en la hoya del Río Aconcagua.



**Figura N°3-6 Acuíferos de la Hoya del Aconcagua**

Fuente: Actualización de la Modelación Hidrológica Integrada del Aconcagua, DGA. Año 2019.

En la cuenca del río Aconcagua se han definido cuatro unidades hidrogeológicas principales correspondientes a diferentes tipos de depósitos sedimentarios que cubren las unidades rocosas a lo largo de los cauces de agua superficial y que pueden ser diferenciadas por su granulometría y forma de deposición, lo que resulta en distintas características hidráulicas (WSP Consulting Chile Ltda., 2019). Las cuatro unidades hidrogeológicas (UH) se presentan en la siguiente Figura:



## 4. ESTUDIOS RIESGOS NATURALES

Se contempla un diagnóstico preliminar meteorológico, geológico, geomorfológico, hidrológico, hidrogeológico, hidrometeorológico, geológico geotécnico, basado en la recopilación bibliográfica de información representativa del área de influencia del estudio, análisis foto interpretativo según se indica en numeral 2.502.101(3) (MC-V2) y de trabajo de campo, que defina preliminarmente los tipos de riesgos naturales presentes en el área, establecer sus causas preliminares y la potencialidad de activación o reactivación de fenómenos, como por ejemplo remociones en masa y definir los sectores más vulnerables y finalmente proponer los potenciales emplazamientos de los corredores alternativos.

### 4.1. RIESGOS GEOLÓGICOS

A partir de la información y análisis realizados por el Geólogo Sr. Arturo Hauser en el Estudio de Ingeniería de Mejoramiento de la Ruta 60-Ch, desarrollado por la empresa R&Q Ingeniería, se presenta, primeramente, el levantamiento geológico geotécnico correspondiente al tramo de 7 km aprox. de la antigua plataforma de la vía férrea conocida como Ferrocarril Transandino, en el sector comprendido entre el puente sobre el río Juncal y la zona de empalme con el sector Portillo – Laguna del Inca. Esto con el objeto de analizar el posible aprovechamiento de dicha obra para emplazar el par vial solicitado en los Términos de Referencia.

Como complemento del levantamiento geológico, en ese estudio, se llevó a cabo una campaña de toma de muestras, que consistió en la ejecución de 30 calicatas de 1,5 m de profundidad y 3 sondajes para la determinación de roca, los cuales se efectuaron en el último túnel.

El objetivo del estudio se centró en la obtención de la necesaria información básica, referida a la identificación, delimitación y caracterización geológica – geotécnica de todos los materiales, (a nivel de unidades mapeables), de suelos y rocas que participan de la franja de terreno montañoso.

La información generada, adecuadamente analizada, convalidada y ponderada, se constituirá en soporte básico, tanto para optimizar el diseño las futuras obras, como para seleccionar desde el punto de vista ingenieril, económico y operacional, las alternativas más atractivas.

El principal soporte referencial que proporciona el necesario marco geomorfológico – geológico – estratigráfico – estructural o tectónico del sector objeto de estudio, corresponde a los estudios de **Moscoso et al**, (1983) y **Rivano et al**, (1993).

#### **4.1.1. DEPÓSITOS DE ESCOMBRERA DE LADERA DE CERRO**

Se entenderá el término “escombreras de ladera de cerro”, a un conjunto de depósitos que habitualmente en la nomenclatura geológica son categorizados como “conos de deyección”, “coluvio”, “derrubios de ladera” o depósitos de soliflucción.

Tal como ocurre a lo largo de nuestra cordillera andina, en la zona objeto del estudio, las laderas o flancos rocosos que participan de sus escarpados modelados locales, constituidos por rocas basales intrusivas, (graníticas con tonalidades claras) y volcánicas a volcano clásticas (andesitas afaníticas o porfídicas oscuras a rojizas cuando afectas a alteración hidrotermal), aparecen discontinuamente enmantados por depósitos de escombrera de ladera de cerro, provistos de espesores muy variables.

Desarrollan extensos planos inclinados que configuran típicas estructuras con forma de cono o abanico, cuyas zonas apicales culminan al pie de empinados farellones rocosos intensamente fracturados, mientras que los segmentos distales incluyen característicos frentes lobulares que, en la medida del avance ladera abajo, tienden progresiva y persistentemente a incrementar en ancho y espesor. En la zona objeto del estudio, los señalados planos inclinados, exhiben pendientes del orden de 33 a 36° concordantes con los ángulos de reposo, propios de materiales rocosos, granulares, angulosos, resistentes, con bajos contenidos de finos intersticiales.

Esencialmente, estos depósitos incluyen fragmentos de rocas de origen local, cuya composición depende de la roca de la que proceden.

Los mecanismos desencadenantes corresponden, mayoritariamente, a solicitaciones sísmicas, acción del agua vinculada a ciclos pluviales de gran intensidad y efecto hielo / deshielo.

Una vez “liberados”, a partir de sus puntos de origen, los fragmentos rocosos sueltos son movilizados gravitacionalmente ladera abajo, conformando activas, voluminosas y potentes secuencias que enmantan discontinuamente el basamento rocoso.

Mayoritariamente, se originan a partir de empinados relieves rocosos, (cornisas o farellones) sometidos a intensos procesos de fracturamiento vinculados a mecanismos propios de: a) enfriamiento de las rocas, b) esfuerzos tectónicos regionales (compresivos o distensivos) y/o, c) termofracción (efecto / hielo deshielo).

Las normales bajas concentraciones de finos intersticiales, determinan que estos depósitos presentan consistencias sueltas, elevadas porosidades y permeabilidades, bajas compacidades y resistencias, muy particularmente a lo largo de los planos de contacto con la roca basal, cuando desarrollan altas presiones intersticiales producto de la infiltración de aguas; las señaladas características les imprimen una connotación de masas muy inestables; los referidos depósitos están muy bien representado en el segmento inicial de la plataforma objeto de estudio, Dm. 100.600 – 101.300, aproximadamente, correspondiente al flanco N del valle del río Juncal.

En la siguiente Fotografía se aprecian extensos depósitos de escombrera de ladera cerro, sueltos, no consolidados, escasa cobertura vegetal protectora; inestable, con ángulos de reposo en el rango de 33 a 35°, alimentados por farellones rocosos fracturados.



**Figura N°4-1 Cono de Deyección**

Fuente: Propia, tomada en salida a terreno.



**Figura N°4-2 Cono de Deyección**

Fuente: Propia, tomada en salida a terreno.

En zonas, donde los depósitos de escombreras carecen de cobertura vegetal protectora, (pastos, hierbas, arbustos) suelen desarrollarse activas remociones a partir de los respectivos coronamientos de los cortes; el carácter remontante (ladera arriba) de estos procesos determina que, en la medida del progreso de las remociones, los coronamientos tienden a desplazarse ladera arriba, situación que junto con incrementar la superficie expuesta, aumenta el riesgo de inducir movilizaciones cada vez mayores,

Los materiales movilizados se acopian al pie de los cortes de obras viales o ferroviarias; en función de los volúmenes comprometidos, los materiales detríticos suelen acceder hacia determinados segmentos de las plataformas, y aún sobrepasarlas, imponiendo severas restricciones al desplazamiento vehicular.

#### **4.1.2. REMOCIONES EN MASA**

El término “avalancha de rocas” se aplica a la movilización lenta o rápida de voluminosas lenguas detríticas que irradian desde relieves montañosos, alimentadas por material fragmentario, genéticamente vinculados importantes desprendimientos o deslizamientos de bloques rocosos, a partir de escarpados relieves montañosos. Un alto porcentaje de este tipo de remociones son gatillados por sollicitaciones sísmicas.

En la medida del avance ladera abajo, las fracciones clásticas desarrollan activos procesos de trituración o molienda, que contribuye decisivamente a incrementar la fluidificación y movilidad de la masa.

Debido al hecho que los materiales poseen coeficientes de fricción anormalmente bajos y no obedecen las reglas normales que relacionan la altura vertical con la distancia de los desplazamientos horizontales, estas remociones se movilizan a grandes distancias, a partir de los puntos de caída, incluyendo avances contrapendiente, (**Hauser**, 1993).

En la zona objeto del estudio, los depósitos resultantes de los señalados procesos de remociones en masa, incluyen acopios de bloques rocosos, heterométricos (desde algunos centímetros hasta trozos métricos), homocomposicionales, angulosos, inalterados, muy resistentes; configuran depósitos macizos, carentes de estratificación, sueltos, provistos de superficies muy irregulares, con escasa cobertura de suelo o vegetación; característica ésta, que permite asignarlos a eventos ocurridos, muy probablemente, en tiempos históricos.

En la siguiente Fotografía se muestra el segmento final de 315 m de la vía férrea, a partir del portal de salida del Túnel 10, donde se aprecia acopios correspondientes a una voluminosa avalancha de rocas que en torno al margen de la laguna de El Inca.



**Figura N°4-3 Depósitos de Avalanchas**

Fuente: Propia, tomada en salida a terreno.

#### **4.1.3. DEPÓSITOS FLUVIALES A FLUVIO – ALUVIALES.**

Sólo en torno al sector inicial del segmento de la plataforma ferroviaria, correspondiente a la zona de cruce del río Juncal y la localización del Túnel 1, se registra la presencia de depósitos fluviales o fluviales a fluvio aluviales, genéticamente vinculados a actividad erosiva, transporte y depositación, a partir de una importante quebrada que en el sector vierte sus aguas al señalado río.

Están constituidos por depósitos macizos, carentes de estratificación, sueltos, del tipo ripios, gravas, gravillas y arenas, cuyos elementos clásticos, subredondeados a subangulosos, poseen composición heterocomposicional (granitos, andesitas, brechas, tobas, aglomerados), inalterados, muy resistentes, inmersos en una abundante matriz arenosa, grisácea, con muy escasos finos intersticiales del tipo limo y /o arcillas.

La ausencia de finos cohesivos les otorga una moderada a baja compacidad, altas porosidades y permeabilidades y consistencia suelta.

#### **4.1.4. DEPÓSITOS DE FLUJOS DE BARRO O DETRITOS.**

En varios sectores de la actual plataforma ferroviaria, ésta se observa interrumpida por profundas incisiones (verdaderos “canalones” o cárcavas lineales), que provocaron severos daños en su estructura (expresados en deformaciones y/o colapso total de los sistemas de rieles y cremalleras, producto de la erosión y desarrollo de socavaciones en tramos de los terraplenes y sus respectivas fundaciones), junto a basculamientos y colapso de losas por voluminosos flujos detríticos.

El término “**flujo detrítico**” se aplica a remociones en masa que incluyen materiales granulares incoherentes, constituidos por fragmentos rocosos saturados, que fluyen rápidamente a favor de la pendiente local por acción gravitacional, confinados a lo largo de secciones de porteo, cauces, preexistentes; debido a las elevadas concentraciones y escasa selección de los materiales granulares sólidos, este tipo de flujos exhiben altas resistencias al corte y viscosidades. Estas propiedades les otorgan a los flujos elevadas capacidades para transportar bloques rocosos de gran tamaño en suspensión, adquirir considerables energías destructoras, carácter pulsátil, gran movilidad, desarrollar cambios de dirección y sobreelevaciones en segmentos curvos; ello les permite desplazarse por grandes distancias desde sus puntos de origen.

El principal agente desencadenante de los flujos detríticos corresponde al agua de escurrimiento superficial, vinculado tanto a ciclos pluviales de gran intensidad durante la estación invernal, como a súbitos mecanismos de deshielo de casquetes periglaciales, durante la primavera.

Todos los sectores donde la futura plataforma vial sobrepase los “canalones” de descarga de activos flujos detríticos, deberán consignar el diseño y materialización de efectivas

estructuras de hormigón destinadas a portear con holgura los caudales asociados a eventos extremos.

Ejemplo de lo anterior se muestra en la siguiente Fotografía del sector en torno portal de salida de Túnel 9. Se registra escasa sobrecarga de material detrítico cementado sobre la clave, verdadera “bóveda falsa”; en relación con el proyecto de ensanche de la actual plataforma ferroviaria, este carácter favorecería la demolición de esta estructura, conservando parte de su costado interno, que actuaría como un futuro muro de contención, acompañado del desarrollo de un corte abierto.



**Figura N°4-4 Depósitos de Detritos**

Fuente: Propia, tomada en salida a terreno.

Vista hacia ladera arriba por eje del cauce, se aprecia un “canalón” que conduce flujos detríticos descritos en foto anterior. Se observa gran “disponibilidad” de materiales sueltos, inestables, para “alimentar” futuros flujos.



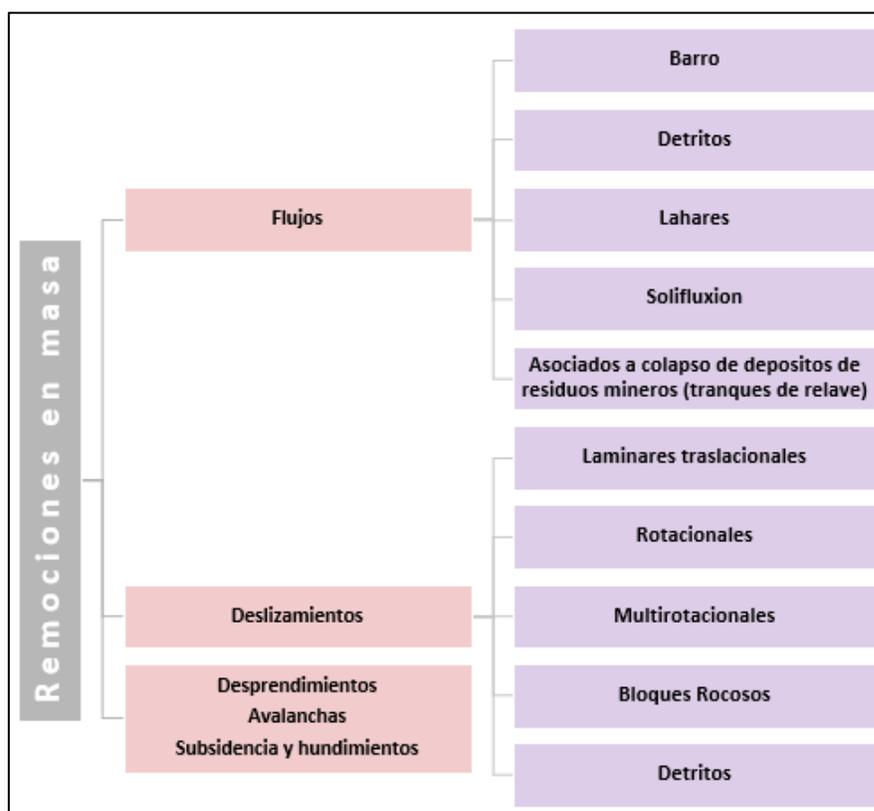
**Figura N°4-5 Canalón de Flujo Detrítico**

Fuente: Propia, tomada en salida a terreno.

## 4.2. RIESGOS GEOMORFOLÓGICOS

Los movimientos de remoción en masa corresponden, intrínsecamente, a procesos gravitacionales, considerando que una porción específica del conjunto del terreno se desplaza hasta una cota o nivel inferior a la original. Se destacan aquéllos de carácter interno o intrínseco, que caracterizan y definen el material (litología, estructura, comportamiento hidrogeológico, estados tenso-deformativos, propiedades físicas), y externos (aplicación de cargas estáticas o dinámicas, variaciones en las condiciones hidrogeológicas, factores climáticos, alteraciones en la geometría de taludes). Los primeros participan decisivamente en la tipología, mecanismo y modelo de ruptura, mientras que los segundos controlan, en gran medida, los volúmenes comprendidos en las remociones. En la mayoría de éstas, el agua constituye uno de los principales agentes desencadenantes al originar drásticas disminuciones de la resistencia al corte y presiones intersticiales a lo largo de potenciales planos o superficies de ruptura (HAUSER, 2000).

Según la clasificación propuestas por Hauser (2000), los procesos de remoción en masa se clasifican de la siguiente forma.



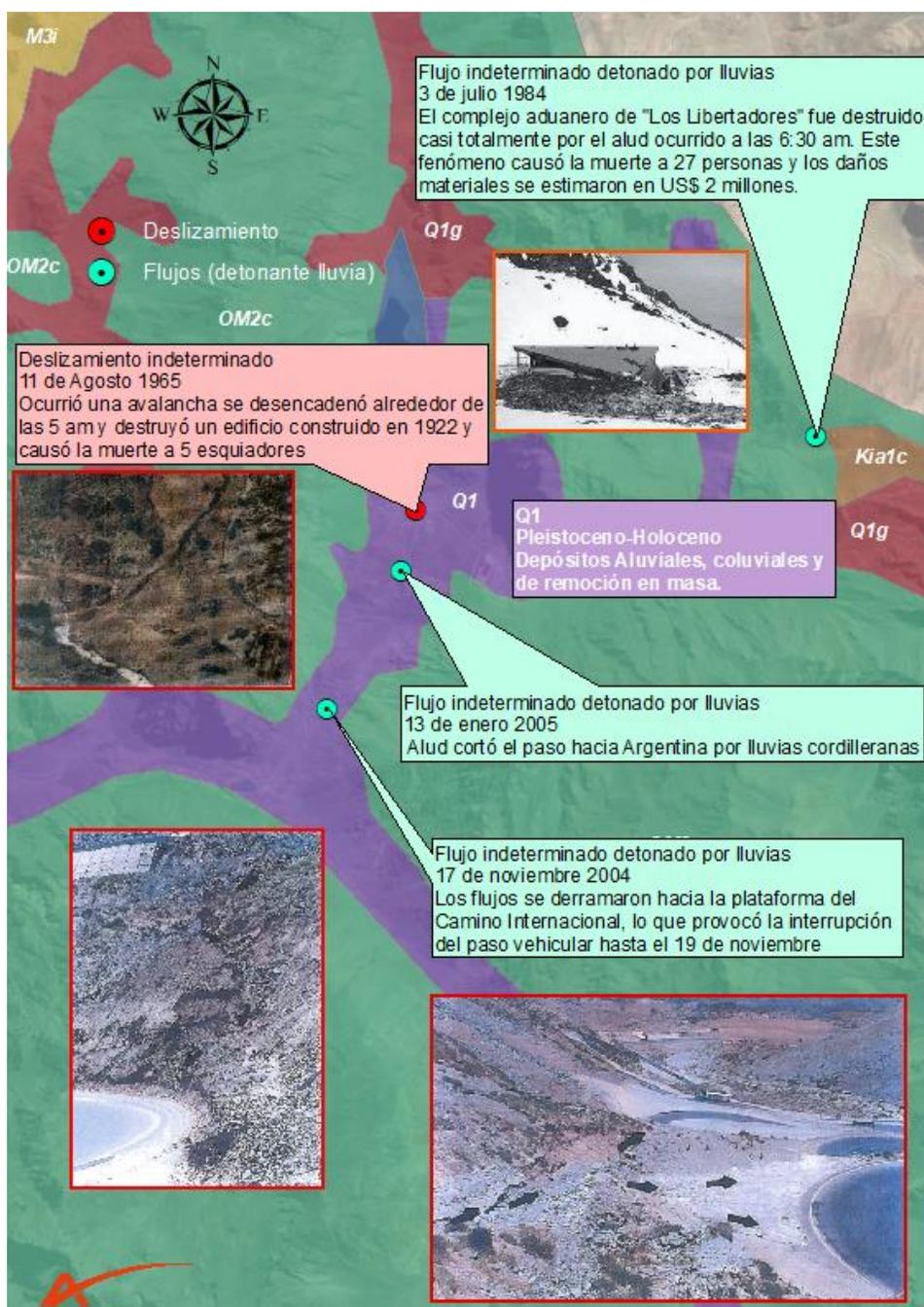
**Figura N°4-6 Clasificación Remociones en Masa**

Fuente: Elaboración propia en base a clasificación A. Hauser, 2000.

En este aspecto el área de estudio si presenta este tipo de riesgo, ya que dentro de los rasgos geomorfológicos condicionantes de eventos de remoción en masa son principalmente la topografía, pendientes de las laderas, cambios fuertes de pendientes de las laderas, y la extensión y altura de las laderas. Estas características inciden en la

velocidad, energía y volumen de las remociones que puedan originarse. Así también, cualquier modificación de ellos puede transformar una ladera estable en inestable y generar remociones (Popescu, 2002). Por otro lado, influyen la forma y superficie de las hoyas hidrográficas, orientación de las laderas y su consecuente exposición al sol.

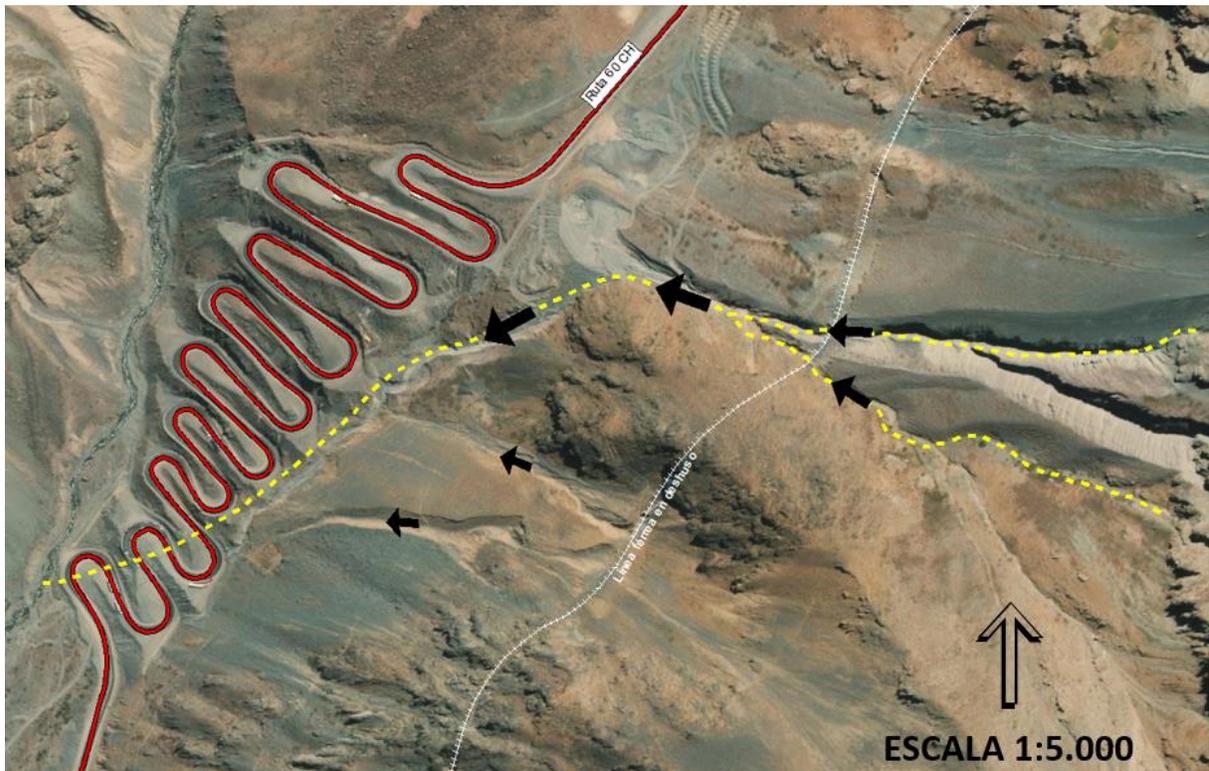
A continuación, se grafican algunos eventos de remociones en masa en el área de estudio, según el catastro realizado por el Servicio Nacional de Geología y Minería.



**Figura N°4-7 Localización de Remociones en Masa**

Fuente: A. Hauser. Estudio RyQ (2007).

Uno de los puntos vulnerable a este tipo de fenómenos es entre la curva 2 y 20 de la cuesta caracoles.



**Figura N°4-8 Quebrada Activa**

Fuente: elaboración propia en base a informe Sernageomin

Este estudio fue realizado por el geólogo Arturo Hauser el año 2005, en el marco del estudio de “Evaluación de vulnerabilidad y propuesta de procedimientos para el control de flujos detríticos o aluvionales en segmento Juncal-Portillo, del Camino Internacional a la República Argentina”.

**Cuadro N°4-1 Eventos Ocurridos en esta Zona**

Evento	Día	Volumen de material Extraído (m3)	Paralización en le vía (horas)
Flujo detrítico	18/11/2000	10.000	24
Flujo detrítico	21/01/2003	8.000	18
Flujo detrítico	17/11/2004	14.000	44

Los tres eventos individualizados se activaron, principalmente, como resultado de intensos procesos de deshielo de la cobertura de hielo y nieve, que al momento cubría un importante sector en torno de la hoya hidrográfica de la quebrada denominada Ferrocarril, que compromete, mayoritariamente, depósitos coluviales, sueltos.

Un simple catastro de eventos aluvionales permite establecer que, en los últimos cuatro años, en tres oportunidades, durante los meses de noviembre a enero, asociado a procesos de intensa ablación de hielo o nieve que enmantan las cabeceras de la hoya hidrográfica Ferrocarril, han generado voluminosos y enérgicos flujos detríticos, que al descargar sobre segmentos de las C-6, 4 y 2 han provocado graves interrupciones en el flujo vehicular desde y hacia la República Argentina. La alta frecuencia de los eventos aluvionales, unido a los importantes volúmenes de materiales comprometidos en los eventos precedentes, la elevada pendiente del eje de descarga de la quebrada ferrocarril, su actual restringida sección de porteo, unido al hecho que su cauce se desarrolla en depósitos coluviales sueltos, muy sensibles a la erosión hídrica, determina la existencia de un ambiente morfológico, hidrológico, geológico y geotécnico, con una alta vulnerabilidad al desarrollo de flujos aluvionales.



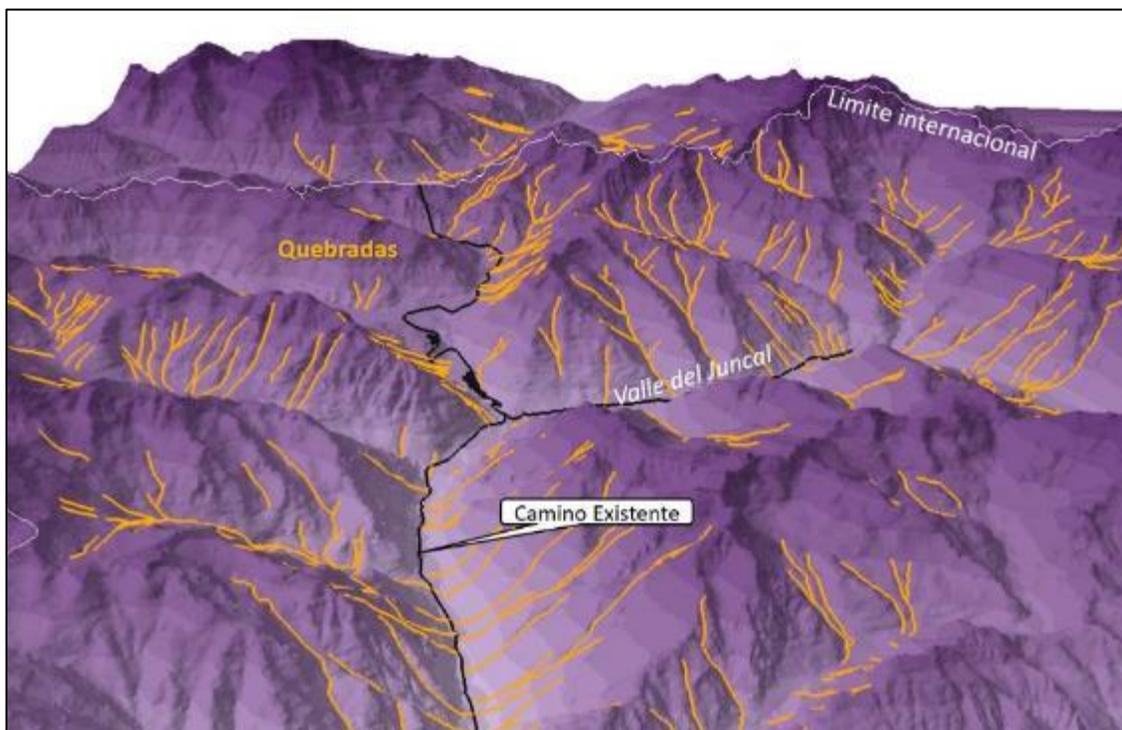
**Figura N°4-9 Área de Remoción en Masa**  
Fuente: A. Hauser. Estudio RyQ (2007).



**Figura N°4-10 Área de Remoción en Masa**

Fuente: A. Hauser. Estudio RyQ (2007).

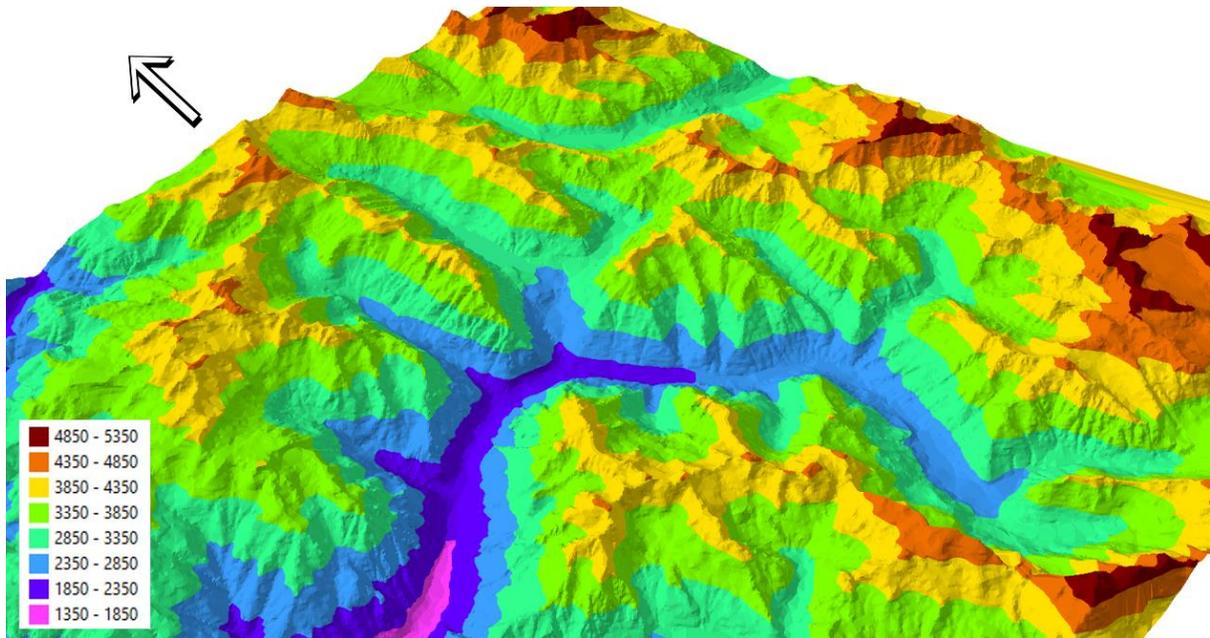
Cabe destacar que en el área de estudio abundan las quebradas y las pendientes abruptas, lo que hace factibles remociones en masa activadas tanto por frentes lluviosos o eventos sísmicos.



**Figura N°4-11 Quebradas presentes en el área de estudio**

Fuente: Estudio Ing El Alba (2020).

Como ya se mencionó previamente, el área de estudio se encuentra ubicado en plena cordillera de los Andes, casi al límite con la frontera Argentina, en este lugar pueden evidenciarse altas cumbres que superan los 5.000msnm. La ruta principal (60CH), sin embargo, se sitúa entre los 1700 y los 3.200 msnm aproximadamente.



**Figura N°4-12 Altitudes en el área de estudio.**

Fuente: Estudio Ing. El Alba (2020).

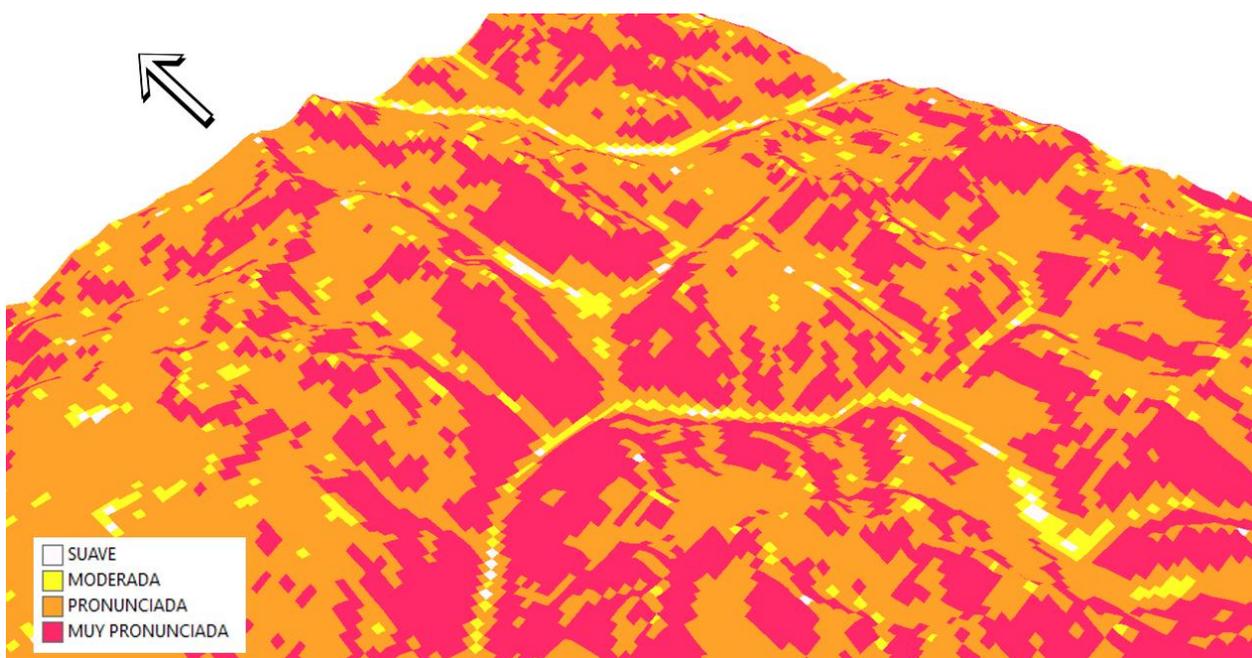
Considerando la clase de pendientes presentes en el área de emplazamiento de las alternativas, que resulta ser un factor determinante al momento de establecer zonas potenciales de riesgo de remoción en masa, se tiene el siguiente análisis, realizado con curvas de nivel del área cada 50 metros y desarrollado con herramientas del software Arcgis 10.3.

**Cuadro N°4-2 Clase de Pendientes**

Grados (°)	Denominación	Clase de Pendiente
0-2	Plano	Suave
2-3	Casi plano	
3-6	Ligeramente inclinado	Moderada
6-9	Inclinado	
9-17	Inclinación Pronunciada	Pronunciada
17-30	Inclinación muy pronunciada	
30-45	Escarpado	Muy pronunciada
>45	Muy Escarpado	

Fuente: Schlatter, Grez y Gerding (2004)

Como puede verse en la imagen que a continuación se adjunta, las pendientes que más abundan según la clasificación de Schlatter, Grez y Gerging, son aquellas que se presentan de manera pronunciada y muy pronunciada, es decir, sobre los 9° de inclinación, llegando a un máximo de 60° en el área de estudio.



**Figura N°4-13 Clasificación según pendientes.**

Fuente: Estudio Ing. El Alba (2020).

### 4.3. RIESGOS HIDROLÓGICOS

Los riesgos hidrológicos corresponden a aquellos que están causados por el agua, tanto por su exceso como por su falta. En el primer caso, se pueden producir inundaciones costeras causadas por el mar, desbordamientos de ríos y erosión y sedimentación, causados por eventos de tormentas de mayor o menor grado. En el caso de la ausencia de agua, el efecto es la salinización, la desertificación y la sequía. Se producen principalmente como consecuencia de los riesgos atmosféricos correspondientes a cada sector geográfico, como las tormentas y por ello se comentan en conjunto. Dependiendo de la localidad, existirá susceptibilidad a uno u otro efecto.

El objetivo es presentar en rasgos generales, los eventuales peligros que representan las condiciones hidrológicas en el área de estudio y su entorno inmediato y, en caso necesario, proponer alternativas de protección.

#### 4.3.1. UBICACIÓN

La zona de estudio está ubicada en la Región de Valparaíso, en la Cordillera de Los Andes vecino al límite con la República Argentina. Las cotas aproximadas entre las cuales se desarrolla el proyecto entre el inicio en Juncal, y el final en el sector del túnel Cristo Redentor, fluctúan entre los 2.221 m.s.n.m. y los 3.200 m.s.n.m.

A continuación, se observa el área de emplazamiento del proyecto en estudio, Sector Juncal a Túnel Cristo Redentor y en la siguiente figura los principales cauces, Río Juncalillo y Río Juncal.



**Figura N°4-14 Vista del sector de estudio**

Fuente: Imagen satelital Google Earth



**Figura N°4-15 Principales Cauces del Sector de Estudio**  
 Fuente: Estudio Ing El Alba (2020).

## **Condiciones Climáticas Generales**

El área del proyecto se ubica en una región en la que durante los meses veraniegos predominan los cielos claros y vientos del Oeste, controlados por el anticiclón del Pacífico. Durante los meses invernales el área es afectada por el tránsito de frentes polares, ocasionando nubosidad y tormentas de nieve en la montaña y precipitaciones pluviales en los valles a menor cota. Durante las tormentas, la dirección general predominante de los vientos en altura es desde el Norte y Noroeste; ocasionalmente se producen vientos desde el Este y también nevadas con escaso viento o calmas.

### **4.3.2. RIESGOS ASOCIADOS AL SECTOR DE ESTUDIO**

El riesgo asociado a las condiciones hidrológicas, que puede identificarse en el área del estudio está relacionado con la presencia del Río Juncalillo. El riesgo está asociado con las crecidas en el río que, eventualmente, pudieran alcanzar las instalaciones del complejo aduanero o provocar problemas en la ruta.

Las crecidas en el área de estudio pueden ser de dos tipos, crecidas asociadas a las condiciones nivo-pluviales, y crecidas de deshielo. Este tipo de crecidas deberán evaluarse posteriormente para tener una idea de la envergadura de ellas y poder determinar si efectivamente las condiciones de capacidad actual del río son suficientes para manejar los caudales en crecida y además la infraestructura existente como obras de arte también lo son.

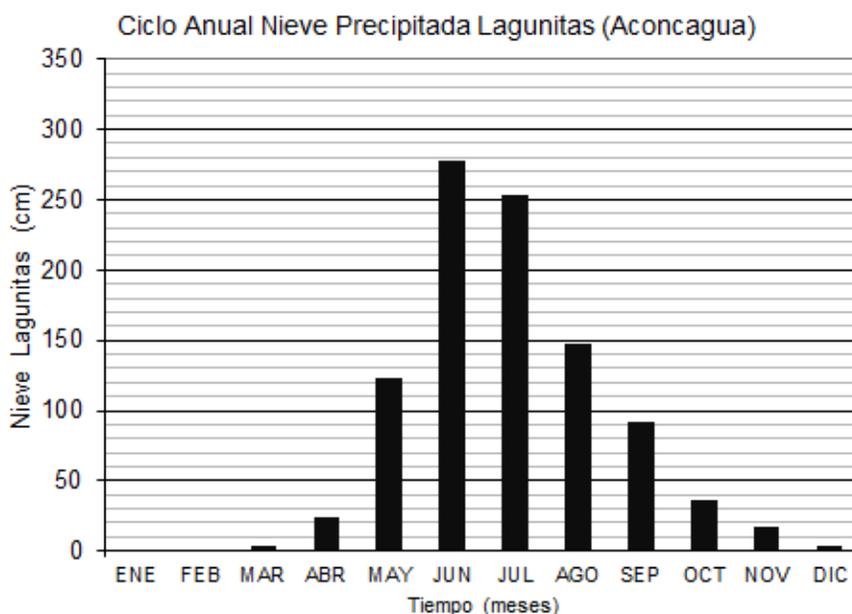
Debe tenerse presente que, dada la condición de camino cordillerano, este se encontrara expuesto a verse afectado por eventos de naturaleza invernal a lo menos durante 6 meses al año.

## 4.4. RIESGOS NIVOLÓGICOS Y AVALANCHAS

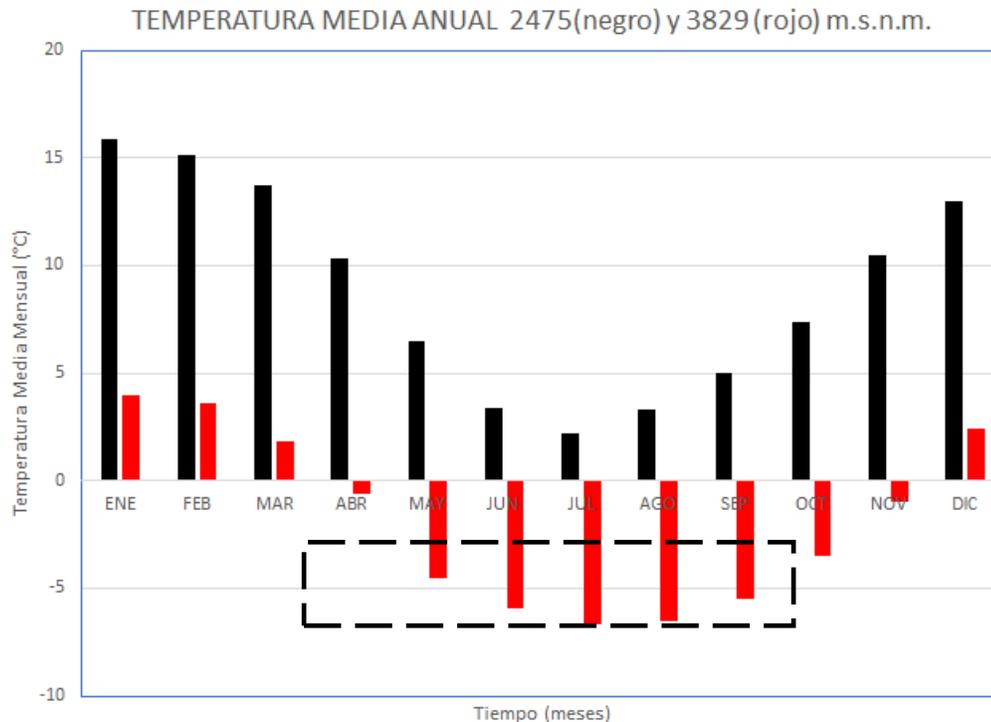
### 4.4.1. NIVOCLIMATOLOGÍA

El estudio se localiza en la cordillera de la zona Central de Chile entre las cotas 2.500 y 3.500 m.s.n.m., rodeadas por cumbres que superan los 4.000 m.s.n.m. con precipitaciones principalmente sólidas (nieve) durante la temporada invernal (Figura N°4-16) y que en años extremos como el invierno de 1972 superaron los 20 metros anuales (Figura N°2-18).

Meteorológicamente hablando la zona corresponde a lo que se conoce como *zona fría* (Figura N°4-17). Esto es que al menos durante un mes del año, la temperatura media mensual se encuentra bajo 0°C, generando congelamiento estacional del suelo, La condición de zona fría se registra durante un mes a la cota 2.600 m.s.n.m. cerca de Juncal y seis meses en los portales de los Túneles (Figura N°4-17). Lo que implica que en todos los diseños se tiene que incluir el congelamiento estacional del suelo y la ocurrencia de precipitaciones tanto sólidas como líquidas.



**Figura N°4-16 Ciclo Anual Precipitación Sólida Estación Lagunitas**  
Fuente: Estudio Ing El Alba (2020).



**Figura N°4-17 Ciclo Anual de la Temperatura Medio Mensual en la zona central de Chile a los 3829 m.s.n.m. (barras rojas) y 2475 m.s.n.m. (barras negras)**  
 Fuente: Estudio Ing El Alba (2020).

La revisión de los estudios anteriores para el mejoramiento de la ruta CH60 en su tramo de Alta Montaña, muestra que estos se enfocan en el control y protección de la ruta CH60 de las avalanchas, como medio para aumentar la operatividad de la ruta (número de días con paso abierto), esto se explica por qué estos estudios se basan principalmente en la experiencia operacional de las décadas nevadoras entre 1972 y 2002, donde en años como 1972 y 1982 la precipitación sólida anual superó los 20 metros (Figura N°4-18), más de tres veces lo registrado durante los últimos años.

Sin embargo, desde aproximadamente el invierno 2006, la precipitación sólida solo supera marginalmente el valor medio anual de 9,5 metros, siendo los inviernos de 2009 y 2016, los más nevadores de los últimos 10 años. Lo que confirma la experiencia compartida por los responsables de la Dirección de Vialidad del MOP, que señalan que fue durante el invierno de 2016, cuando se registraron avalanchas más importantes de los últimos años, con 35 días en el año de paso cerrado.

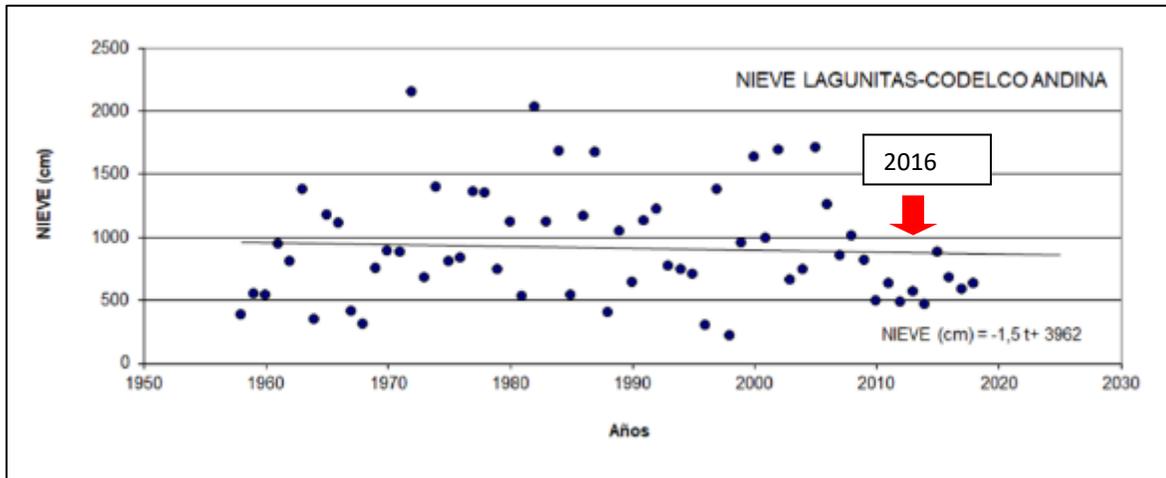
La experiencia del Consultor muestra que, durante años con precipitaciones sólidas sobre la media anual, como lo registrado en el período comprendido entre 1972 y 2006, el número de días cerrados del Paso Internacional se explica principalmente por la activación de sendas de avalanchas.

Mientras que en años menos nevadores, como los observados durante las últimas décadas, el cierre del Paso Internacional no está directamente asociado con avalanchas (Figura N°4-20), si no por otros factores como los enumerados más adelante.

Incluso el número de días cerrados durante dos períodos diferentes muestra un mismo patrón de comportamiento frente a las precipitaciones anuales, en un rango de entre 10 y 40 días cerrados. Independiente de la cantidad de nieve precipitada (Figura N°4-20).

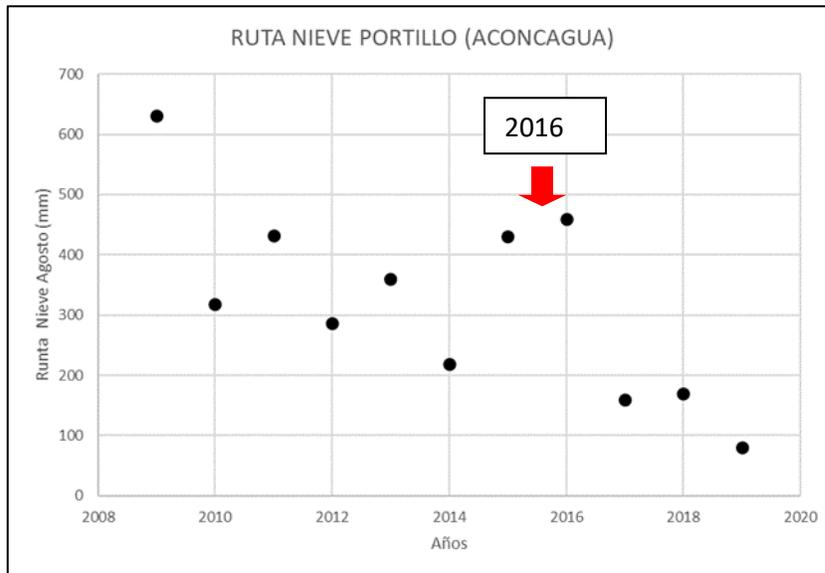
Durante los dos últimos años las principales causas reportadas que llevaron al cierre del Paso Los Libertadores fueron:

- 1) Acumulación de Nieve y Viento Blanco.
- 2) Formación de Hielo sobre la carpeta de rodado.
- 3) Tormentas Eléctricas (rayos y granizos)
- 4) Aluviones y/o crecidas rápidas tanto en sector argentino como chileno.
- 5) Preventivo por aproximación de sistema de mal tiempo.
- 6) Fallas mecánicas y Accidentes en la ruta.
- 7) Falta de Visibilidad, por nevadas y/o lluvias intensas.
- 8) Mantenimientos de la Ruta.
- 9) Cortes por barricadas, manifestaciones y paros de camioneros.
- 10) Retraso en aperturas por alguno de los lados chileno y/o argentino.
- 11) Riesgo de Avalanchas.
- 12) Sensación Térmica (viento y bajas temperaturas).



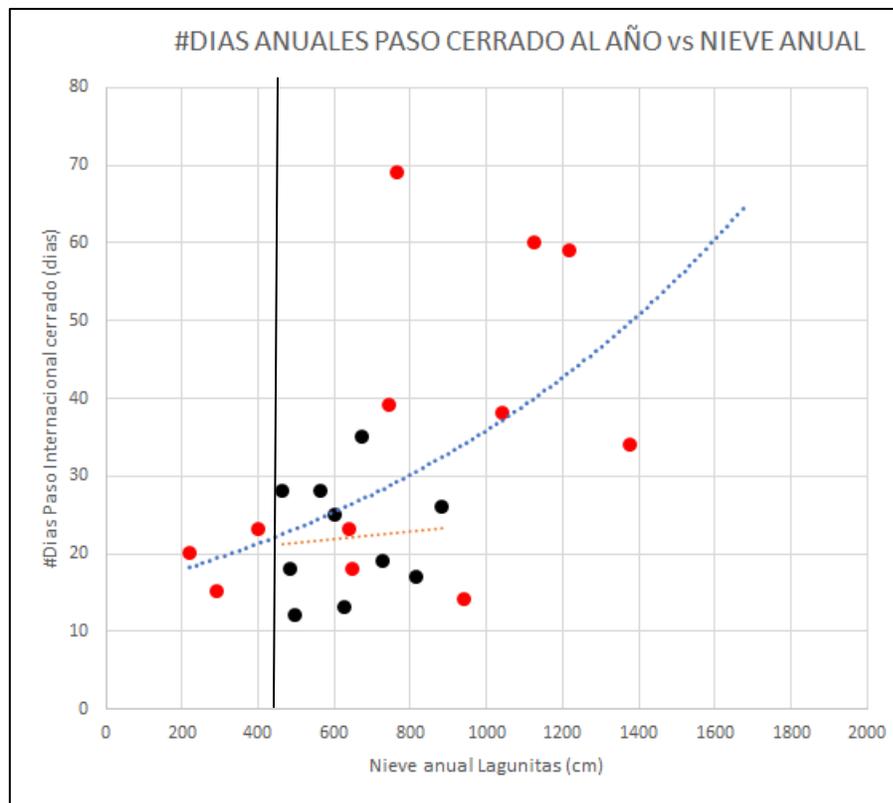
**Figura N°4-18 Serie de tiempo histórica de los últimos 60 años de nieve anual en Lagunitas.**

Fuente: Estudio Ing El Alba (2020).



**Figura N°4-19 Serie de tiempo de los último 10 años de la ruta de nieve de agosto en Portillo.**

Fuente: Estudio Ing El Alba (2020).



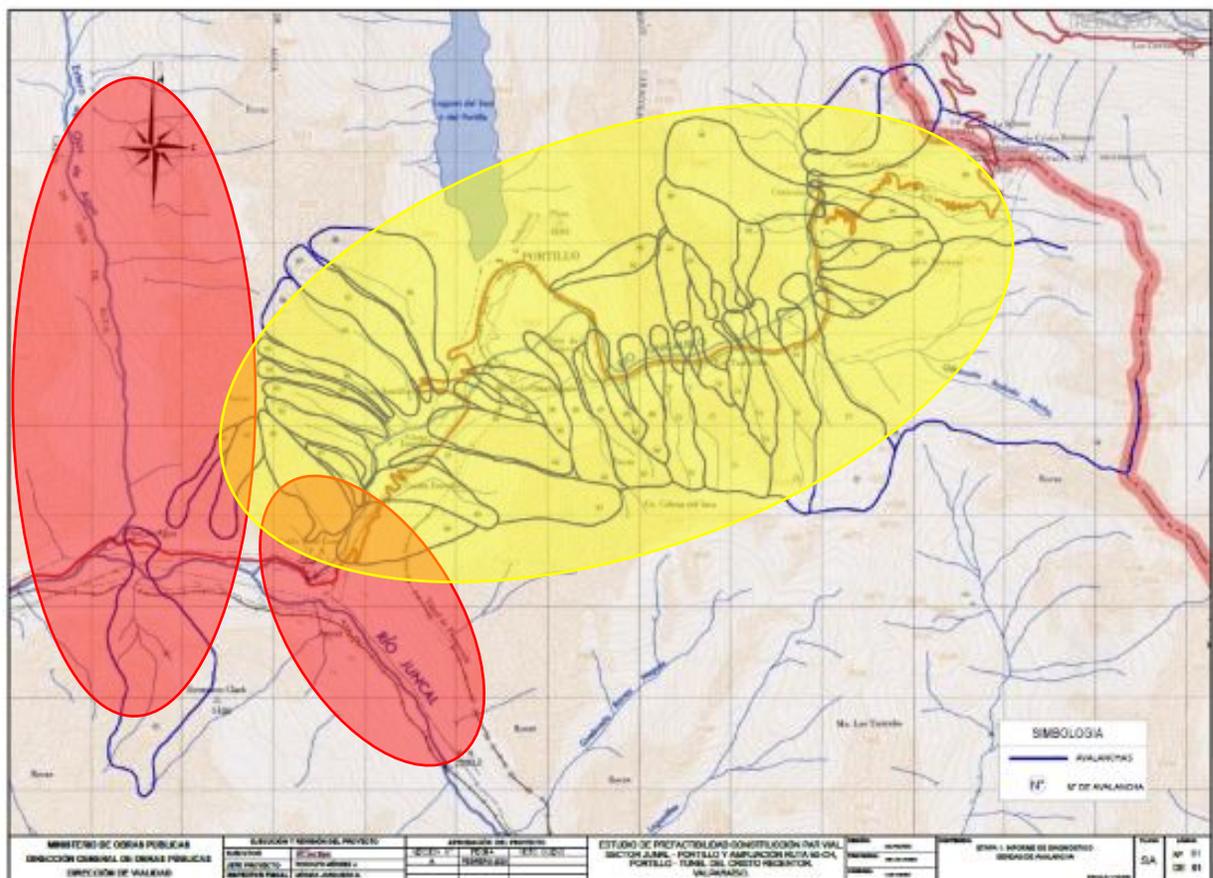
**Figura N°4-20 Relación entre número de días en que el Paso Internacional permaneció cerrado y nieve anual en Lagunitas. Periodos 2009-2020 (puntos negros) y 1988-1999 (puntos rojos).**

Fuente: Estudio Ing El Alba (2020).

#### 4.4.2. SENDAS DE AVALANCHAS

Con el objeto de evaluar el riesgo de avalanchas se revisaron las cartas de avalanchas dibujadas en estudios anteriores (Figura N°4-21). La carta de avalanchas realizada por CCP Ingeniería Ltda. en 1995, se puede identificar los riesgos de avalanchas en el trazado actual. Confirmando que toda la ruta actual entre Juncal y Portales de los Túneles está bajo riesgo de avalanchas en años nevadores, mientras que en años menos nevadores o bajo la media anual (como la última década), las protecciones implementadas parecen lograr controlar los riesgos mayores.

La carta de sendas de avalanchas requiere ser actualizada e incluir los sectores de Quebrada Ojos de Agua y Río Juncal, para evaluar las distintas alternativas que serán parte del presente estudio.



**Figura N°4-21 Carta de sendas de avalanchas de Ruta CH60 en tramo Juncal – Cristo Redentor. En achurado rojo se muestra la zona que se tiene que extender la carta de avalancha y mientras que en achurado amarillo la carta tiene que ser actualizada.**

Fuente: Estudio CCP Ingeniería (1995)

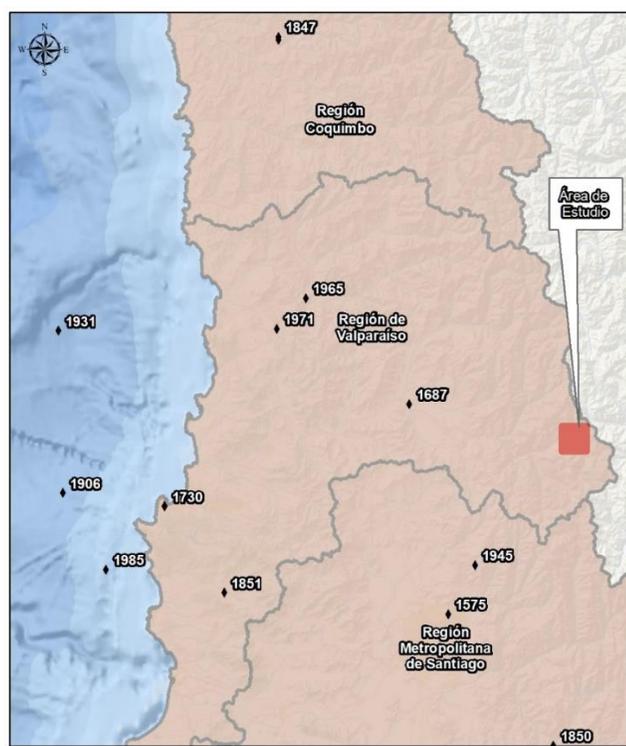
#### 4.5. AMENAZA SÍSMICA

La actividad sísmica en Chile se genera a causa del proceso de subducción que tiene lugar principalmente en la línea de costa entre la placa oceánica de Nasca y la placa continental Sudamericana. Al mismo tiempo, en el extremo sur de la placa Sudamericana se desliza con respecto al segmento más austral del océano Pacífico o placa Antártica.

Los procesos tectónicos se traducen en fuertes reacciones en la superficie de la tierra, que pueden variar de intensidad de leves movimientos hasta grandes terremotos, cuyo poder destructivo dependerá de factores tales como: distancia al epicentro, de las características geológicas y geomorfológicas, y la profundidad de la napa freática de un área determinada.

La importancia del análisis sismológico radica en permitir conocer los eventos sísmicos ocurridos en Chile para determinar la intensidad con que éstos se han hecho sentir en el área de influencia del proyecto, lo que permite conocer el comportamiento sísmico a lo largo del emplazamiento del trazado del camino.

Los eventos sismológicos están presentes en todo el territorio nacional, por lo tanto, el área de estudio no está exenta de estos. Sin embargo, al revisar el catastro de “Sismos Importantes y/o Destructivos (1570 a la fecha)” del Centro Sismológico Nacional (CSN) de la Universidad de Chile, se constató que a la fecha no hay epicentros dentro ni cercanos al área de estudio. Lo anterior se grafica en la siguiente Figura.



**Figura N°4-22 Localización Eventos Sísmicos Históricos región de Valparaíso.**

Fuente: CSN.

En el siguiente cuadro se describen los eventos sísmicos ocurridos en la región de Valparaíso, donde se muestra la fecha donde ocurrió, localización del epicentro, la magnitud del evento y el efecto que tuvo.

**Cuadro N°4-3 Catastro de Sismos Importantes y/o destructivos de la región de Valparaíso.**

Fecha local	Latitud	Longitud	Magnitud	Efecto
17/03/1575	-33.400	-70.600	7.3	-
12/07/1687	-32.750	-70.730	7.3	-
08/07/1730	-33.050	-71.630	8.7	Tsunami destructor y mayor
19/11/1822	-33.050	-71.630	8.5	Tsunami moderado
26/09/1829	-33.050	-71.630	7.0	-
08/10/1847	-31.610	-71.180	7.3	-
06/12/1850	-33.810	-70.220	7.3	-
02/04/1851	-33.320	-71.420	7.1	-
15/08/1880	-31.620	-71.180	7.7	-
16-08-1906	-33.000	-72.000	7.9	Tsunami moderado
18-03-1931	-32.500	-72.000	7.1	-
13-07-1945	-33.250	-70.500	7.1	-
28-03-1965	-32.418	-71.100	7.4	-
08-07-1971	-32.511	-71.207	7.5	Tsunami moderado
16-10-1981	-33.134	-73.074	7.5	-
03-03-1985	-33.240	-71.850	7.8	Tsunami

Fuente: CSN.

Además, se consultó la “Zonificación sísmica de Chile” elaborada el año 2016 por el CSN, que consiste en una guía que indica qué zonas están más susceptibles a sufrir una mayor sollicitación sísmica y, dependiendo de la vulnerabilidad de las estructuras, una gran cantidad de daños puede estar asociada a este fenómeno. Este mapa ayuda a proyectar la demanda sísmica a la que se verían expuestas las estructuras en un rango de 50 años, con un 90% de probabilidad de no exceder un cierto nivel de aceleración, por lo que no debiera sufrir fallas.

En las áreas en que hay un mayor valor (colores rojo o naranja) es esperable que las estructuras sean sometidas a mayores sollicitaciones sísmicas en el rango de tiempo dado. En Chile, las mayores sollicitaciones están en las zonas costeras y va disminuyendo en la medida en que se acerca a la cordillera.

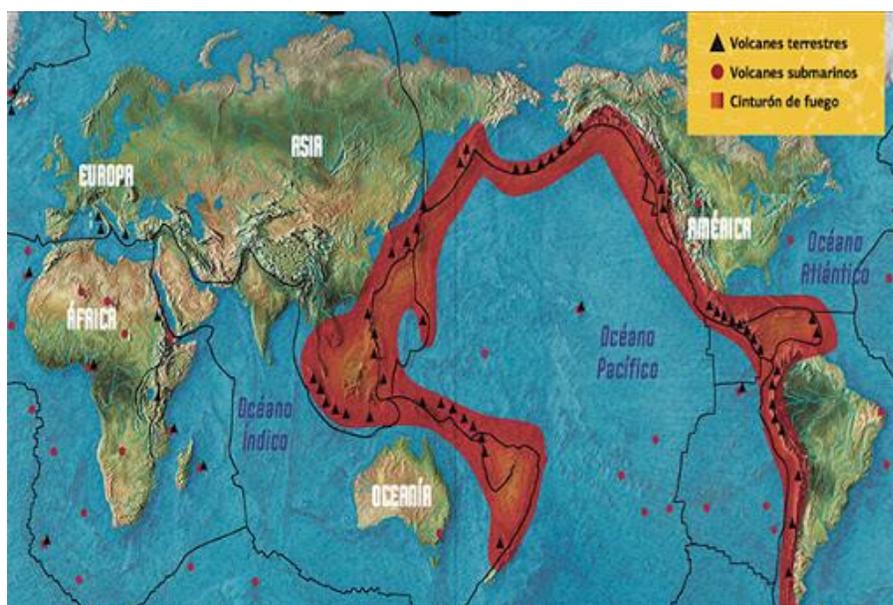
En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Figura se muestra la zonificación sísmica de la región de Valparaíso y la ubicación del área de estudio.



**Figura N°4-23 Zonificación Sísmica región de Valparaíso.**  
Fuente: CSN. 2016

#### 4.6. AMENAZA VOLCÁNICA

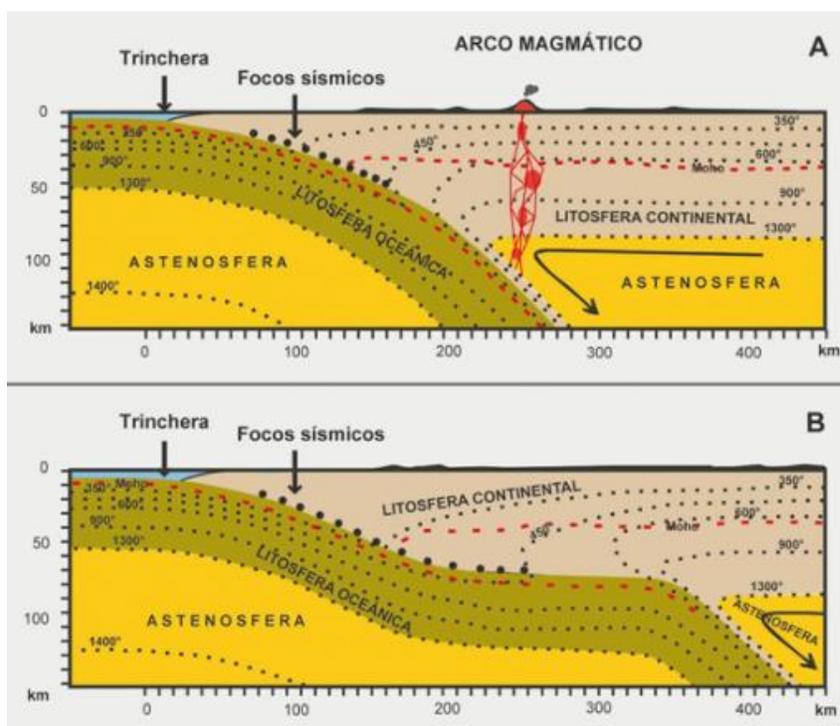
En el territorio nacional se localizan aproximadamente el 10% de los volcanes activos de todo el planeta y dos de los seis volcanes más activos de Sudamérica: Villarrica y Llaima, en la región de la Araucanía. La existencia de este tipo de estructuras geológicas en Chile obedece a la localización geográfica del país en una de las zonas tectónicas más activas de la tierra, conocida como el “Circulo de Fuego del Pacífico”.



**Figura N°4-24 Ubicación Cinturón de Fuego del Pacífico.**  
Fuente: CSN.

Chile posee la segunda cadena volcánica más grande y de mayor actividad en la Tierra. A lo largo del territorio chileno continental, existen por lo menos dos mil volcanes; de ellos, solo se consideran geológicamente activos 500, de los cuales 60 cuentan con un registro eruptivo histórico en los últimos 450 años, con un total de aproximadamente 300 erupciones en ese lapso. De los volcanes chilenos, 43 son monitoreados por la Red Nacional de Vigilancia Volcánica del Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (SERNAGEOMIN). Los volcanes activos de Chile continental se ubican en tres regiones volcánicas: la Zona Volcánica Central (ZVC), Zona Volcánica Sur (ZVS) y la Zona Volcánica Austral (ZVA), todas partes del cinturón volcánico de los Andes.

En el segmento entre los 27° y 33°S de la placa de Nazca, se distingue una zona con carencia de volcanismo Cuaternario y poseer un bajo ángulo de subducción por parte de placa de Nazca (Cahill y Isacks, 1992). En Chile este bajo ángulo se justifica por la subducción del Ridge de Juan Fernández (JFR) y engrosamiento de la corteza oceánica lo que impide que el ángulo de inclinación de la placa de Nazca aumente bajo la placa sudamericana en este sector; se asocia a la ausencia de actividad volcánica reciente, lo cual indica que la subducción del Ridge de Juan Fernández controla la morfología, magmatismo y la tectónica de esta zona (Charrier et. al, 2007). En la siguiente Figura se grafica la implicancia del ángulo de subducción y su efecto en la actividad volcánica, donde en el recuadro A muestra un ángulo de subducción normal, con arco magmático; y el recuadro B, corresponde a un ángulo de subducción bajo, de gran sismicidad y sin arco magmático.

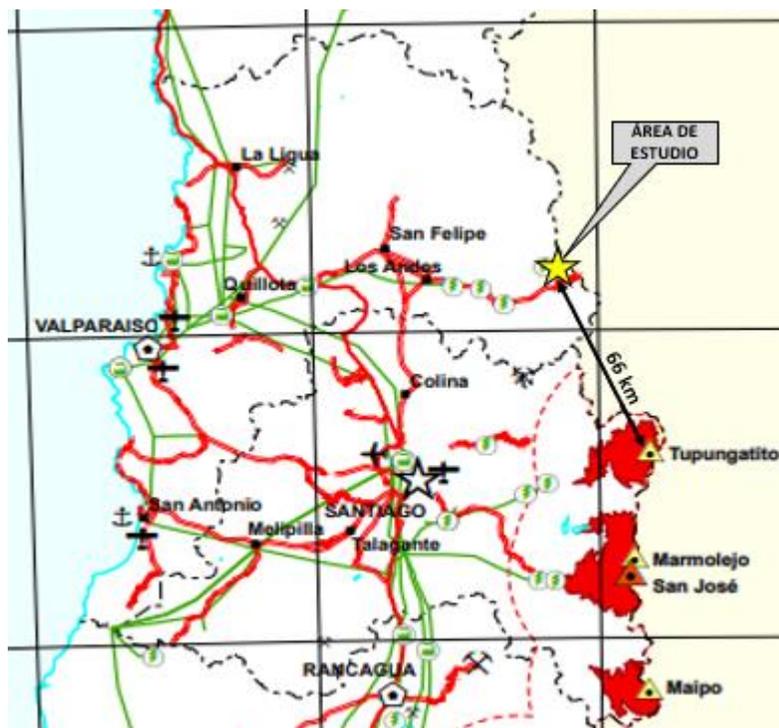


**Figura N°4-25 Perfiles de ángulos de subducción y su efecto**

Fuente: INSUGEO.

El área de estudio se localiza en esta zona de ausencia de actividad volcánica, por lo tanto, no corre el riesgo de amenaza volcánica. Además, al consultar el “Mapa Nacional

de Peligro Volcánico” del SERNAGEOMIN (2011), la región de Valparaíso y por lo tanto el área de estudio, no presentan volcanes en continente. El volcán más cercano al área de estudio está a 66 km de distancia, corresponde al volcán Tupungatito ubicado en la región Metropolitana.



**Figura N°4-26 Mapa de peligro volcánico de la región de Valparaíso**  
Fuente: SERNAGEOMIN (2011).

## 5. PROPUESTA DE ALTERNATIVAS

A continuación, sobre la base de los análisis realizados a los antecedentes existentes, los requisitos establecidos en los Términos de Referencia y, especialmente, a los resultados de los diferentes temas abordados en las secciones previas, es posible señalar que los requerimientos de conexión vial están estrechamente asociados a la condición de camino de alta montaña que tiene la Ruta 60 CH, desde el sector del Puente Vizcachas (cota 970 m) hasta la entrada del Túnel del Cristo Redentor (cota 3.205). En efecto, todo este tramo de una longitud de 55 km se desarrolla en un cajón por sobre la cota 1.000 m.s.n.m.m., lo que se traduce, en las épocas de invierno, en un camino altamente vulnerable frente a los siguientes fenómenos naturales:

- Remociones en masa acontecidas en las laderas aledañas al camino, provocadas por precipitaciones de alta intensidad,
- Desprendimientos de fragmentos rocosos que caen al camino producto de su inestabilidad en situación de laderas de pendientes fuertes,
- Nevazones con altos grados de depositación de nieve sobre la ruta, sobre 30 cm.
- Heladas con tan bajas temperaturas que generan el congelamiento o escarcha en los pavimentos de la ruta,
- Tormentas con lluvia en el sector más bajo y nevazón en los sectores más altos acompañadas con el denominado fenómeno de “viento blanco”, las que disminuyen la visibilidad de los conductores usuarios del camino,
- Avalanchas cuyas trayectorias intercepta el trazado de la ruta.

Es importante volver a recalcar que las alternativas propuestas son a nivel de perfil, una primera idea preliminar de si es factible o no trazar un par vial por los sectores propuestos. Un detalle exhaustivo del diseño geométrico, estudios y muestreo in situ corresponden a etapas posteriores de un proyecto de Ingeniería.

### 5.1. PROPOSICIÓN DE CORREDORES TRAMO JUNCAL – PORTILLO

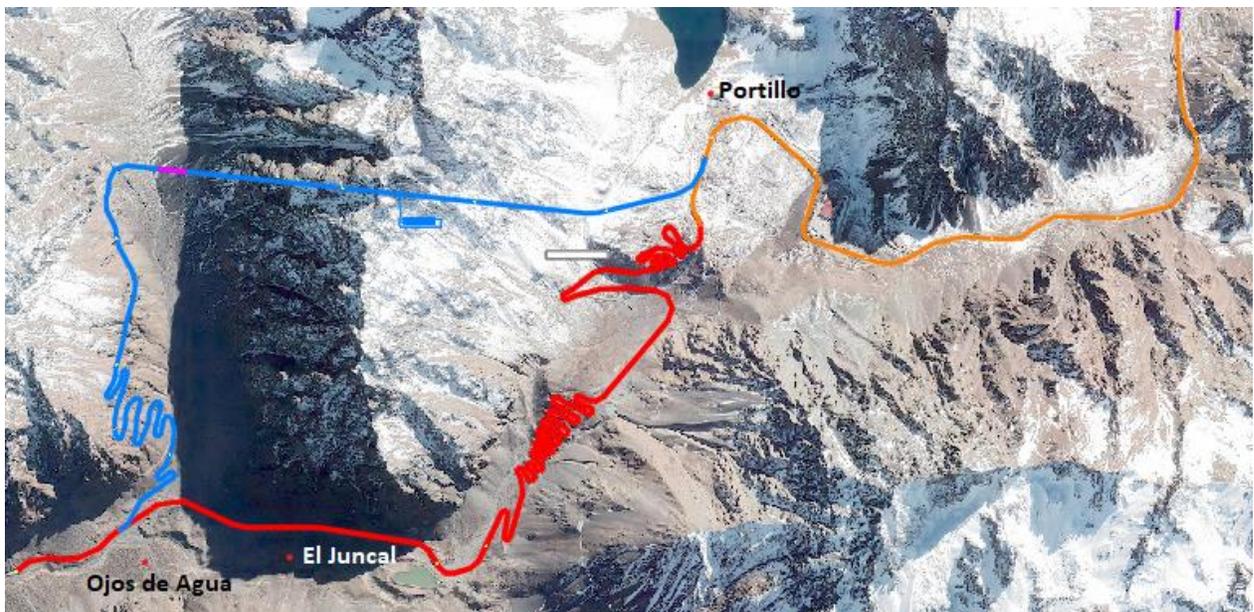
Para el tramo en estudio se han considerado dos grandes corredores, el primero de ellos corresponde al lugar físico utilizado por la quebrada del estero Ojos de Agua y el segundo para el lugar físico utilizado por el río Juncal, ambos en sentido “aguas” arriba desde su sector más aledaño con la actual Ruta 60 CH.

### 5.1.1. CORREDOR OJOS DE AGUA

Este sector se inicia en puente del mismo nombre y desde ahí se propone remontar la quebrada mediante una plataforma con dos pistas, bermas y sobre ancho de plataforma, cuyos anchos deberían generar una plataforma de 15 m aprox. La longitud total de esta plataforma rondaría los 6100 m.

Se remontaría la quebrada por su cara poniente, y al llegar a la cota adecuada, se realizará una conexión mediante un túnel, el cual a partir de ahora se denominará túnel A. Este túnel tendría una longitud de 3000 m aproximadamente y atravesaría hasta el sector del Llano de la Calavera para empalmar ahí con el trazado de la actual Ruta 60 Ch, todo en el sector emplazado entre la Curva 29 (cruce trazado vial y de la línea de FFCC) y la entrada al hotel Portillo.

#### Alternativa 1:



**Figura N°5-1 Esquema Alternativa Quebrada Ojos de Agua (Alternativa 1)**

La elección de hacer la plataforma por la ladera poniente de la quebrada y no por la ladera oriente se explica por la orientación de esta y su ventaja en cuanto a la cantidad de luz solar que recibe al día, siendo así una zona cálida, no así la ladera oriente que es una zona fría. Esto es muy importante a considerar, ya que las zonas frías presentan un congelamiento de la ruta más habitual, provocando el cierre de esta. Lo anterior se aprecia en la Figura N°5-1.

### 5.1.2. CORREDOR RÍO JUNCAL

Utilizando el trazado de la Ruta E-781, se remontaría por ésta, avanzando aguas arriba del río Juncal, luego al llegar al sector en el que la línea de ferrocarriles gira para enfilarse hacia la curva 29, se realizaría una curva de retorno de tal manera de:

- a) Seguir el trazado de la línea de ferrocarriles. (Alternativa 2)
- b) Iniciar un túnel hasta la curva 29, lugar en el que se empalmaría con el trazado actual de la Ruta 60-Ch. (Alternativa 3)
- c) Seguir hasta el sector denominado La Yesera, en dónde se generaría un túnel (Previo Estudio Geológico del Yacimiento de Yeso) que subiría directamente hasta el Complejo Fronterizo. (Alternativa 4)

#### Alternativa 2:



**Figura N°5-2 Alternativa Línea de Antiguo Ferrocarril El Andino (Alternativa 2)**

La ventaja de esta alternativa es que al utilizar el trazado de un ferrocarril, la pendiente media es bastante inferior al de la ruta actual. En el estudio de Mejoramiento de la Ruta 60CH elaborado por la consultora RyQ en el 2007 se realizó un catastró de todas las estructuras presentes el trazado del ferrocarril en el tramo Juncal – Portillo. El detalle de estas se presenta a continuación:

**Cuadro N°5-1 Detalle Estructuras Trazado Ferrocarril Trasandino.**

Fuente: Estudio RyQ (2007)

<b>Longitud Total Trazado (m)</b>	<b>13,600</b>	
<b>Túneles</b>	<b>Km.</b>	<b>L (m)</b>
Túnel 1	6.700	261
Túnel 2	7.960	124
Túnel 3	8.320	59
Túnel 4	8.820	192
Túnel 5	9.230	85
Túnel 6	10.100	430
Túnel 7	10.800	109
Túnel 8	11.240	68
Túnel 9	11.900	450
Túnel 10	12.700	498
<b>Cobertizos</b>	<b>Km.</b>	<b>L (m)</b>
Cobertizo 1	6.280	74
Cobertizo 2	8.040	57
Cobertizo 3	8.280	27
Cobertizo 4	8.400	121
Cobertizo 5	8.940	25
Cobertizo 6	9.140	40
Cobertizo 7	9.180	23
Cobertizo 8	9.500	424
Cobertizo 9	9.720	36
Cobertizo 10	9.810	136
Cobertizo 11	10.320	31
Cobertizo 12	10.340	30
Cobertizo 13	10.400	94
Cobertizo 14	10.460	30
Cobertizo 15	10.680	133
Cobertizo 16	10.860	25
Cobertizo 17	11.060	104
Cobertizo 18	11.300	53
Cobertizo 19	12.160	121
Cobertizo 20	12.240	40
Cobertizo 21	12.280	54
Cobertizo 22	13.040	160
<b>Puentes</b>	<b>Km.</b>	<b>Area Tablero (m2)</b>
Juncal 1	0.200	1,080
Puente 1	4.160	600
Puente 2	5.540	576
Puente 3	6.500	672
Puente 4	7.800	1,680
<b>Camino</b>	<b>Km.</b>	<b>L (m)</b>
Camino 2 pistas + Bermas + SAP	0,00-13,60	9,102
Pavimentos Cobertizos	0,00-13,60	1,838

**Alternativa 3:**



**Figura N°5-3 Esquema Alternativa Ruta E-781 – Curva 29 (Alternativa 3)**

Esta alternativa consiste en seguir por la ruta E-781 - ruta a la cual se le haría un mejoramiento para adecuarla a los estándares de carretera - una longitud aproximada de 4000 m, para luego empalmar con un túnel de 4700 m de longitud que llegará pasado la curva 29 de la cuesta caracoles.

#### **Alternativa 4:**



**Figura N°5-4 Esquema Alternativa Ruta E-781 – La Yesera – Complejo Fronterizo (Alternativa 4)**

Esta alternativa consiste en seguir por la ruta E-781 - ruta a la cual se le haría un mejoramiento para adecuarla a los estándares de carretera - una longitud aproximada de 8500 m, para luego empalmar con un túnel de 8500 m de longitud que llegará pasado la curva 29 de la cuesta caracoles.

La ventaja de esta alternativa es que presenta una mejor pendiente respecto a la anterior, pero a un presupuesto bastante mayor debido a longitudes mayores del trazado.

## 5.2. RESUMEN DE ALTERNATIVAS

En la siguiente Figura se muestra un resumen con todas las alternativas propuestas en el tramo Juncal - Portillo. En rojo se muestra la actual ruta 60 CH, en azul la alternativa 1, en verde la alternativa 2, en amarillo la alternativa 3 y en negro la alternativa 4.

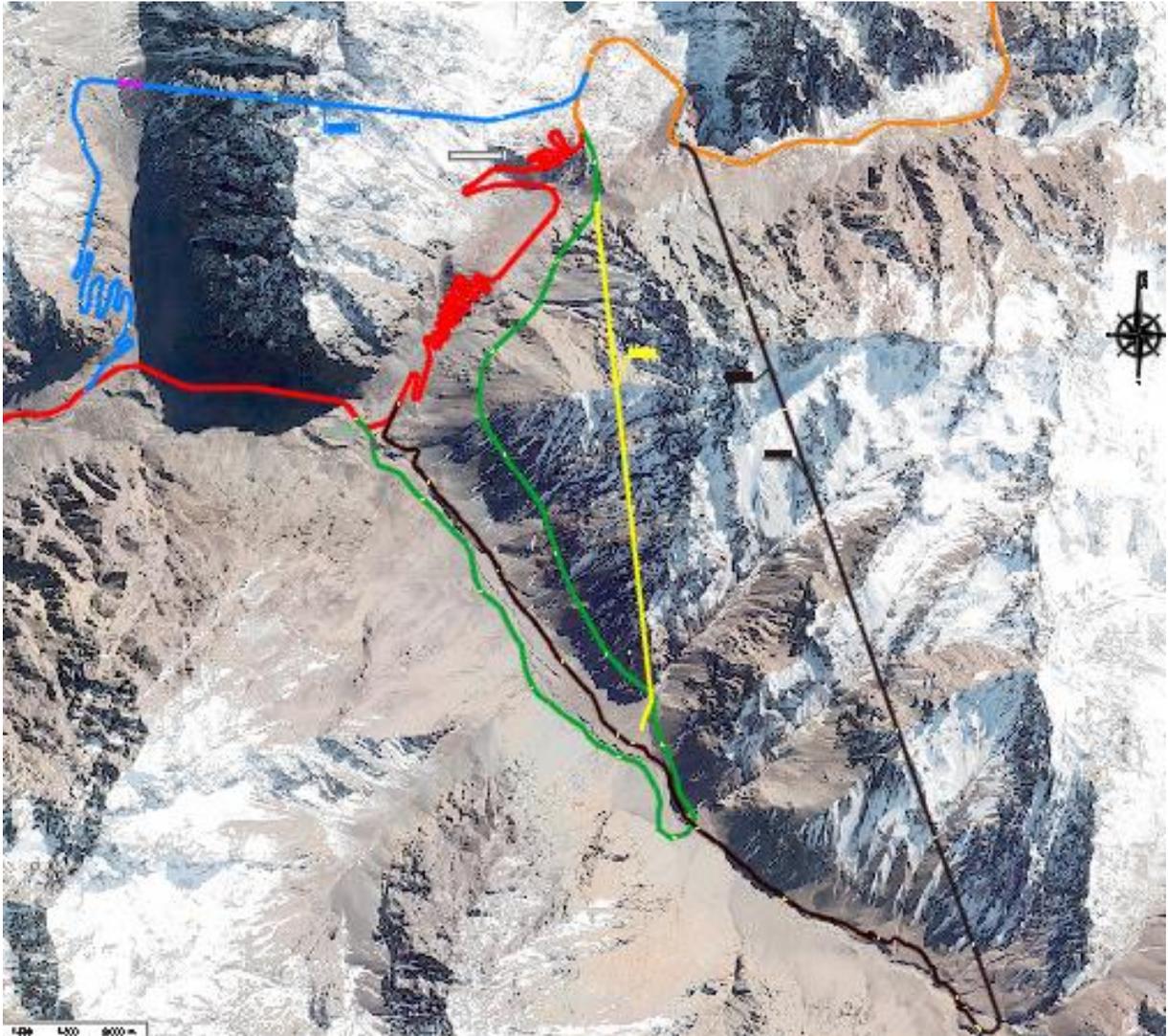


Figura N°5-5 Esquema Resumen de Alternativas

### 5.3. AMPLIACIÓN A DOBLE CALZADA TRAMO PORTILLO – TÚNEL CRISTO REDENTOR

Uno de los objetivos de la construcción de un nuevo par vial es poder tener una ruta internacional de doble calzada para cada sentido del tránsito, es así como el nuevo trazado mantendría un sentido de tránsito, mientras que la ruta actual se mantendría para el otro sentido. En vista a que el nuevo trazado solo abarca el tramo Juncal – Portillo, el proyecto también incluirá una ampliación a doble calzada de la Ruta 60CH en el tramo Portillo (sector curva 29 cuesta caracoles) – Túnel Cristo Redentor, de esta forma se mantendría una continuidad de doble calzada durante todo el trayecto. Este tramo presenta mejores condiciones geométricas y espaciales, que permiten una ampliación de la ruta en la misma ubicación de la actual.

La longitud total desde Portillo hasta la entrada del Túnel Cristo Redentor es de 6900 m aproximadamente. Además, el tramo cuenta con el Cobertizo N°6, el cual tiene una longitud de 1500 m, por lo que ampliar a doble calzada implicaría la construcción de un Cobertizo aledaño al actual. El estudio de sendas de avalanchas y según comentarios de los encargados de la mantención y operación de la ruta del MOP indican que el cobertizo requiere también una extensión en su longitud, además de cubrir otros tramos con cobertizos. Estos nuevos cobertizos alcanzarán un longitud de 2500 m aproximadamente.

En la Fotografía a continuación se muestra el actual cobertizo N°6, donde se aprecia el espacio lateral para la ampliación a una doble calzada.



**Figura N°5-6 Cobertizo N°6**  
Fuente: Propia, tomada en salida a terreno

## 6. PRESUPUESTOS PRELIMINARES

Se desarrollarán presupuestos preliminares para cada alternativa planteada. En el caso de las estructuras, y dado que corresponde a la primera etapa del proyecto, se plantearán costos por metro. Misma situación en los casos en que se proyecten túneles y cobertizos. Para la estimación de presupuestos de caminos, se utilizará un valor por kilómetro.

### 6.1. ESTIMACIÓN CONSTRUCCIÓN PROYECTOS DE CAMINO

En el presente informe de etapa, se ha considerado realizar una estimación de los costos de construcción de caminos para los siguientes tipos de proyectos:

- Proyecto de Nuevo Trazado
- Proyecto de Mejoramiento de Estándar
- Proyecto de Ampliación a Doble Calzada
- Construcción Cobertizos

Considerando que la Etapa 1 correspondería a la Etapa de Perfil del “Ciclo de Vida del Proyecto”, se han utilizado estimaciones de costos de construcción por kilómetro, esto a fin de tener una idea de la magnitud de las inversiones que se requerirían para materializar cada una de las 6 alternativas propuestas y analizadas.

#### 6.1.1. NUEVO TRAZADO

Para el caso de un proyecto de “Nuevo Trazado” se han considerados los tramos siguientes:

1. Tramo Variante Juncal
2. Tramo Ojos de Agua
3. Tramo La Yesera

El valor unitario adoptado para estos sectores es de \$ 2.500.000 por metro aprox., lo que considera la conformación de la plataforma, la pavimentación y un 30% de la longitud del tramo cubierto con cobertizos, considerando que todos los tramos pasan por zonas complejas de avalanchas y conos de deyección.

Este valor se obtiene de la consulta a la Consultora Ingeniería El Alba LTDA, la cual tiene más de 30 años de experiencia en proyectos viales, y es consistente con presupuestos preliminares de otros proyectos como serían el Paso Agua Negra en la región de Coquimbo y el del Paso Las Leñas en la Región de O'Higgins.

### **6.1.2. MEJORAMIENTO DE ESTÁNDAR**

Para el caso de un proyecto de “Mejoramiento de Estándar” se ha considerado sólo el tramo siguiente:

1. Tramo Ruta E-781

El valor unitario adoptado para este es de \$ 1.250.000 por metro aprox., lo que considera el mejoramiento de la plataforma y la pavimentación.

Este valor se obtiene de la consulta a la Consultora Ingeniería El Alba LTDA, la cual tiene más de 30 años de experiencia en proyectos viales.

### **6.1.3. AMPLIACIÓN A DOBLE CALZADA**

Para el caso de un proyecto de “Ampliación a Doble Calzada” se ha considerado sólo el tramo siguiente:

1. Ruta 60 Ch, desde sector de Curva 29 hasta ingreso al Túnel del Cristo Redentor.

El valor unitario adoptado para este sector dependerá de si la utilización de cada alternativa es de la totalidad de la longitud o de sólo una parte de su longitud, esto atendido a que existen alternativas que consideran túneles que llegan al inicio de este tramo o al sector del hotel Portillo o, también, al sector del Complejo Fronterizo. En ese sentido su valor unitario fluctúa entre \$5.900.000 a \$ 8.250.000 por metro aprox. El detalle de la cubicación para el caso de utilización de 100% del tramo se presenta en la siguiente tabla.

Para la determinación del Precio Unitario adoptado para este tramo se han considerado las siguientes obras:

- Construcción Segunda Calzada
- Construcción Cobertizo paralelo a Cobertizo N°6
- Construcción Tramo Nuevo Cobertizo en Doble Calzada

**Cuadro N°6-1 Cubicación Precio Ampliación Doble Calzada.**

<b>Ampliación Ruta 60-CH</b>	
<b>Sector Curva 29 - Túnel Del Cristo Redentor</b>	
<b>Alternativa 100%</b>	
Longitud (m)	6900
Longitud de Cobertizo Vecino a Cobertizo N°6 (m)	1500
Longitud Nuevo Cobertizo (m)	2500
Calzada de 2 pistas de 3,5m + Bermas de 2,5m + SAP 1,0 m = 14 m	\$ 1,250,000 /m
Cobertizo Tipo (CB) DDQ :	\$ 5,239,975 /m
Valor Segunda Calzada :	\$ 8,625,000,000
Valor Cobertizos paralelos a Cobertizo N°6 :	\$ 7,859,962,500
Valor Nuevo Cobetizo :	\$23,579,887,500
<b>TOTAL :</b>	<b>\$40,064,850,000</b>
<b>Precio Unitario :</b>	<b>\$ 5,806,500</b>

#### 6.1.4. COBERTIZOS

Para la determinación del costo unitario de construcción de nuevos cobertizos se utilizó la información de las cubicaciones por unidad de longitud presentadas en el Estudio de Ingeniería desarrollado por el Consorcio DDQ-Asistecsa (2000), denominados “Cobertizo Tipo (CB)”. Se adoptaron precios actuales de los materiales y se adapta el precio final por el factor 1.15 por factor de seguridad y las pérdidas de material en el proceso constructivo. El valor a precios actuales asciende a \$5.250.000 por metro aprox. La tabla con la cubicación del cobertizo y otras estructuras se presenta a continuación.

**Cuadro N°6-2 Cubicación Precio Estructuras a partir de Estudio DDQ-Asistecsa (1995).**

ESTRUCTURA	MATERIAL	UNID	P UNIT MAT	CANTID	P. UNIT ESTR	TOTAL	ADOPTADO
COBERTIZO TIPO (CB)	Hormigón G25	m3/m	\$ 200,000	12.5	\$ 2,500,000	\$ 4,556,500	\$ 5,239,975
	Acero A630-420H	kg/m	\$ 1,500	1371	\$ 2,056,500		
TRINCHERA CUBIERTA (TC)	Hormigón G25	m3/m	\$ 200,000	18	\$ 3,600,000	\$ 7,042,500	\$ 8,098,875
	Acero A630-420H	kg/m	\$ 1,500	2295	\$ 3,442,500		
TRINCHERA CUBIERTA CON SALIDA LATERAL(TC)	Hormigón G25	m3/m	\$ 200,000	24	\$ 4,800,000	\$ 9,393,000	\$ 10,801,950
	Acero A630-420H	kg/m	\$ 1,500	3062	\$ 4,593,000		
TUNEL FALSO e=40	Hormigón G25	m3/m	\$ 200,000	10.8	\$ 2,160,000	\$ 3,741,000	\$ 4,302,150
	Acero A630-420H	kg/m	\$ 1,500	1054	\$ 1,581,000		
TUNEL FALSO e=60	Hormigón G25	m3/m	\$ 200,000	17.5	\$ 3,500,000	\$ 5,477,000	\$ 6,298,550
	Acero A630-420H	kg/m	\$ 1,500	1318	\$ 1,977,000		
TUNEL FALSO e=80	Hormigón G25	m3/m	\$ 200,000	23	\$ 4,600,000	\$ 7,049,500	\$ 8,106,925
	Acero A630-420H	kg/m	\$ 1,500	1633	\$ 2,449,500		

## 6.2. ESTIMACIÓN COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES

Para poder obtener una primera aproximación del costo de construcción de un túnel para el tramo Juncal – Portillo, se ha considerado prudente considerar 5 clases de sostenimiento basadas en la definición de la sección geométrica del estudio presentado por CCP Ingeniería (1995), entre los kilómetros 107.284 (Complejo Los Libertadores) y el 111.795 (Portal Poniente del Túnel Cristo Redentor, particularmente en el documento Volumen II – Túnel, Informe Proyecto Túnel.

Estas 5 clases de sostenimiento serán evaluadas para tres potenciales escenarios que corresponden a:

1. Escenario con túnel inmerso completamente en macizo rocoso
2. Escenario con túnel superficial, cercano a ladera del macizo
3. Ampliación de túnel actual

El costo resultante del análisis variará de acuerdo con la distribución de clases de roca, la cual se ha considerado la mostrada en el cuadro siguiente.

**Cuadro N°6-3 Distribución porcentual preliminar de clases de soporte para evaluación económica del túnel**

<b>Tipo de Soporte</b>	<b>Porcentaje Roca Superficial</b>	<b>Porcentaje Roca Competente</b>
	<b>%</b>	<b>%</b>
Tipo I	10	25
Tipo II	25	35
Tipo III	30	20
Tipo IV	25	15
Tipo V	10	5
	100 %	100 %

De acuerdo con lo anterior, fueron definidos cinco (5) clases de sostenimiento de roca para 5 clases de roca, en las cuales la primera de ellas corresponderá a la de mejor calidad geotécnica, y, por consiguiente, la que presenta menor sostenimiento, y la última, que presenta la peor calidad geotécnica de la roca, que, por consiguiente, presenta un sostenimiento más robusto.

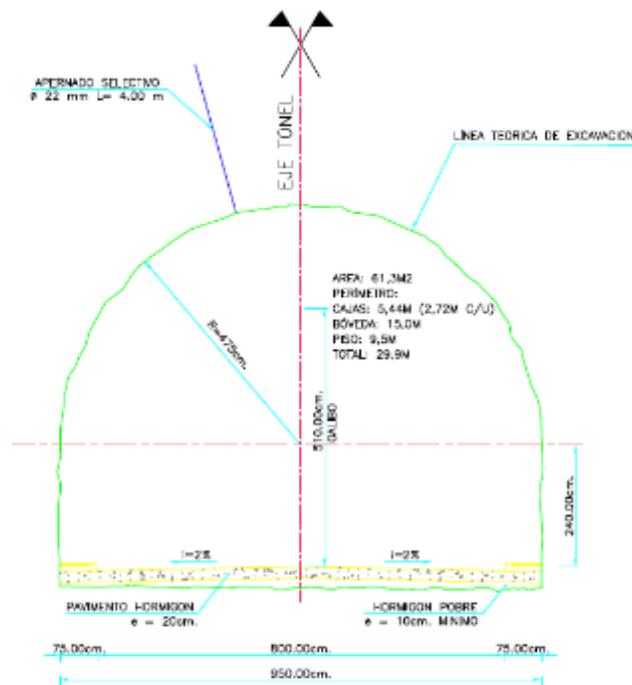
En función de lo anterior, se describe a continuación la configuración y aplicabilidad de las clases de soporte consideradas para la excavación de túneles para el sector Juncal – Portillo.

## Clases de Sostenimiento

### a) Clase de Excavación y Soporte 1

La clase CS1 es aplicable en macizos rocosos de buena calidad geotécnica, en donde el comportamiento se considera elástico y con deformaciones prácticamente despreciables. Los principales mecanismos de inestabilidad están asociados a la caída eventual de bloques y cuñas de roca, los que se esperan principalmente en macizos rocosos con presencia de algunas diaclasas y con bajo a intermedios niveles de esfuerzos.

El análisis de estabilidad y requerimientos de soporte queda definido mayormente a través del análisis de la cinemática de cuñas. Dada la calidad geotécnica a la cual aplica esta Clase de Soporte se puede adoptar por una longitud de avance no mayor a 5,0 m, el cual podrá ser ejecutado a sección completa.



#### ELEMENTOS DE SOPORTE

PERNOS	PUNTUAL
HORMIGÓN PROYECTADO	N/A
MALLA	N/A
MARCHIAVANTI/PARAGUAS	N/A
MARCOS	N/A
LONGITUD DE AVANCE	A ≤ 5,0 m

### CLASE DE SOPORTE CS1

ESCALA 1:100

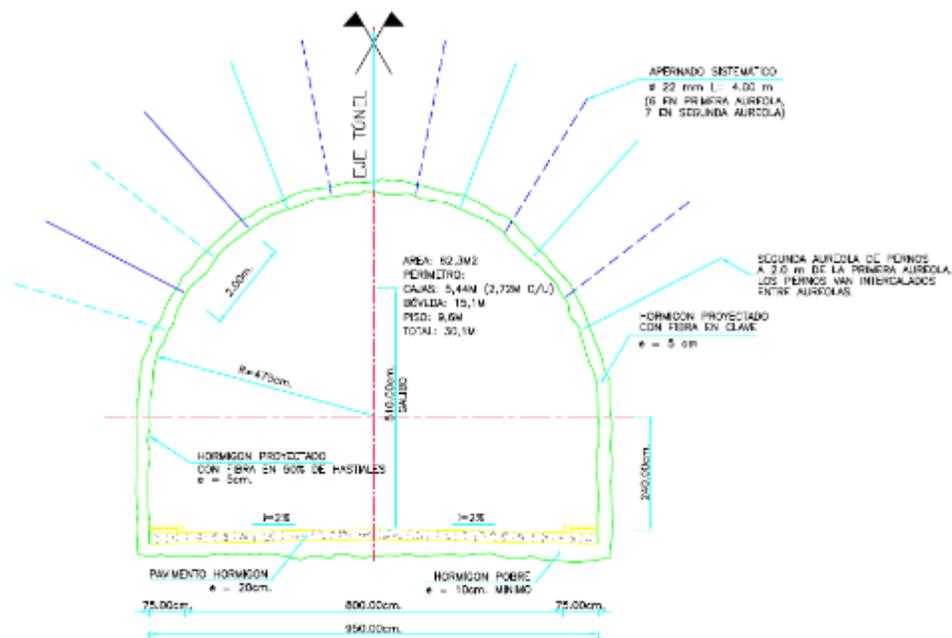
Figura N°6-1 Clase de Soporte CS1

## b) Clase de Excavación y Soporte 2

La clase CS2 es aplicable en macizos rocosos estables, de buena a regular calidad geotécnica, así como también en material con bajo entrelazamiento y bajas presiones de confinamiento, asociadas a niveles de esfuerzo intermedios.

Los principales mecanismos de inestabilidad corresponden a desprendimientos poco profundos que luego se estabilizan rápidamente.

Dada la calidad geotécnica a la cual aplica esta Clase de Soporte se puede adoptar, se considera una longitud de avance no mayor a 4,0 m, el que puede ser ejecutado a sección completa, lo que resulte más adecuado para el desarrollo de la estrategia de construcción que adopte el contratista.



### ELEMENTOS DE SOPORTE

PERNOS	B A 9 ALTERNADOS 2,0x2,0m. (RxL), L= 4m
HORMIGÓN PROYECTADO	CON FIBRAS, 50mm EN BÓVEDA
MAJLA	N/A
MARCHIANTI/PARAGUAS	N/A
MARCOS	N/A
LONGTUD DE AVANCE	$A \leq 4,0$ m

### CLASE DE SOPORTE CS2

ESCALA 1:100

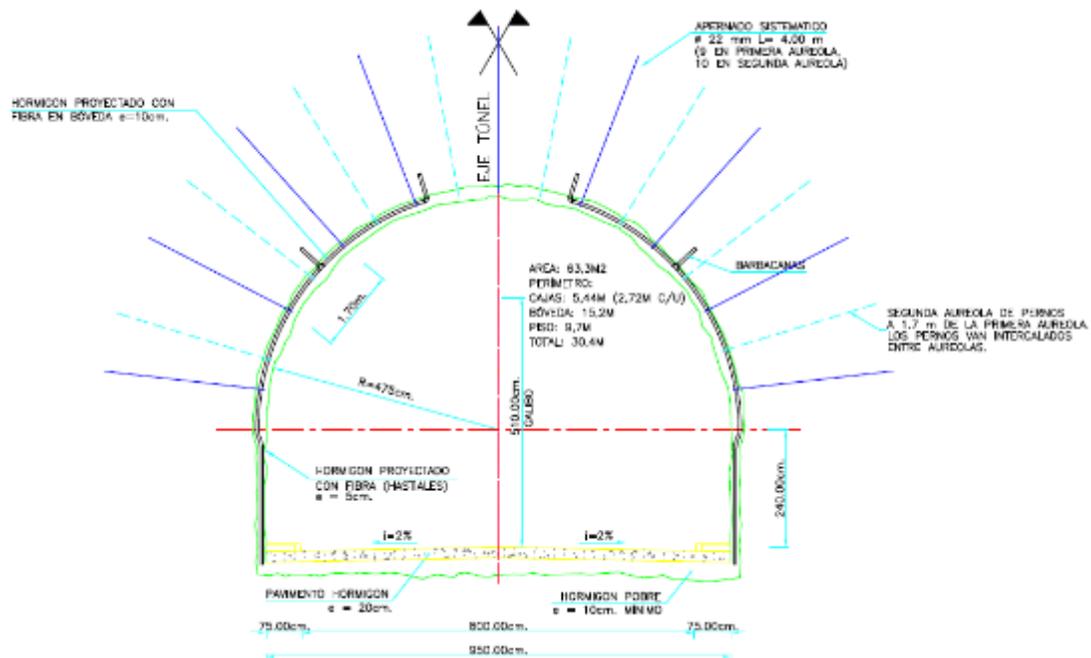
Figura N°6-2 Clase de Soporte CS2

### c) Clase de Excavación y Soporte 3

La clase CS3 es aplicable en macizos rocosos de regular a mala calidad geotécnica sometidos a niveles bajos a intermedios de esfuerzos o en zonas fracturadas, donde la extensión de la zona plástica es reducida y las deformaciones radiales en general son inferiores al 1%.

También es aplicable en macizos rocosos que exhiben fallas del tipo frágil, así como son lajeos y popping menores, sin embargo, se considera que este tipo de comportamientos tienen una baja probabilidad de ocurrencia a lo largo del trazado del túnel.

Dada la calidad geotécnica a la cual aplica esta Clase de Soporte se puede adoptar por una longitud de avance no mayor a 3,0m., el que puede ser ejecutado a sección completa o por banqueo, lo que resulte más adecuado para el desarrollo de la estrategia de construcción que adopte el contratista.



#### ELEMENTOS DE SOPORTE

PERNOS	9 A 10 ALTERNADOS 1,7x1,7m. (R=L), L= 4m
HORMIGÓN PROYECTADO	CON FIBRAS, 100mm EN BÓVEDA CON FIBRAS, 50mm EN CAJAS
MALLA	N/A
MARCHIAWANTI/PARAGUAS	N/A
MARCOS	N/A
LONGITUD DE AVANCE	$A \leq 3,0 \text{ m}$

#### CLASE DE SOPORTE CS3

ESCALA 1:100

Figura N°6-3 Clase de Soporte CS3

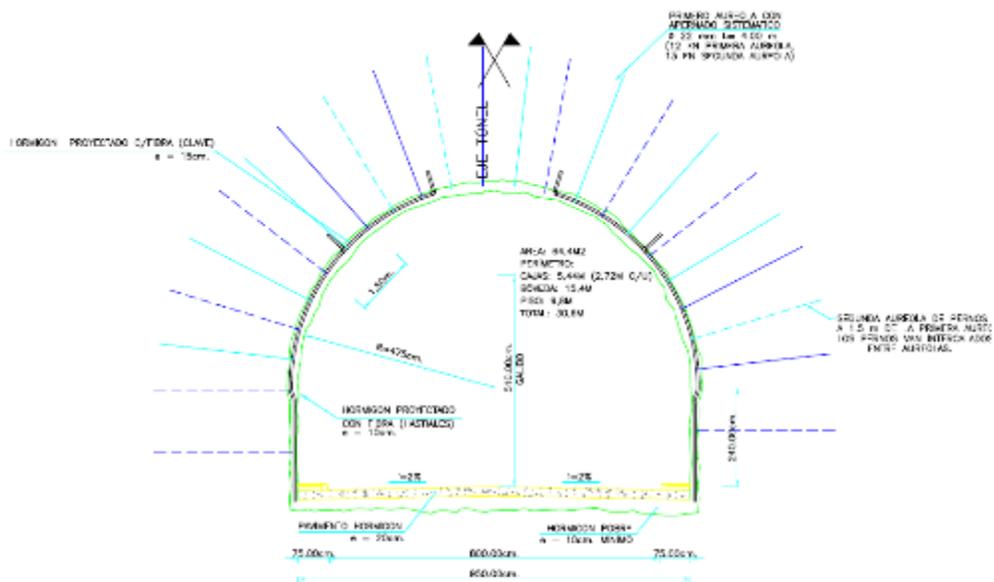
#### d) Clase de Excavación y Soporte 4

La clase CS4 es aplicable en macizos rocosos de mala a muy mala calidad geotécnica, en condiciones similares al caso de la CS3 anterior, pero en ambientes con mayor anisotropía del campo de esfuerzos (baja presión de confinamiento), que originan zonas de plastificación y deformaciones de mayor magnitud (mayores deformaciones radiales pero inferiores al 1%).

Puede también estar asociada a condiciones de mayor grado de fracturación de la roca, por lo que podrá requerir de soporte de avance en el frente, materializado a través de pernos "marchiavanti".

También puede ser utilizada en sectores donde las características del macizo rocoso corresponden a frentes mixtos, caracterizados por diferentes niveles de fracturamiento y alteración.

Dada la calidad geotécnica a la cual aplica esta Clase de Soporte, se puede adoptar una longitud de avance no mayor a 2,0 m, el que puede ser ejecutado a sección completa o por banqueo, lo que resulte más adecuado para el desarrollo de la estrategia de construcción que adopte el contratista.



#### ELEMENTOS DE SOPORTE

PERNOS	12 A 13 AN-RODOS 1,5x1,5m. (Rx), l= 4m
HORMIGÓN PROY-CTADO	CON FIBRAS, 150mm EN BÓVEDA CON FIBRAS, 150mm EN CAJAS
MALLA	N/A
MARCHIAVANTI/PARAGUAS	N/A
MARCOS	N/A
LONGITUD DE AVANCE	A ≤ 2,0 m

#### CLASE DE SOPORTE CS4

ESCALA 1:100

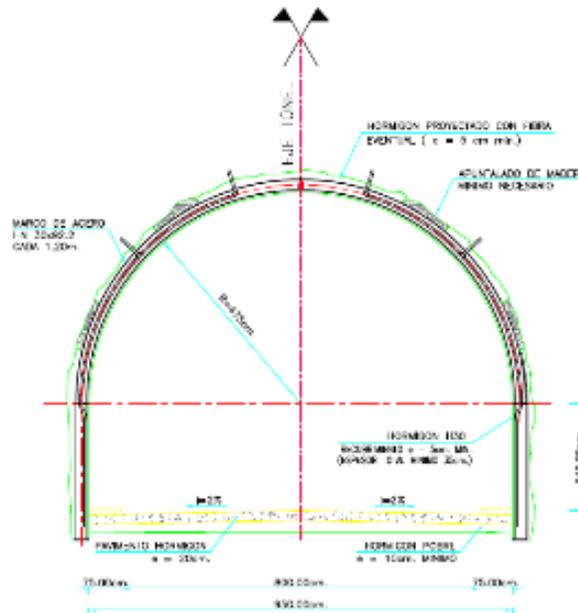
Figura N°6-4 Clase de Soporte CS4

### e) Clase de Excavación y Soporte 5

La clase CS5 es aplicable en macizos rocosos poco resistentes y deformables, comúnmente asociadas a elevados niveles de esfuerzo, en comparación con su resistencia axial, que inducen a que el material se aproxime al límite de falla, a partir de lo cual se inicia un proceso de deformación importante. Asimismo, puede ser aplicable en sectores con presencia de materiales inestables y con insuficiente capacidad auto-soportante, lo cual puede estar asociado a zonas de falla o en sectores con alto grado de fracturación, presencia importante de agua, o con combinación desfavorable de resistencia y presiones actuantes que generan zonas de plastificación (>2,5 m) y deformaciones, las que, en algunos casos, pueden superar al 1%.

Esta clase puede requerir de soporte avanzado en el frente, ya sea a través de pernos marchiavanti, lo que incluso requerirá de una subdivisión del frente a través de uso de banqueo. Eventualmente, en los sectores donde se instalará esta clase, podrán requerir de medidas auxiliares adicionales de soporte y mejoramiento del macizo, tales como inyecciones y pernos complementarios de estabilización del frente de excavación.

Dada la calidad geotécnica a la cual aplica esta Clase de Soporte se puede adoptar una longitud de avance no mayor a 1,4 m.



#### ELEMENTOS DE SOPORTE

PERNOS	N/A
HORMIGÓN PROYECTADO	CON FIBRAS, 50mm. EN BÓVEDA Y CAJAS CON FIBRAS, 350mm. +N BÓVEDA Y CAJAS 50 Y 350mm. 1" y 2" cada respectivamente
MALLA	N/A
MARCHAVANTI/PARAGUAS	N/A
MARCOS	RETIJADOS ESPACIADOS A 1,20m.
LONGITUD DE AVANCE	A ≤ 1,4 m

#### CLASE DE SOPORTE CS5

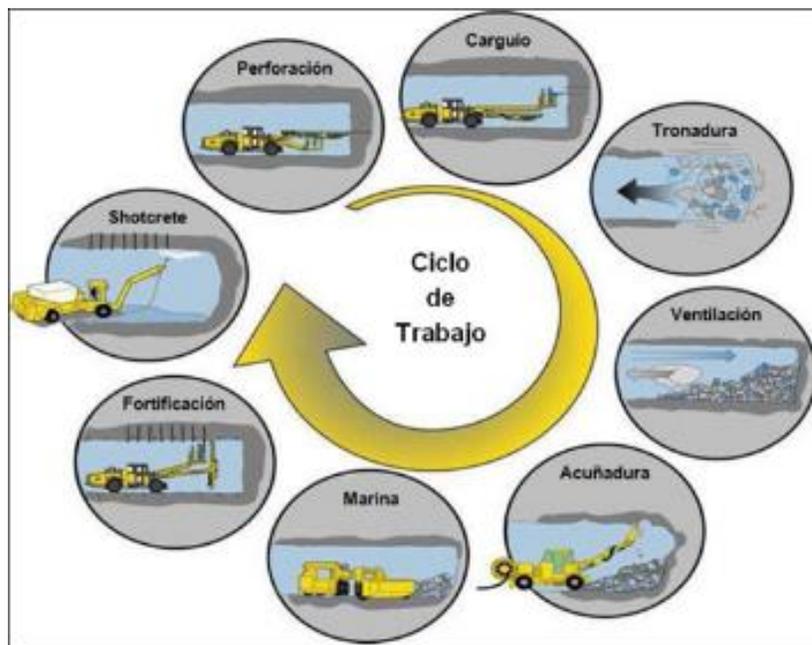
ESCALA 1:100

Figura N°6-5 Clase de Soporte CS5

## 6.2.2. CONSTRUCTIBILIDAD – MÉTODO DE EXCAVACIÓN

Para la construcción de las obras consideradas en el alcance del presente informe, se ha definido el uso del método de perforación y tronadura (“Drill & Blast”), el que es apto para las condiciones del presente proyecto, destacándose su gran flexibilidad de ajuste a cambios litológicos o geotécnicos, secciones de las obras y movilidad de los equipos, entre otros. Igualmente, en sectores con condiciones geotécnicas desfavorables, no se descarta la posible ejecución de excavación con el uso de equipos mecánicos.

En términos generales, el ciclo de trabajo asociado a esta metodología de excavación se describe brevemente en la figura siguiente.



**Figura N°6-6 Etapas Típicas del Ciclo de Trabajo**

Como complemento a lo descrito en la imagen anterior, a continuación, se detallan brevemente las actividades de mayor relevancia dentro del ciclo de excavación e instalación del soporte considerados en la evaluación económica inicial:

- **Perforación del Diagrama de Disparo:** La perforación del frente de avance, tiene por finalidad generar los espacios para alojar los explosivos, siguiendo una distribución y geometría preestablecida. La perforación será mecanizada y se realizará con jumbos de perforación automáticos.
- **Tronadura del Frente y Ventilación:** La tronadura es la fragmentación instantánea que se produce en la roca por efecto de la detonación de los explosivos depositados en su interior. Posteriormente, se procede a realizar la ventilación de humos y gases, para lo cual se hace circular el aire necesario para desplazar y evacuar el

aire contaminado a consecuencia de la tronadura. De esta forma se garantiza un contenido mínimo de oxígeno en la atmósfera del frente de avance de acuerdo a los límites legales permisibles establecidos.

- Carguío y Transporte de la Marina del Disparo: Con el método clásico de excavación con explosivos, la actividad de carguío y transporte de la marina comienza después de la tronadura del frente de trabajo, tan pronto como se restablezcan las condiciones de trabajo con la ventilación y la acuñadura de las cajas y techos. En relación con el proceso de acuñadura, esta operación puede ejecutarse con equipos especiales, consistentes en jaulas sobre quipos de levante, las que permiten al trabajador un acuñamiento seguro. También puede ejecutarse con equipos diseñados para estos fines como lo son los acuñadores mecánicos.
- Colocación del Soporte: Durante esta actividad, se realiza la colocación de los elementos de soporte considerados para el avance, en este sentido, será de gran importancia, el análisis de las condiciones geotécnicas y de esfuerzos del sector, lo que permitirá definir la necesidad de incorporar medidas de soporte auxiliares, o verificar la viabilidad de la instalación desfasada de algunos de los elementos que conforman el soporte del sector.

En general, se propone la excavación con método de perforación y tronadura, excavando a frente completo, para los sectores en donde la calidad geotécnica de la roca lo permita.

Para los casos en los que la calidad geotécnica de la roca y el comportamiento esperado de la excavación sea más desfavorable, se requerirá de una subdivisión del frente (bóveda / Banco), pudiendo además requerir el uso de medios mecánicos para su excavación. Para este último caso.

Complementado lo anterior, las longitudes efectivas de avance establecidas varían entre 5,0 m y 1,4 m, asociadas principalmente a las condiciones geotécnicas esperadas.

Igualmente, el sistema de soporte, que se instala luego de cada avance, consistirá en hormigón proyectado con diferentes espesores que, de acuerdo con el levantamiento geológico inicial, varían entre 50 mm a 100 mm, reforzado con fibras sintéticas, pernos helicoidales  $d=22\text{mm}$  de 4,0 metros de largo en “pattern” entre 2,0 x 2,0 m y 1,5 x 1,5 m., y eventualmente, si las condiciones en terreno así lo requieren, marcos reticulados (asociados a las peores condiciones geotécnicas o clase CS5).

### **6.2.3. ESTIMACIÓN DE COSTOS**

Las descripciones que se entregan para las siguientes partidas junto con su composición de precio unitarios, corresponden a una breve explicación, lo más fiel posible, de los trabajos y actividades involucradas en cada ítem que compone el desarrollo de un túnel para el tramo Juncal – Portillo.

El precio o costo de cada ítem considera la partida totalmente terminada y operativa según aplique, incluyendo materiales, mano de obra, herramientas, equipos y maquinarias, leyes sociales, gastos generales, utilidades, imprevistos, entre otros.

Las definiciones de las partidas en ningún caso deben ser interpretadas como exhaustivas o restrictivas. En consecuencia, cabe reiterar que las descripciones de las partidas y del listado de partidas de obra, no definen por sí solos el alcance completo del trabajo, ya que éste está determinado por el total de los antecedentes contenidos planos, especificaciones, informes, entre otros.

A continuación se describirá brevemente las consideraciones y partidas involucradas.

### **6.2.3.1 Excavación de Túnel**

Corresponde a la excavación realizada con medios tradicionales de perforación y tronadura para las secciones representadas en el proyecto tanto de un nuevo túnel proyectado como de una ampliación de gálibo de túnel existente, con eje subhorizontal.

La actividad de excavación involucra la perforación, tronadura, acuñadura, acordonamientos y movimientos de material en el mismo frente de trabajo y su carguío y transporte temporal.

El precio unitario de cada partida de excavación incluye todas las prestaciones necesarias para terminar el trabajo en condiciones adecuadas y está definido en función de la clase de roca en la que se excave, previamente identificada por el departamento de geología. Este precio fue construido a partir de 4 ítems, las cuales son e incluyen:

- **Materiales e insumos:** Considera el suministro y puesta en obra de todos los materiales e insumos necesarios para desarrollar el túnel, entre los que se pueden mencionar: explosivo, manga de ventilación, lubricantes, combustible, consumo de energía eléctrica, acero de desarrollo, entre otros.
- **Maquinaria y Equipos:** Considera el suministro y puesta en obra de todos los equipos y maquinarias necesarias para el desarrollo del túnel, entre los que se pueden mencionar manipulador telescópico, compresor eléctrico, bomba de drenaje, jumbo de tres brazos, cargador frontal, camión tolva de 20m<sup>3</sup>, sistema de ventilación, entre otros
- **Mano de Obra:** Considera el suministro de toda la mano de obra necesaria para el desarrollo del túnel, entre lo que se puede mencionar operadores de los equipos, supervisión, pañolero, eléctrico, minero de primera, entre otros.
- **Otros:** Considera otros costos asociados al desarrollo del túnel como, por ejemplo, el costo empresa.

### 6.2.3.2 Fortificación de Túnel

Corresponde al suministro, instalación y en general, a todas las actividades de la fortificación para la sección representada en el proyecto propuesto para las diferentes clases de sostenimiento que en él se detallan.

El precio incluye todas las prestaciones de mano de obra, los alquileres, los suministros y cualquier otro cargo necesario para terminar el trabajo en condiciones adecuadas.

Para cada elemento de fortificación que componen las diferentes secciones de excavación, los precios unitarios se definieron de la siguiente manera:

- Pernos Helicoidales: Suministro, puesta en obra y en general, todas las actividades relacionadas con la fortificación mediante pernos, formados por barras de acero de diámetro 22 mm y de longitud 4m., con planchuela y tuerca, lechados. El precio considera incluida la perforación subhorizontal o inclinada, en terrenos de acuerdo con la clase de roca definida. Las perforaciones se realizarán radialmente a la excavación con maquinaria y sistemas idóneos.

El precio incluye también el hormigonado a baja presión de la lechada formada por cemento, agua y posibles aditivos para el agarre de las barras, toda la mano de obra necesario para la colocación de estos, equipos e insumos y todo el equipamiento y maquinaria. En la lechada no debe adicionarse arena.

- Hormigón Proyectado con Fibras (Shotcrete): Suministro, puesta en obra y en general, todas las actividades relacionadas con la fortificación mediante hormigón lanzado o proyectado, elaborado con una mezcla de inertes de adecuada granulometría, con aditivos y acelerante del fraguado. Se considera hormigón proyectado por vía húmeda, es decir, los ingredientes se transportan en un estado húmedo por la línea de hormigón hasta la boquilla, en la cual se introduce aire comprimido junto al aditivo, y se mezcla todo al interior de esta y durante su proyección al sustrato a través de aire comprimido. Se incluye además el suministro, puesta en obra y en general, todas las actividades relacionadas con las fibras de acero de cualquier forma y dimensión del hormigón proyectado del revestimiento, incluido los cargos por la mezcla de las fibras en el hormigonado y los mayores gastos de hormigonado o de proyección de hormigón dados por rebote, tapado de sobreexcavaciones, o pérdidas de otra índole de este.

El precio incluye los cargos necesarios para terminar el trabajo adecuadamente, considerando en estos cargos todos los insumos y materiales (combustible, lubricantes, shotcrete, aditivos, fibras, insumos, consumo de energía eléctrica, entre otros), equipos y maquinaria (robot shotcrete, camión mixer, manipulador telescópico, ventilación, compresor eléctrico, entre otros) y mano de obra (operadores de maquinaria, supervisión, minero de primera, ayudantes, eléctrico, entre otros).

### **6.2.3.3 Marinas de Excavación**

Corresponde a todo el material excedente de la excavación realizada hasta las líneas indicadas en los planos como excavación teórica y que deberá ser retirado a botaderos autorizados por la autoridad respectiva.

Este precio unitario contempla el carguío de la marina desde un acopio transitorio ubicado en un punto inmediatamente a la salida del túnel, o directamente desde el frente de avance, desde este punto hasta el botadero definitivo, y la descarga y disposición de las marinas al interior del botadero definitivo.

Se consideran además en este precio, materiales e insumos (petróleo, materiales de trabajo menores, entre otros), maquinaria y equipos (Excavadora, camión tolva de 20m<sup>3</sup>, herramientas de trabajo, entre otros) y mano de obra (operadores de equipos, alojamientos, almuerzos, pasajes a obra, exámenes, entre otros).

Para esta primera etapa se ha estimado que el precio por Carguío y Transporte de Marinas en botadero definitivo corresponde a un costo de \$18.122 por metro cúbico.

### **6.2.3.4 Otros**

Dentro de esta partida, se han considerado aquellos ítems que deberán ser implementados durante la construcción del túnel, algunos de los cuales deberán estar operativos una vez el túnel entre en operación, como son:

- Ventilación del Túnel
- Monitoreo Geotécnico de deformaciones
- Iluminación del Túnel
- Sistemas eléctricos en Túnel
- Sistemas de detección y extinción de incendios
- Software, Monitoreo y Emergencia

### **6.2.3.5 Imprevistos**

Corresponde a un monto que se considera por posibles imprevistos o partidas no consideradas u obviadas dentro del análisis de precios, como por ejemplo, las cubicaciones entregadas son estimaciones en base a las geometrías que el proyecto involucra, es decir, no consideran sobreexcavaciones, perdidas, recortes, esponjamientos, despuntes, reservas o cualquier otro necesario por el contratista para obtener las exigencias mostradas en los planos y especificaciones, por lo que se considera incluido en este ítem que corresponde al 20% del monto total de construcción del túnel. Para el caso del desquince, dado que la geología reduce los riesgos ya que

se conoce la situación actual de los túneles, este porcentaje se reduce al 10% del monto total de construcción del proyecto de ampliación.

#### 6.2.4. COSTOS DE DESARROLLO DE TÚNEL

De acuerdo con lo anteriormente descrito, se tendrán los siguientes valores preliminares para el desarrollo de túnel.

Para un túnel nuevo, con desarrollo integro dentro del macizo, a unos 20 a 30 m en profundidad desde la ladera de este, el costo estimado por metro es de 22.541 USD/m. Para los diferentes ítems evaluados, se tiene el siguiente desglose de costos.

**Cuadro N°6-4 Costos Construcción Nuevo Túnel Inmerso Completamente en el Macizo**

<b>Costo total de Construcción de túnel sector Juncal - Portillo</b>				
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>P. Unitario</b>	<b>Total (CLP)</b>	<b>USD (750 CLP/USD)</b>
A	Excavación de Túnel	5.390.161	5.390.161	7.284
B	Fortificación de Túnel	2.947.028	2.947.028	3.982
C	Marinas de excavación de túnel	1.140.509	1.140.509	1.541
O	Otros	4.533.665	4.533.665	6.127
P	Imprevistos	2.668.831	2.668.831	3.607
<b>Costo medio por metro (USD/m)</b>				<b>22.541</b>

Para el caso de un túnel nuevo desarrollado superficialmente, es decir, lo más cercano posible a la ladera del macizo, el costo estimado por metro es de 25.907 USD/m. Para los diferentes ítems evaluados, se tiene el siguiente desglose de costos.

**Cuadro N°6-5 Costos construcción Nuevo Túnel Superficial, cercano a ladera del macizo**

<b>Costo total de Construcción de túnel sector Juncal - Portillo</b>				
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>P. Unitario</b>	<b>Total (CLP)</b>	<b>USD (750 CLP/USD)</b>
A	Excavación de Túnel	6.114.472	6.114.472	8.263
B	Fortificación de Túnel	4.395.480	4.395.480	5.940
C	Marinas de excavación de túnel	1.155.551	1.155.551	1.562
O	Otros	4.417.754	4.417.754	5.970
P	Imprevistos	3.087.790	3.087.790	4.173
<b>Costo medio por metro (USD/m)</b>				<b>25.907</b>

Finalmente, para el desarrollo de una ampliación del túnel existente, el costo estimado por metro es de 17.102 USD/m.

Para los diferentes ítems evaluados, se tiene el siguiente desglose de costos.

**Cuadro N°6-6 Costos de construcción de ampliación de túnel existente**

<b>Costo total de Construcción de túnel sector Juncal - Portillo</b>				
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>P. Unitario</b>	<b>Total (CLP)</b>	<b>USD (740 CLP/USD)</b>
A	Excavación de Túnel	4.168.529	4.168.529	5.633
B	Fortificación de Túnel	3.348.937	3.348.937	4.526
C	Marinas de excavación de túnel	535.238	535.238	723
O	Otros	3.452.243	3.452.243	4.665
P	Imprevistos	1.150.495	1.150.495	1.555
<b>Costo medio por metro (USD/m)</b>				<b>17.102</b>

## 6.3. ESTIMACIÓN PRELIMINAR DE COSTOS POR ALTERNATIVAS

### 6.3.1. CUBICACIONES

Las cubicaciones se realizaron en función de la definición de longitudes de cada tramo y de cada alternativa, teniendo en consideración el nivel de “Perfil” del Ciclo de Vida del Proyecto Vial en el que encuentra la presente Etapa 1 de la consultoría.

Para las cubicaciones de la Alternativa del Trazado por la Línea Férrea se utilizó el catastro de estructuras presentado en las Ingenierías Básicas para Anteproyecto del Estudio de Ingeniería de la empresa R&Q Ingeniería. En la que se señala, entre otros, las siguientes cantidades:

- Longitud del Tramo: 13.600 m
- Longitud de Túneles: 2.276 m
- Longitud de Cobertizos: 1.838 m
- Longitud de Puentes: 384 m

De esta manera las principales cubicaciones para cada tramo se presentan en el cuadro siguiente:

Alternativas	Tramo FFCC Trasandino	Nuevo Trazado Variante Juncal	Nuevo Trazado Quebrada Ojos de Agua	Mejoramiento de Estándar Ruta E-781	Ampliación a Doble Calzada Ruta 60Ch	Túnel A	Túnel B	Túnel C
Longitud (m)	12.300	4.000	6.100	8.500	6.900	3.000	4.700	8.500
<b>% de Longitud de la Alternativa Utilizada por el Tramo</b>								
1			100%		100%	100%		
2	100%	100%			100%			
3				47%	100%		100%	
4				100%	61%			100%
<b>Longitud Utilizada por el Tramo (m)</b>								
1			6.100		6.900	3.000		
2	12.300	4.000			6.900			
3				4.000	6.900		4.700	
4				8.500	4.200			8.500
<b>Precio Unitario \$/m</b>								
1			2.500.000		5.806.500	16.680.340		
2	4.893.974	2.500.000			5.806.500			
3				1.250.000	5.806.500		16.680.340	
4				1.250.000	8.246.548			16.680.340
<b>Precio Total \$</b>								
1			15.250.000.000		40.064.850.000	50.041.020.000		
2	60.195.880.710	10.000.000.000			40.064.850.000			
3				5.000.000.000	40.064.850.000		78.397.598.000	
4				10.625.000.000	34.635.502.174			141.782.890.000

Finalmente, el detalle de las longitudes finales de cada alternativa y la pendiente media de cada una de ellas se presentan en el cuadro siguiente.

**Cuadro N°6-7 Resumen de Longitud y Pendiente Media de Alternativas**

Alternativa	Longitud Camino m	Longitud Cobertizo m	Longitud Túnel m	Longitud Total m	Pendiente Media	Longitud Cubierta por Cobertizo o Túnel
1	7.170	5.830	3.000	16.000	6,3%	55%
2	15.086	5.838	2.276	23.200	4,3%	35%
3	6.900	4.000	4.700	15.600	6,4%	56%
4	8.700	4.000	8.500	21.200	4,7%	59%

NOTA: Se considera la longitud total del tramo Juncal – Entrada Túnel Redentor, sumándose así los proyectos del nuevo trazado y el de ampliación a doble calzada. En los cobertizos se incluyen los 1.500 m del cobertizo N°6, los 2500 m del nuevo cobertizo en el tramo Portillo – Túnel Cristo Redentor y los correspondiente al 30% de cobertizo que habrán en los tramos de los nuevos trazados.

### **6.3.2. RESUMEN PRECIOS UNITARIOS**

Para la determinación de los precios unitarios utilizados en la estimación de los presupuestos de cada tramo y luego de cada alternativa se utilizaron los siguientes valores:

- Rehabilitación Línea de Ferrocarril Trasandino: \$ 4.893.974 /m
- Construcción Proyecto de Nuevo Trazado: \$ 2.500.000 /m
- Construcción Proyecto de Mejoramiento de Estándar: \$ 1.250.000 /m
- Construcción Ampliación Doble Calzada: \$ 5.806.500 /m
- Construcción Cobertizos: \$ 5.239.975 /m
- Construcción Túnel Nuevo: \$ 16.680.340 /m (1U\$=\$740)

## 6.4. PRESUPUESTOS POR ALTERNATIVAS

A continuación, se presenta un cuadro resumen con los presupuestos de cada alternativa.

**Cuadro N°6-8 Presupuestos por Alternativa**

Alternativa	Sub-Total Línea FFCC \$	Sub-Total Camino \$MM	Sub-Total Túneles \$MM	Total Alternativa \$MM	Costo Unitario \$MM/km	Pendiente Media	Longitud Cubierta por Cobertizo o Túnel
1	-	55.315	50.041	105.356	6.585	6,3%	55%
2	60.196	50.065	-	110.261	4.753	4,3%	35%
3	-	45.065	78.398	123.462	7.914	6,4%	56%
4	-	45.261	141.783	187.043	8.823	4,7%	59%

## 7. CONCLUSIONES

La revisión bibliográfica de proyectos previos y estudios preliminares realizados por la empresa Ingeniería el Alba LTDA, reafirman la complejidad que presenta la zona de estudio en cuanto a las condiciones climáticas y geomorfológicas, en donde la propuesta de alternativas se ve limitada por las pocas opciones a nivel de espacio físico para emplazar un par vial, considerando tanto geometría como pendiente.

Por un lado, se presenta la problemática de sortear una gran diferencia de cotas – aprox 700 m – en una longitud de la ruta actual cercana a los 10 km, lo cual, considerando las altas pendientes de las laderas cordilleranas y la estrechez del valle, limitan las opciones para obtener desarrollo de camino de manera superficial.

Por otro lado, se presenta la gran problemática de las condiciones climáticas adversas que presenta la zona de media y alta montaña, siendo la principal fuente del cierre de la ruta. El estudio de riesgos naturales si bien determina que se presentan zonas de alta probabilidad de ocurrencia de Avalanchas y Remociones en masa, estos no serían la principal causa del cierre, si no que las propias nevazones y tormentas típicas de todos los inviernos, que causan lo siguiente:

- Acumulación de Nieve y Viento Blanco.
- Formación de Hielo sobre la carpeta de rodado.
- Tormentas Eléctricas (rayos y granizos)
- Aluviones y/o crecidas rápidas tanto en sector argentino como chileno.
- Fallas mecánicas y Accidentes en la ruta.
- Falta de Visibilidad, por nevadas y/o lluvias intensas.
- Mantenimientos de la Ruta.

Por lo anterior es que la propuesta de alternativas gana complejidad, ya que, si el objetivo es disminuir los días de cierre de la ruta, cualquier alternativa que tenga tramos expuestos a la superficie se verá enfrentado a las mismas condiciones actuales, por lo que se preferiría alternativas que tengan mayor porcentaje de su trazado de forma cubierta, ya sea mediante túneles o estructuras tipo cobertizo o túnel falso, lo cual aumentaría significativamente el costo total del proyecto.

De las alternativas planteadas, tanto las alternativas 1, 3 y 4 presentan un porcentaje de longitud cubierta superior al 55%, mientras que la alternativa 2 presenta solo un 35%. En cuanto a las pendientes medias las alternativas 1 y 3 superan el 6,3%, lo cual no es admisible, mientras que la alternativa 4 tiene una pendiente media de 4,7%, la cual está bajo el límite definido por la división de túneles del MOP que es de 5%.

En cuanto a los presupuestos preliminares, la alternativa 4 sería la más costosa con un costo total cercano a los 187 \$MM, lo anterior se explica porque para alcanzar una pendiente admisible se requiere de un mayor desarrollo del trazado. La alternativa 1 tiene un costo de 105 \$MM, la alternativa 2 de 110 \$MM y la alternativa 3 de 123 \$MM.

A pesar de las estimaciones previamente nombradas, al estar recién en la Etapa 1 de un estudio de Prefactibilidad, todavía no hay información suficiente ni el detalle necesario para realizar una evaluación multicriterio de alternativas, en donde se incluirán en etapas posteriores múltiples factores como estudios de demanda, cuantificación de beneficios, mapas de riesgos, participación ciudadana, etc.

El presente informe concluye satisfactoriamente con una primera propuesta de alternativas de trazados viales, correspondiente a la Etapa 1 de un estudio de Prefactibilidad. Para las etapas posteriores se espera que se añadan y modifiquen las alternativas constantemente a medida que más estudios se realicen hasta lograr soluciones más detalladas e innovadoras.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. Estudio de Ingeniería Refuncionalización Integral del Paso Sistema Cristo Redentor. Fase 1 Ampliación Túnel Caracoles. Fase 2 Ampliación y Mejoramiento Cristo Redentor y la construcción de las Galerías de Interconexión. (2017-2019).
2. Estudio de Prefactibilidad Construcción Túnel Baja Altura, Paso Las Leñas, región de O'Higgins. (2016).
3. Estudio de "Prefactibilidad Sistema de Gestión Vial Ruta 60-CH", Sector: Los Andes - Túnel Cristo Redentor, Provincia de Los Andes, V Región de Valparaíso. (2013).
4. Proyecto Concesión "Infraestructura Pública Paso Los Libertadores" - (2012).
5. Diseño de Ingeniería: Habilitación Salidas de Galerías de Emergencia entre Túnel Cristo Redentor y Túnel Caracoles, Provincia de Los Andes, V-Región. (2011).
6. Estudio Binacional para la Optimización del Paso de Frontera Sistema Cristo Redentor. (2009). Cooperación técnica en el marco de la Iniciativa IIRSA. BID Regional (ATN/OC-10620-RG).
7. Estudio Mejoramiento Ruta 41-CH, Paso Agua Negra, Túnel Internacional, IV Región de Coquimbo. (2009).
8. Estudio de Ingeniería "Construcción Plaza de Peaje Cristo Redentor, Provincia de Los Andes, V Región". Consultora Ghisolfo Ingeniería de Consulta S.A. (2008).
9. Estudio de Ingeniería "Mejoramiento Integral Ruta 60 CH, Sector Los Andes – Túnel Cristo Redentor, V Región". Consultora R&Q Ingeniería S.A. (2006).
10. Estudio de Ingeniería "Sistema de Ventilación Longitudinal Túnel Cristo Redentor, V Región". Consultora Cade-Idepe. (2006).
11. Estudio de Ingeniería "Camino Los Andes – Cristo Redentor, Construcción Túnel Tramo: Complejo Los Libertadores – Túnel Cristo Redentor, V Región". Consorcio Dusan Dujisin Q. y Asistecsa Ltda. (1999).
12. Estudio "Mejoramiento Ruta 60-CH, Sector Los Andes - Cristo Redentor". CCP Ingeniería Ltda. (1994).
13. Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas, «Manual de Carreteras - Instrucciones y Criterios de Diseño,» vol. III, Santiago, 2018.
14. Börgel, R. (1983) Geomorfología. Instituto Geográfico Militar

15. IIRSA. Agenda de Implementación Consensuada 2005. Informe de Evaluación.
16. Reportes mensuales con el detalle diario de la Plaza de Peaje Cristo Redentor de la Dirección de Vialidad. [www.vialidad.cl/Paginas/PasadasVehiculares.aspx](http://www.vialidad.cl/Paginas/PasadasVehiculares.aspx)
17. Dirección General de Aguas (2019). Información de Recursos Hídricos.

## A. ANEXOS

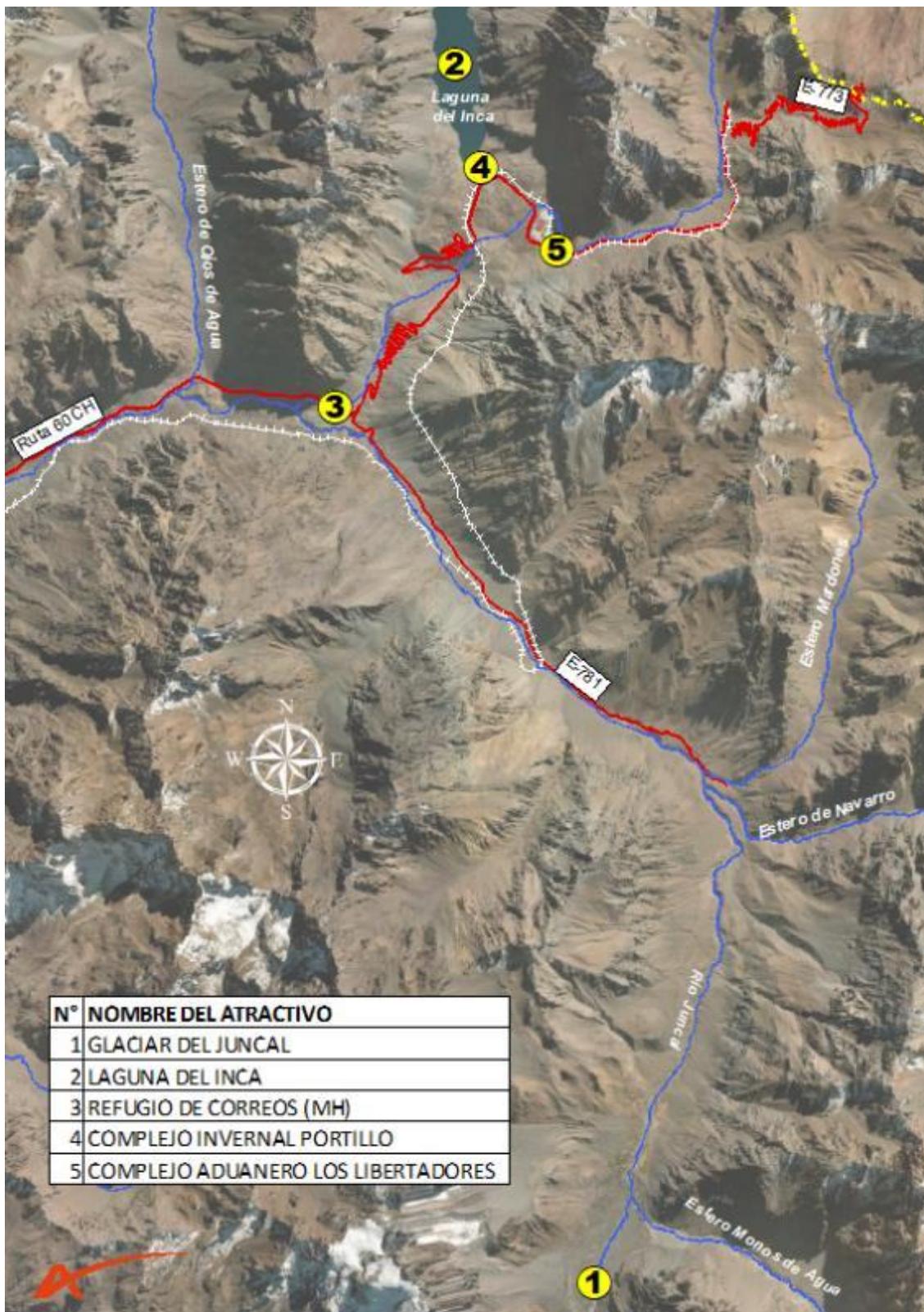
### A1. ÁREAS DE INTERÉS TURÍSTICO Y PAISAJÍSTICO

Según el Plan de Acción de la Región de Valparaíso, esta región posee un total de 434 atractivos turísticos de distintas categorías, en su mayoría *Museos y Manifestaciones Culturales* y *Sitios Naturales*. En el área de estudio destacan los siguientes atractivos:

**Cuadro N°8-1 Atractivos Turísticos en el área de estudio**

<b>NOMBRE</b>	<b>JERARQUIA</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>TIPO</b>	<b>SUBTIPO</b>
<b>COMPLEJO INVERNAL PORTILLO</b>	Internacional	Sitio Natural	Montaña	Área Nevada O Campo De Hielo
<b>LAGUNA DEL INCA</b>	Internacional	Sitio Natural	Lago, Laguna o Humedal	Lago, Laguna o Humedal
<b>GLACIAR DEL JUNCAL</b>	Regional	Sitio Natural	Montaña	Glaciar O Ventisquero
<b>COMPLEJO ADUARERO LOS LIBERTADORES</b>	Local	Realización Técnica, Científica O Artística Contemporánea	Obra De Arte O Técnica	Obra De Ingeniería
<b>REFUGIO DE CORREOS (MH)</b>	Nacional	Museo o Manifestación Cultural	Lugar Histórico	Lugar Histórico

Fuente: SERNATUR, 2018

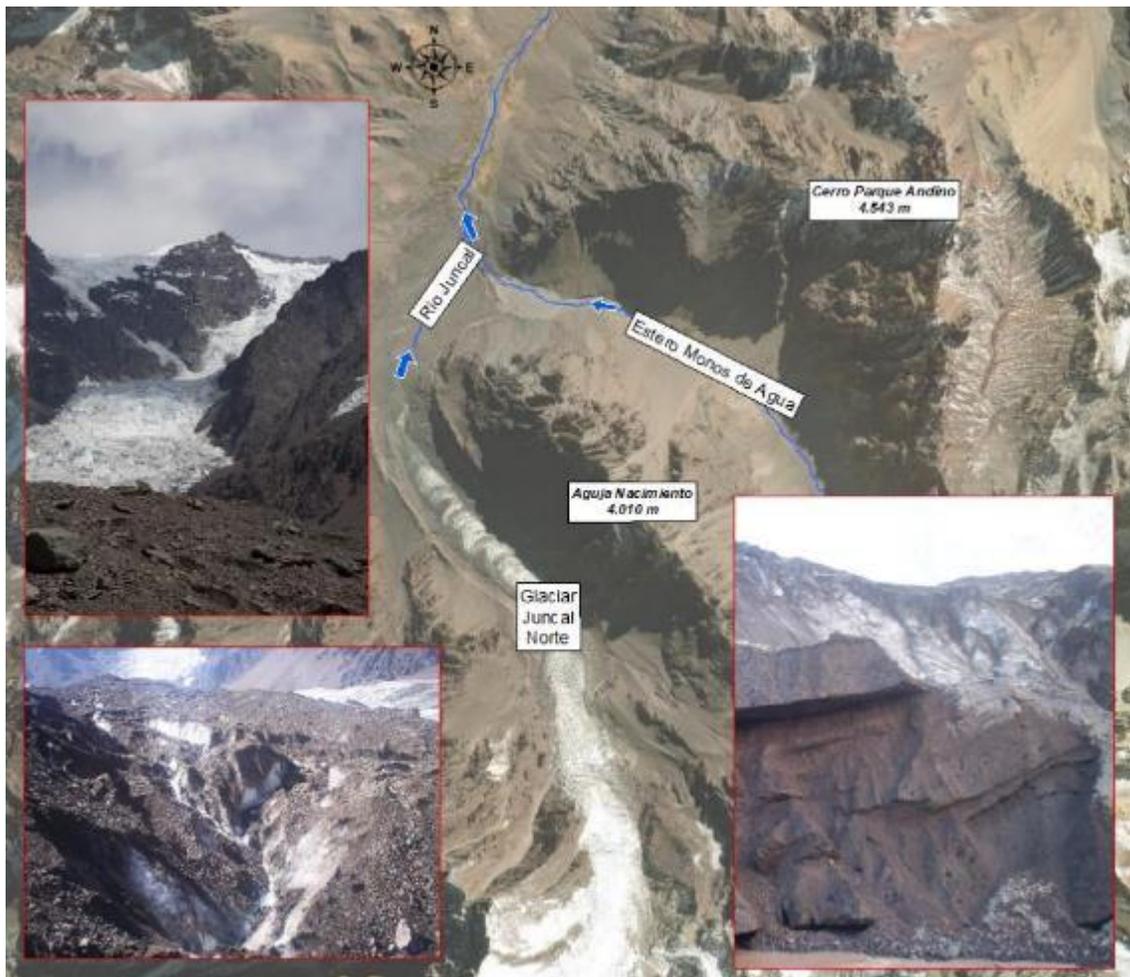


**Figura N°8-2 Ubicación Atractivos Turísticos en el Area de Estudio**  
 Fuente: Estudio Ing El Alba (2020).

## 2.4.1 GLACIAR JUNCAL

El glaciar Juncal se encuentra inmerso en un área de protegida privada denominada Parque Andino Juncal, el cual es un proyecto de conservación ecológico y de turismo sustentable y consta de 13,796 hectáreas. Su ubicación se muestra en la Figura N°2-7.

Si bien es cierto, este glaciar en sí es un atractivo natural, es necesario mencionar que para llegar a él se acceden a imponentes paisajes, correspondientes al Valle del Rio Juncal. Algunos de estos paisajes se muestran en la Figura .



**Figura N°8-3 Ubicación Glaciar Juncal**

Fuente: Estudio Ing El Alba (2020).

## 2.4.2. LAGUNA DEL INCA

Laguna del Inca se encuentra localizada en la zona de Portillo, dentro de la Provincia Los Andes, en la región de Valparaíso. En específico, aquella esta justo frente al Hotel Portillo.

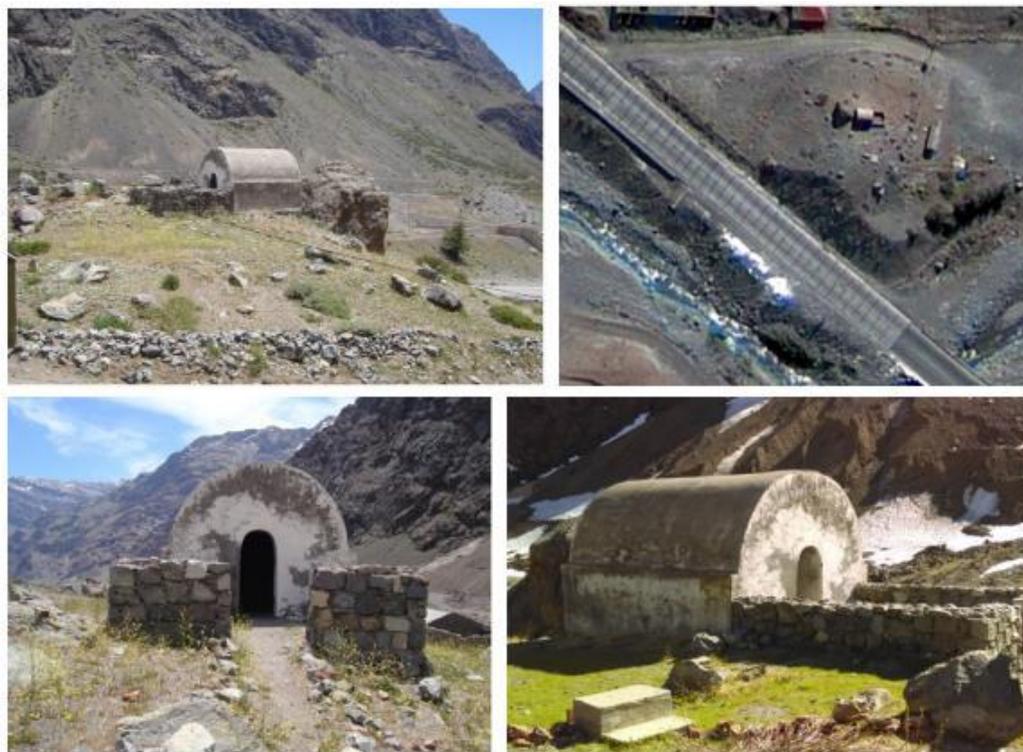


**Figura N°8-4 Ubicación Laguna del Inca**

Fuente: Estudio Ing El Alba (2020)

### 2.4.3. REFUGIO DE CORREOS (MH)

El Refugio de Correos de Juncal es el único de los ocho construidos que permanece en pie, y es un recuerdo de las dificultades que debían padecer los mensajeros al cruzar la cordillera, trayecto que muchas veces les costaba la vida. Este sistema de refugios se utilizó hasta el año 1910, momento en que se inaugura el ferrocarril trasandino.



**Figura N°8-5 Fotografías Monumento Histórico Refugio de Correos.**  
Fuente: Mosaico elaborado con imágenes digitales.

### 2.4.4 COMPLEJO INVERNAL PORTILLO

El complejo invernal Portillo es un centro de sky ubicado en la cordillera de la comuna de Los Andes. Se dio a conocer a nivel mundial 1966 cuando se convirtió en el primer centro turístico de América del Sur como sede de los Campeonatos del Mundo de Esquí. La notoriedad aumentó aún más cuando se rompió la barrera de 200 kilómetros por hora de velocidad en el año 1978 en Portillo, y la estación de esquí sigue siendo famosa entre los esquiadores expertos que la visitan por sus laderas increíblemente escarpadas.



**Figura N°8-6 Paisajes Complejo Invernal Portillo**  
 Fuente: Mosaico elaborado con imágenes digitales.

#### **2.4.5 COMPLEJO ADUANERO LOS LIBERTADORES**

Es un paso fronterizo terrestre entre Argentina y Chile, ubicado a 3000 msnm, y distante a 68 km de Los Andes, en la Región de Valparaíso. Este complejo aduanero inauguró su nueva infraestructura en octubre del año 2019.



**Figura N°8-7 Ubicación Complejo Aduanero**  
 Fuente: Elaboración propia.

## A2. CUBICACIÓN COSTO TRAZADO FERROCARRIL TRASANDINO

Longitud Total Trazado (m)			13,600	
Túneles	Km.	L (m)	P.U. \$	Total \$
Túnel 1	6.700	261	12,655,480	3,303,080,280
Túnel 2	7.960	124	12,655,480	1,569,279,520
Túnel 3	8.320	59	12,655,480	746,673,320
Túnel 4	8.820	192	12,655,480	2,429,852,160
Túnel 5	9.230	85	12,655,480	1,075,715,800
Túnel 6	10.100	430	12,655,480	5,441,856,400
Túnel 7	10.800	109	12,655,480	1,379,447,320
Túnel 8	11.240	68	12,655,480	860,572,640
Túnel 9	11.900	450	12,655,480	5,694,966,000
Túnel 10	12.700	498	12,655,480	6,302,429,040
<b>Cobertizos</b>	<b>Km.</b>	<b>L (m)</b>		<b>28,803,872,480</b>
Cobertizo 1	6.280	74	5,239,975	387,758,150
Cobertizo 2	8.040	57	5,239,975	298,678,575
Cobertizo 3	8.280	27	5,239,975	141,479,325
Cobertizo 4	8.400	121	5,239,975	634,036,975
Cobertizo 5	8.940	25	5,239,975	130,999,375
Cobertizo 6	9.140	40	5,239,975	209,599,000
Cobertizo 7	9.180	23	5,239,975	120,519,425
Cobertizo 8	9.500	424	5,239,975	2,221,749,400
Cobertizo 9	9.720	36	5,239,975	188,639,100
Cobertizo 10	9.810	136	5,239,975	712,636,600
Cobertizo 11	10.320	31	5,239,975	162,439,225
Cobertizo 12	10.340	30	5,239,975	157,199,250
Cobertizo 13	10.400	94	5,239,975	492,557,650
Cobertizo 14	10.460	30	5,239,975	157,199,250

Cobertizo 15	10.680	133	5,239,975	696,916,675
Cobertizo 16	10.860	25	5,239,975	130,999,375
Cobertizo 17	11.060	104	5,239,975	544,957,400
Cobertizo 18	11.300	53	5,239,975	277,718,675
Cobertizo 19	12.160	121	5,239,975	634,036,975
Cobertizo 20	12.240	40	5,239,975	209,599,000
Cobertizo 21	12.280	54	5,239,975	282,958,650
Cobertizo 22	13.040	160	5,239,975	838,396,000
<b>Puentes</b>	<b>Km.</b>	<b>Area Tablero (m2)</b>	12	<b>9,631,074,050</b>
Juncal 1	0.200	1,080	1,400,550	1,512,593,949
Puente 1	4.160	600	1,400,550	840,329,971
Puente 2	5.540	576	1,400,550	806,716,773
Puente 3	6.500	672	1,400,550	941,169,568
Puente 4	7.800	1,680	1,400,550	2,352,923,920
<b>Camino</b>	<b>Km.</b>	<b>L (m)</b>		<b>6,453,734,180</b>
Camino 2 pistas + Bermas + SAP	0,00-13,60	9,102	\$ 1,500,000	13,653,000,000
Pavimentos Cobertizos	0,00-13,60	1,838	\$ 900,000	1,654,200,000
				<b>15,307,200,000</b>
			<b>TOTAL</b>	<b>60,195,880,710</b>