



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil en Obras Civiles

INGENIERIA DE PERFIL
CAMINO INDUSTRIAL EN ALTA MONTAÑA
“PELDEHUE – LOS BRONCES – SUR SUR”

Tesis para optar al título de:
Ingeniero Civil en Obras Civiles

Profesor Patrocinante:
Sr. Luis Collarte Concha
Ingeniero Civil, M.Sc. en Ing. Civil.

RODRIGO FELIPE SANDOVAL VELÁSQUEZ
VALDIVIA - CHILE
2006

A mi mamá Natividad, por entregarme todo su amor, cariño y comprensión; por ser una madre excepcional.

A mi papá Carlos, por ser un excelente padre y un gran compañero; una persona a quién admiro y respeto, por ser un ejemplo de vida.

A mi hermana Camila, por ser siempre un apoyo incondicional y por sentir que mis pequeños logros son parte de ella también.

Gracias por todo... los quiero mucho, y agradezco a Dios por la familia que tengo.

AGRADECIMIENTOS

Quiero aprovechar en estas líneas mi profundo agradecimiento a las personas que lograron que el presente trabajo de titulación haya llegado a buen término. Dar las gracias al Sr. Luis Castelli por darme la oportunidad de haber realizado la memoria de título en CODELCO Chile División Andina; al Sr. Andrés Ellena quien me incentivó a realizar éste trabajo; al Sr. Rogelio Elgueta y Sr. Ricardo Fernández quienes me recibieron y me dieron la posibilidad de desarrollar un proyecto para Nueva Andina; al Sr. René León por su disposición reflejada en la ayuda prestada en todo momento; al Sr. Eduardo Sanzana quien participó en mi trabajo e hizo posible el contacto con la consultora ARCADIS Geotécnica para recibir el apoyo en todo lo que fuera necesario para el desarrollo de la memoria y al Sr. Daniel Guzmán por su colaboración en la corrección final de la tesis.

Es a esta empresa donde tengo mis mayores agradecimientos, a todos los grandes profesionales que trabajan en dicha consultora, en especial al Sr. Juan Carlos Cereceda, Ingeniero Civil, Jefe de Proyectos Gerencia de Minería, quién me recibió como una persona más, prestándome toda la colaboración y convirtiéndose en mi tutor a lo largo de éste trabajo.

No puedo dejar de plasmar mi gratitud a todos aquellos profesionales que siempre me entregaron parte de su tiempo, escuchando mis inquietudes y respondiendo las preguntas que surgieron a lo largo del trabajo, dichas personas son, Sr. Pablo Talloni; Sr. Edgar Bard; Sr. José Blondel; Sr. Rodolfo Vilicic; Sr. Francisco Orcaestegui; Sr. Patricio Ruckoldt; Sr. Ismael Toledo; Sr. Gerardo Sanhueza; Sr. Gino Rivera; Sr. Héctor López; Sra. Cristina González; Marcelo Bacco; Roberto León; Alexis Soto; Pablo Martínez; Marcela Born; Carlos Parada; Marcelo González; Fernando Herrera; y en general a todas aquellas personas que son parte de dicha empresa.

INDICE GENERAL

Indice General.....	i
Indice de Tablas.....	iv
Indice de Figuras.....	vi
Indice de Gráficos.....	viii
Indice de Planos.....	viii
Resumen.....	ix
Summary.....	x

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades.....	1
1.2 CODELCO Chile División Andina.....	3
1.2.1 Reseña Histórica.....	3
1.2.2 Descripción.....	3
1.3 Proyecto Nueva Andina.....	4
1.3.1 Generalidades.....	4
1.3.2 Justificación Proyecto Vial.....	5
1.3.3 Emplazamiento del Proyecto.....	5
1.4 Objetivos.....	7
1.4.1 Objetivos Generales.....	7
1.4.2 Objetivos Específicos.....	7

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Procedimientos de Estudios Viales.....	8
2.2 Criterios Manual de Carreteras.....	10
2.2.1 Diseño Geométrico.....	10
2.2.2 Diseño Sección Transversal.....	17
2.2.3 Saneamiento y Drenaje de la Plataforma.....	28
2.2.4 Diseño Geométrico Túneles.....	32
2.3 Marco Geológico.....	35
2.3.1 Geología.....	35
2.3.2 Geomorfología.....	38
2.3.3 Riesgos Geológicos.....	38

2.4	Tecnologías Carpetas de Rodado	43
2.4.1	Pavimento Asfáltico	43
2.4.2	Estabilizado con Cloruro de Sodio	44
2.4.3	Estabilizante de Suelo Pennzsupress`D (PSD).....	45
2.5	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA)	47
2.6	Sistema Topográfico Láser Aerotransportado	48

CAPITULO III: ANTECEDENTES

3.1	Características Generales	51
3.1.1	Climatología y Meteorología	51
3.1.2	Hidrología.....	58
3.1.3	Geología y Geomorfología.....	63
3.1.4	Riesgos Geológicos	70
3.1.5	Tránsito.....	72
3.1.6	Topografía	74
3.2	Requerimientos Técnicos	74
3.2.1	Ancho de Plataforma	74
3.2.2	Velocidad Máxima	75
3.2.3	Pendientes y Curvas	75
3.2.4	Superficie de Rodado.....	75
3.2.5	Obras de Arte	75
3.2.6	Puentes.....	75

CAPITULO IV: METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1	Tránsito Medio Diario Anual (TMDA)	76
4.2	Diseño Geométrico.....	77
4.2.1	Diseño en Planta	77
4.2.2	Diseño Alzado	80
4.3	Marco Geológico	87
4.3.1	Geología del Trazado.....	87
4.3.2	Riesgos Geológicos	88
4.4	Diseño Sección Transversal	88
4.4.1	Diseño Plataforma	88
4.4.2	Obras de Protección.....	93
4.4.3	Diseño Lechos de Frenado o Pistas de Emergencias.....	95

4.5 Saneamiento Hidráulico y Drenaje de la Plataforma	98
4.5.1 Criterios al Diseño	98
4.5.2 Caudales y Soluciones adoptadas	98
4.6 Prediseño Túneles	104
4.6.1 Diseño Geométrico	104
4.6.2 Criterios Generales de Diseño	104
4.6.3 Características Particulares de cada túnel	106
4.7 Diseño Estructura de Acero Corrugado	109
4.7.1 Criterios de Diseño	109
4.7.2 Fórmulas	110
4.7.3 Diseño	112
4.8 Evaluación Ambiental	115
4.9 Memoria de Cubicaciones	117
4.9.1 Caminos	117
4.9.2 Túneles	118
4.10 Costos	120
4.10.1 Caminos	120
4.10.2 Túneles	123

CAPITULO V: CONCLUSIONES

5.1 Conclusiones Generales	125
5.2 Conclusiones Particulares	126
Referencias Bibliográficas	129
Anexo N° 1: Distritos Agroclimáticos	132
Anexo N° 2: Cuadro De Movimientos De Tierra Sector Los Bronces	133
Anexo N° 3: Fotografías	138
Anexo N° 4: Planos	143

INDICE DE TABLAS

Capítulo II: Marco Teórico

Tabla 2.1: $L_{r\min}$ entre curvas de distinto sentido – condición	10
Tabla 2.2: $L_{r\min}$ entre curvas del mismo sentido	10
Tabla 2.3: Radios mínimos absolutos en curvas horizontales	11
Tabla 2.4: Cálculo sobreebanco	11
Tabla 2.5: Pendientes máximas admisibles	12
Tabla 2.6: Camino de alta montaña pendientes máximas % según altura s.n.m.	13
Tabla 2.7: Longitud crítica en pendientes para $\Delta=24$ Km/h y $\Delta=40$ Km/h	14
Tabla 2.8: Parámetros mínimos en curvas verticales por criterio de visibilidad de parada	16
Tabla 2.9: Resumen ancho de plataforma en terraplén y de sus elementos a nivel de rasante	18
Tabla 2.10: Ancho de pistas auxiliares	19
Tabla 2.11: Bombeos de la calzada	20
Tabla 2.12: Pendiente transversal del SAP.....	21
Tabla 2.13: Coeficientes de retención frenado	22
Tabla 2.14: Longitud en pendiente D_m que puede requerir lechos de frenado	22
Tabla 2.15: Longitud de detención en pendiente de subida sobre la carretera L_{dc} (m).....	23
Tabla 2.16: Longitud teórica L_o (m) del lecho del frenado.....	24
Tabla 2.17: Periodos de retorno y riesgo de falla según vida útil	29
Tabla 2.18: Periodos de retorno para diseño	29
Tabla 2.19: Velocidades máximas admisibles en canales no revestidos	31
Tabla 2.20: Tipos de riesgos geológicos	38
Tabla 2.21: Comparación estabilizantes de suelo.....	46

Capítulo III: Antecedentes

Tabla 3.22: Principales valores climáticos medios mensuales. Promedio de Distritos 74.2 y 65.4	51
Tabla 3.23: Dirección del viento medio mensual. Estación Los Bronces. Periodo 2000-2005	58
Tabla 3.24: Caudales medios mensuales río San Francisco 2400 m.s.n.m (Bajo Quebrada Duarte)(L/s)	59
Tabla 3.25: Caudales Medios mensuales sección media-alta Subcuenca estero dolores (L/s)	60
Tabla 3.26: Resumen curva de frecuencia de mejor ajuste. Caudal instantáneo máximo (m^3/seg)	62
Tabla 3.27: Caudales medios mensuales. Estación Colina en Peldehue (m^3/seg).....	62
Tabla 3.28: Revestimientos de acero	72

Tabla 3.29: Consumo de bolas	72
Tabla 3.30: Consumo de reactivos	73
Tabla 3.31: Personal	73
Tabla 3.32: Resumen viaje a concentradora.....	73
Tabla 3.33: Tránsito diario en Los Bronces (un sentido)	74

Capítulo IV: Metodología de Trabajo

Tabla 4.34: Estimación tránsito medio diario anual	77
Tabla 4.35: Cuadro alineamiento horizontal	79
Tabla 4.36: Tabla comparativa longitudes críticas.....	83
Tabla 4.37: Longitud crítica en pendiente a velocidad de entrada gradiente 60 Km/hr	84
Tabla 4.38: Largo diseño curvas verticales	84
Tabla 4.39: Alineamiento vertical	85
Tabla 4.40: Geología del trazado.....	87
Tabla 4.41: Ángulos de corte recomendado	89
Tabla 4.42: Tabla resumen dimensiones secciones tipo sector Los Bronces	91
Tabla 4.43: Constantes largo detención de la cama	95
Tabla 4.44: Criterio diseño propuesto largo salida emergencia	96
Tabla 4.45: Distancias teóricas entre pistas de emergencia propuesta	96
Tabla 4.46: Cuencas Sector Colina.....	99
Tabla 4.47: Caudales obras de arte	99
Tabla 4.48: Obras de arte	100
Tabla 4.49: Criterio de diseño túneles - suelo natural	104
Tabla 4.50: Criterio diseño túneles - suelo de relleno compactado.....	104
Tabla 4.51: Tipo de soportes en túneles	105
Tabla 4.52: Clasificación geomecánica Túnel Vizcachas	107
Tabla 4.53: Porcentaje estimado tipo de roca - Túnel Loma el Caballo	107
Tabla 4.54: Porcentaje estimado tipo de roca - Túnel Ortiga - San Francisco	108
Tabla 4.55: Porcentaje estimado tipo de roca - Túnel Los Bronces - Sur Sur.....	109
Tabla 4.56: Resistencia mínima de la unión longitudinal	110
Tabla 4.57: Factor de flexibilidad admisible	111
Tabla 4.58: Propiedades perfil T150	113
Tabla 4.59: Análisis de pertinencia de ingreso al SEIA	115
Tabla 4.60: Fortificación mínima para los diferentes tipos de roca	118

INDICE DE FIGURAS

Capítulo I: Introducción

Figura 1.1: Ubicación Geográfica Codelco Chile División Andina.....	3
Figura 1.2: Ubicación Mineras División Andina - Los Bronces	5
Figura 1.3: Mapa de ubicación proyecto	6

Capítulo II: Marco Teórico

Figura 2.4: Velocidad de operación versus longitud de pendiente.....	13
Figura 2.5: Longitud crítica en pendiente.....	14
Figura 2.6: Perfil descriptivo calzada única en curva.....	17
Figura 2.7: Plataforma de subrasante	25
Figura 2.8: Sección tipo de cuneta camino montaña	26
Figura 2.9: Sección mínima transversal del túnel	34
Figura 2.10: Dimensiones nichos de emergencias.....	35
Figura 2.11: Edades geológicas	35
Figura 2.12: Diagrama de convergencia de placas	36
Figura 2.13: Esquema del cambio de ángulo o de subducción de la placa de Nazca entre los 20° y 30° Latitud Sur.....	37
Figura 2.14: Creación de fallas conjugadas.....	37
Figura 2.15: Inestabilidad de la nieve.....	42
Figura 2.16: Principios levantamiento láser	49

Capítulo III: Antecedentes

Figura 3.17: Avalanchas portal de túnel Río Blanco.....	71
---	----

Capítulo IV: Metodología de Trabajo

Figura 4.18: Perfil tipo 1 Colina - Loma el Caballo.....	89
Figura 4.19: Perfil tipo Colina - Loma el Caballo	90
Figura 4.20: Sección tipo 1 Sector Los Bronces.....	91
Figura 4.21: Sección tipo 2 Sector Los Bronces.....	91
Figura 4.22: Sección tipo 3 Sector Los Bronces	92
Figura 4.23: Sección tipo 4 Sector Los Bronces	92
Figura 4.24: Perfil tipo 5 Sector Los Bronces	92

Figura 4.25: Protección avalanchas. Postes telescópicos	93
Figura 4.26: Protección avalanchas. Malla de alambre de acero.....	94
Figura 4.27: Cobertizo	94
Figura 4.28: Protección desprendimientos de rocas	94
Figura 4.29: Lecho de frenado en pendiente fuerte pista pasarela a la calzada.....	97
Figura 4.30: Lecho de frenado en pendiente fuerte pista divergente a la calzada	97
Figura 4.31: Muro de boca para tubos de hormigón simple $D < 1,2$ m.....	100
Figura 4.32: Tubo Hormigón Armado prefabricado $1,45 \text{ m} < D < 2,4$ m.....	101
Figura 4.33: Puente losa hormigón.....	101
Figura 4.34: Revestimientos de canales fosos y contrafosos	101
Figura 4.35: Badén con escurrimiento permanente	102
Figura 4.36: Portal Ortiga y fracturamiento, transporte de pulpa.....	108
Figura 4.37: Características perfil T150	113
Figura 4.38: Perfil tipo tubo acero corrugado.....	114

Anexos

Figura A1.39: Distritos agroclimáticos	132
Figura A3.40: Camino Peldehue - puente Colina.....	138
Figura A3.41: Camino tramo esteros Arrayán y Colina. Plataforma tuberías de transporte de pulpa Los Bronces	138
Figura A3.42: Puente Ortiga mirando hacia el oeste	139
Figura A3.43: Camino a pocos metros del portal ortiga del túnel de transporte de pulpa	139
Figura A3.44: Inicio de faenas de limpieza (etapa de búsqueda de camino) en camino industrial División Andina.....	139
Figura A3.45: Camino después de terminadas las faenas de limpieza camino industrial División Andina	140
Figura A3.46: Protección pasiva de avalanchas en camino industrial de División Andina	140
Figura A3.47: Pistas de emergencias utilizadas en camino industrial de División Andina	141
Figura A3.48: Riesgo de caída de placa de nieve.....	141
Figura A3.49: Medidas de seguridad vial en camino industrial División Andina	142

INDICE DE GRÁFICOS

Capítulo III: Antecedentes

Gráfico 3.1: Termograma - Distrito 74.2, 65.4 promedio	52
Gráfico 3.2: Hidrograma de precipitación y evaporación promedio	53
Gráfico 3.3: Termograma de temperaturas medias mensuales - Distritos 74.1, 60.5, 50.3, 65.2 y 50.1	54
Gráfico 3.4: Hidrograma de precipitaciones. Distritos 74.1, 60.5, 50.3, 65.2, 50.1	55
Gráfico 3.5: Distribución media mensual de las precipitaciones sólidas y su equivalente en agua. Estación Los Bronces periodo 1990-2005	56
Gráfico 3.6: Temperaturas medias mensuales. Estación Los Bronces. Periodo 2000-2005	56
Gráfico 3.7: Humedad Relativa medias, máximas y mínimas medias mensuales. Estación Los Bronces. Periodo 2000-2005	57
Gráfico 3.8: Velocidad del viento medio mensual. Estación Los Bronces. Periodo 2000-2005...	58
Gráfico 3.9: Curva de variación estacional cuenca río San Francisco 2.400 m.s.n.m (bajo quebrada Duarte)	60
Gráfico 3.10: Curva de variación estacional sección media-alta subcuenca estero Dolores	61
Gráfico 3.11: Curva de variación estacional. Estero Colina en Peldehue	63

INDICE DE PLANOS

Plano N° 1:	Camino Industrial. Plano Planta General
Plano N° 2:	Cuencas Hidrográficas. Plano Planta y Perfil Longitudinal
Plano N° 3:	Túnel Ortiga – San Francisco. Plano Planta y Perfil Longitudinal
Plano N° 4:	Camino Sector Los Bronces. Plano Planta y Perfil Longitudinal
Plano N° 5:	Camino Sector Los Bronces. Plano Perfiles Transversales (1)
Plano N° 6:	Camino Sector Los Bronces. Plano Perfiles Transversales (2)
Plano N° 7:	Túnel Los Bronces – Sur Sur. Plano Planta y Perfil Longitudinal
Plano N° 8:	Avalanchas y Obras Arte Sector Los Bronces. Plano Planta General
Plano N° 9:	Geología del Trazado. Plano Planta General.

RESUMEN

La presente memoria de título tiene como propósito realizar una Ingeniería de perfil a un camino industrial hacia CODELCO Chile División Andina; camino que de acuerdo a la zona geográfica en que se encuentra ubicada la minera, presenta características propias de alta montaña, ya que existen condiciones nivometereológicas severas y variadas, tales como precipitaciones sólidas, fuertes vientos, generación de avalanchas o rodados durante el invierno.

De acuerdo a lo señalado por División Andina, el camino en estudio tiene su emplazamiento en la ruta internacional RCh 57 Los Libertadores en sector de Colina – Peldehue, permitiendo acceder a las faenas industriales de las mineras Los Bronces de Anglo American Chile y Sur Sur de Codelco Chile División Andina.

Dicho estudio se realiza de acuerdo a las normativas establecidas por el Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas, el que de acuerdo al grado de profundidad, incorpora los aspectos topográficos, hidrológicos, geotécnicos, características de tránsito y aspectos medio ambientales.

De esta forma se proponen diseños de obras de arte, cortes, terraplenes, contrafosos, cunetas, obras tipo. Se determina la sectorización geológica y los eventuales riesgos geológicos, tales como, remociones en masa y avalanchas. Todo aquello es representado mediante planos respectivos.

Finalmente se establece una estimación de costo de acuerdo a tres tecnologías de carpetas de rodado estudiadas, y una evaluación de costo de los túneles proyectados.

SUMMARY

The present thesis for obtaining the degree of Civil Engineer has the purpose of developing a profile level engineering for an industrial road to Andina Division from CODELCO Chile, which, according to the geographical zone where the mine is located, presents high mountain characteristics, severe and changeable weather conditions, such as snowing, strong winds, avalanches or slides during winter.

According to Andina Division, the road will be located in Colina – Peldehue sector, near International Route RCh 57 Los Libertadores, permitting an access to the industrial areas of Los Bronces (Anglo American) and Sur Sur (Andina Division, Codelco Chile) mines.

This study was developed according to the normatives established by the Ministry of Public Work's Roads Manual, which, according to the level of the study, incorporates topographical, hydrologic, geotechnical, traffic and environmental aspects.

This study involves the design of several works, such as culverts, cuts and fills, ditches, etc. The study also includes a geological zonation and possible geological risks (land slides, avalanches). All this designs and zonations are represented in drawings.

The last subject of the study corresponds to a cost estimation of the three technologies of road surfaces studied, and a cast evaluation of the projected tunnels.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

El avance tecnológico, los mayores precios de las materias primas, el progresivo agotamiento de los yacimientos minerales ubicados a baja altura y la demanda por energía eléctrica, vías de transporte y actividades de tipo recreativo, son motivos de que se esté trabajando cada vez a mayor altura. Las características físicas del entorno en la montaña no son las mismas que las de la llanura, lo que incrementa la magnitud de muchos riesgos conocidos.

Las empresas mineras instaladas en forma estable en la Cordillera se han visto en la necesidad de adaptar sus métodos de trabajo a las condiciones propias de su entorno, con el objeto de asegurar la producción y resguardar a sus colaboradores, quienes constituyen un capital humano que ya conoce las condiciones especiales en que viven y trabajan, que no es fácil de reemplazar.

En consideración a lo anterior es evidente la importancia en Chile de los caminos de alta montaña, principalmente por nuestras grandes instalaciones mineras, así como también por la comunicación con la comunidad inserta.

Las condiciones nivometeorológicas que enfrentan los caminos y pasos fronterizos de alta montaña localizados, en general, sobre los 1000 m.s.n.m. son severas y variadas. Con precipitaciones sólidas que pueden llegar a superar los 20 metros de nieve acumulada durante la temporada invernal, temperaturas inferiores a los -20 °C, vientos sobre los 200 Km./h durante la temporada invernal y tormentas eléctricas durante el verano, condiciones que desarrollan el escenario para la generación de avalanchas o rodados durante el invierno y aluviones de agua lodo y piedras durante el verano, los que afectan las instalaciones y muy especialmente los caminos y el corte de éstos.

Conducir vehículos motorizados en áreas montañosas presenta algunos riesgos adicionales a los que comúnmente se encuentran en los caminos situados en llanuras, que provienen de las mayores exigencias que imponen las pendientes prolongadas a la mecánica de los vehículos y, de las diferencias que provoca en las superficies de tránsito la presencia de barro, nieve, hielo, etc. Por esta razón, en la contratación del personal para el transporte de mineral, es conveniente seleccionar personal con experiencia en montañas y someterlo a un programa de capacitación, referido específicamente a dichos mayores riesgos.

Las condiciones nivometeorológicas antes señaladas son más que suficientes para hacer resaltar la importancia que tienen la meteorología y nivología en la ingeniería de alta montaña, y en particular la vial, encargada del diseño, mantenimiento y seguridad de caminos y pasos fronterizos.

De esta forma un pronóstico del tiempo local, especialmente orientado a las operaciones de caminos en alta montaña, trae notables ventajas, no sólo cualitativas, sino que también cuantitativas en las operaciones viales, permitiendo el ahorro de importantes recursos tanto

económicos, como en vidas humanas, entregando el respaldo y seguridad para planificar adecuadamente las actividades en dichas localidades.

Especial atención tiene para esta memoria el camino industrial dentro de División Andina de CODELCO Chile, el cual, posee todas las características atribuibles a un camino de montaña, internándose a más de 30 kilómetros al interior de la cordillera de Los Andes. Los cambios fuertes de pendiente, la excesiva cantidad de curvas, lo peligroso que se torna en invierno con caminos cubiertos de nieve y en ocasiones rasante con hielo por efecto a las altitudes a las que llega (4.200 m.s.n.m.), hacen de este camino un factor vital para el buen funcionamiento de la División, siendo fundamental la viabilidad que entregue. A lo largo de toda su extensión existe la posibilidad de avalanchas, especialmente en los meses de invierno, lo que da a este camino una característica especial debido a lo peligroso que se torna para el tránsito de vehículos.

La importancia del camino industrial para Andina radica en dos puntos específicos:

- Es el único medio que permite el traslado masivo del personal (aprox. 80% del recurso humano existente en Andina) hacia las principales instalaciones de la División (Minas Rajo Abierto, Mina Subterránea y Concentrador), durante las 24 horas del día, los 365 días del año lo que permite mantener una producción constante de cobre durante todo el año y con esto generar desarrollo en el sector minero, en la región y en el país.
- Medio utilizado como shaft (guía) para la mayoría de conductos eléctricos y cañerías subterráneas que trasladan concentrado de cobre y relaves (como vía alternativa) hacia el depósito.

Conforme a lo antes señalado, resulta de mucho interés para los profesionales del Proyecto Nueva Andina, a cargo de su Gerente Sr. Rogelio Elgueta y Sr. Eduardo Sanzana, Director de Infraestructura y Relaves, realizar un estudio de ingeniería para un nuevo acceso a sus faenas debido al proyecto de expansión el cual hoy en día está en marcha. A esto se puede agregar, lo manifestado por minera Anglo American Chile División Los Bronces, por establecer también un nuevo acceso hacia sus faenas, lo que demuestra un interés y la intención de realizar un estudio en conjunto.

En la siguiente memoria de titulación se desarrollará un primer catastro a una ingeniería de perfil de dicho acceso a las faenas abordando algunas soluciones en base a la información disponible; información que fue en casi su totalidad facilitada por la empresa consultora del Proyecto Expansión Andina, ARCADIS Geotécnica.

1.2 CODELCO CHILE DIVISIÓN ANDINA

1.2.1 Reseña Histórica

El yacimiento que explota División Andina denominado Río Blanco, remonta sus antecedentes al año 1850. Por estar ubicado en la cabecera de un valle glaciar, se encuentra cubierto con nieve gran parte del año, situación que hizo desistir de su exploración a numerosas empresas dado el alto riesgo de inversión que involucraba. Recién en 1955, la compañía Cerro Corporation debido a su amplio conocimiento y experiencia en el tema, sumado a su gran capacidad de inversión, comienza una campaña exploratoria y un completo estudio que duró 10 años, culminando en 1966 con la formación de la Compañía Minera Andina S.A., integrada por Cerro Corporation y el Gobierno de Chile. Esta empresa desarrolló un proyecto único en el mundo por sus instalaciones subterráneas en grandes cavernas excavadas en el macizo rocoso de la montaña, dando inicio a la producción del yacimiento Río Blanco en julio de 1970.

En 1971 la Compañía Andina fue nacionalizada, y a partir de febrero de 1976 pasa a ser parte de la Corporación Nacional del Cobre de Chile, como la actual División Andina, patrimonio del Estado de Chile.

1.2.2 Descripción

División Andina se encuentra ubicada aproximadamente a 40 kilómetros al sur – este de la ciudad de Los Andes y a 50 Kilómetros de Santiago medidos en línea recta, en la quinta región de Chile.

Figura 1.1: Ubicación Geográfica Codelco Chile División Andina



Fuente: Memoria de Titulación. Análisis de alternativas de estabilizantes de suelo para el camino industrial de Codelco Chile División Andina. (Zapata, 2004)

Sus operaciones mineras se desarrollan en la parte alta de la cordillera, entre los 3.500 y 4.200 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). El modelo de yacimiento que explota División Andina se clasifica geológicamente como pórfido cuprífero; su formación está asociada a la actividad volcánica provocada por los movimientos de las placas tectónicas de la corteza terrestre. El avance de estas placas genera fisuras cerca del borde continental, las que son rellenadas por el magma, que origina una segregación y concentración de minerales.

El yacimiento Río Blanco esta conformado por el Área Subterránea (explorada desde 1955) y el Área Rajo (explorada desde en 1980).

El Área Subterránea, localizada aproximadamente a 3.500 m.s.n.m esta constituida por la Mina Subterránea Río Blanco cuyo sistema de minería es bajo tierra, en tanto a dos kilómetros al sur de ésta mina, entre los 4.000 y 4.200 m.s.n.m con un sistema de minería a cielo abierto se encuentra emplazada la mina a rajo abierto Sur-Sur.

Andina produce unas 239.862 toneladas métricas finas anuales de concentrados de cobre que son materia prima fundamental para obtener el metal refinado. Además, coloca en los mercados 2.980 toneladas métricas de molibdeno al año.

1.3 PROYECTO NUEVA ANDINA

1.3.1 Generalidades

El objetivo de este proyecto, debido a la gran magnitud del yacimiento (sobre 6.000 millones de toneladas), es hacer de Andina una de las cuatro faenas mineras más grandes del país y posicionarla en el primer cuartel de costos de la industria minera.

Para ello, se proyecta desarrollar todo su potencial, de modo de alcanzar en dos décadas ritmos de producción cercanas a las 300 mil toneladas de tratamiento diario de mineral y una producción de 800 mil toneladas de cobre fino al año. Ello permite imaginar una Andina cuatro veces mayor y radicalmente diferente a la actual, con una apertura mayor hacia nuevos escenarios de explotación de los recursos mineros, pero siempre bajo la óptica de agregar valor y ser técnicamente factibles.

El Plan de expansión presentado al Comité Ejecutivo Corporativo recomienda una trayectoria de crecimiento por fases, que va desde 90 mil a 290 mil toneladas y más de tratamiento diario en un período de 60 años. Para los efectos de disponer una evaluación económica del proyecto se considera un periodo de 25 años.

La recomendación del equipo mixto al que se le encomendó en forma exclusiva esta tarea durante tres meses de trabajo e integrado por profesionales de Andina, el Centro Corporativo y asesores nacionales y extranjeros, fue escoger un escenario de crecimiento a 290 mil toneladas por día (ktpd) pasando por fases de 90 ktpd y 230 ktpd hasta llegar a le meta planteada, con una inversión de 2.108 millones de dólares, que permitirá mejorar este negocio en 2.620 millones de dólares.

La conceptualización de los módulos de crecimiento proyectados contemplan aumentar la producción del escenario actual de 72 ktpd, que presenta un aporte del 40% de Rajo y 60% de Mina subterránea, a 90 ktpd, con aporte por partes iguales del Rajo y la Mina Subterránea; luego a 230 ktpd con un aporte mayoritario de la Mina Rajo (85%) y menor de la Subterránea (15%), hasta llegar a 290 ktpd con 70% de aporte de Mina Rajo y 30% de Mina Subterránea.

1.3.2 Justificación Proyecto vial

Dicho proyecto de expansión traerá evidentemente consigo una mayor utilización de recursos, insumos y personal, lo que redundará en un aumento de los flujos vehiculares asociados al proyecto, como son las camionetas de ejecutivos y subcontractistas, los buses para el transporte del personal, los camiones que transportan los insumos. Pues bien, el aumento gradual y sostenido de camiones con carga pesada, voluminosa y peligrosa por el camino internacional ha llevado a que el tránsito por él sea de alto riesgo para las personas, los equipos, suministros, medio ambiente; motivo por lo cual la División ha reflexionado en la búsqueda de una solución.

Por otra parte, minera Los Bronces, que explota el mismo yacimiento por el lado Sur, también dispone de un camino de acceso, desde Las Condes, el que también tiene alto tráfico por ser camino a los centros de ski, y por ser además angosto, tiene un alto riesgo a las personas, suministros, equipos a terceros y al medio ambiente.

En ambos caminos se han registrado accidentes en que se han visto comprometido los aspectos citado y por ello se piensa en buscar un camino al centro minero que sirva a ambas empresas, compartiendo sus inversiones, operaciones y para uso privado por ella.

La importancia de contar con un camino de acceso propio recae principalmente en el poder manejar de manera autónoma el tráfico de cargas voluminosas y pesadas donde se incluyen cargas de tipo muy ocasional y programables como tolvas de camiones, baldes de palas, grandes piezas de molinos. Se espera que éste camino permita su acceso durante todo el año, como actualmente lo dispone Los Bronces. Con esto se obtiene además una reducción importante en el movimiento de hotelería.

1.3.3 Emplazamiento del proyecto

Los Bronces de Anglo American Chile se ubica a 70 Km. al noreste de la ciudad de Santiago, junto a mina Sur Sur, donde se efectúan operaciones consistentes en la extracción de mineral a rajo abierto y su posterior beneficio mediante flotación convencional para obtener concentrado de cobre.

Figura 1.2: Ubicación Mineras División Andina - Los Bronces



Fuente: Arcadis Geotécnica. (2006)

El mineral extraído es sometido a procesos de chancado y molienda en el sector de la hoya alta del río San Francisco, para luego ser enviado, como pulpa, a través de un mineroducto hacia una planta concentradora (flotación convencional) ubicada en el sector del cajón Las Tórtolas a 45 Km. al norte de Santiago. Desde allí, el producto obtenido (concentrado de cobre) es transportado en camiones hacia el puerto de San Antonio, o hacia Chagres.

Hoy en día Minera Los Bronces, al igual que División Andina, se encuentran con estudios de expansión que considera aumentar el ritmo de explotación a rajo abierto del yacimiento de 58.000 a 180.000 toneladas por día de mineral lo que evidentemente traerá consigo una mayor utilización de recursos, insumos y personal.

Pues bien, pese a que Minera Los Bronces realiza estudios de impacto vial por su actual acceso por Avenida Kennedy, Avda. Las Condes, etc., resulta de interés especial el uso de una nueva alternativa de acceso a sus faenas, por lo que ambas mineras CODELCO Chile División Andina y Anglo American Chile División Los Bronces han manifestado interés mutuo por explorar la posibilidad de construir un camino para uso común alternativo a sus actuales accesos a las faenas industriales, para ello es que se desea desarrollar inicialmente la ingeniería de perfil.

En base a esto, es que ambas partes han manifestado la posibilidad de emplazamiento del camino que se inicie en el sector de Peldehue, en lo posible rodeando el sector urbano de modo de no afectar el normal desarrollo de la comunidad del lugar. El camino de empalme en lo posible sea el camino a Colina, a fin de emplear los enlaces a la autopista Los Libertadores. El emplazamiento hacia el interior del cajón Colina, se realice de manera tal que mejore el camino ya existente o bien que se proyecte uno nuevo. En los cajones de los esteros Arrayán y Ortiga, en lo posible emplear la plataforma del mineroducto de Anglo American.

En el cajón del estero San Francisco, El Plomo y Dolores utilizar el actual camino industrial existente ya que constituye el estándar requerido. El emplazamiento general del camino en el sector de la cuenca del estero Colina debiera considerar los lomajes naturales para obtener pendientes longitudinales adecuadas y cortes menores de materiales atendiendo a la calidad de los materiales a fundar. En la Figura 1.3 se señala el emplazamiento del camino.

Figura 1.3: Mapa de ubicación proyecto



Fuente: www.turistel.cl (2006)

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivos Generales

Realizar un proyecto de diseño a nivel de ingeniería de perfil, de un camino industrial único para uso común, iniciándose en la ruta internacional RCh 57 Los Libertadores en el sector de Colina – Peldehue o sus alrededores, y que permita acceder a las faenas industriales de las mineras Los Bronces de Anglo American Chile y Mina Sur Sur de CODELCO Chile División Andina ubicadas en el valle de San Francisco Región Metropolitana (RM) y en el valle de Río Blanco 5ª Región respectivamente, incluyendo accesos a posibles áreas de desarrollo futuro como a la explanada Loma El Caballo.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Proponer diseños definidos en planos de planta y perfil longitudinal considerando las obras de artes, terraplenes, cortes, pistas, cunetas, contrafosos, secciones tipos, de acuerdo al tipo de ingeniería antes mencionada.
- Determinar la sectorización geológica y geotécnica del emplazamiento proyectado.
- Determinar los riesgos geológicos el cual se verá solicitado el trazado.
- Frente a riesgos potenciales de avalanchas al trazado determinar medidas de protección y/o soluciones.
- Determinar si el proyecto amerita ingresar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Entregar un informe de costos en cuanto a alternativas de carpeta de rodado y otro de los túneles proyectados.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 PROCEDIMIENTOS DE ESTUDIOS VIALES

El estándar de una obra vial que responde a un diseño acorde con las instrucciones y límites normativos establecidos en el Manual de Carreteras, queda determinado por:

- La Categoría que le corresponde (Autopista - Autorruta - Primario - Colector - Local - Desarrollo).
- La Velocidad de Proyecto (V_p), que posee o que le ha sido asignada.
- La Sección Transversal definida, según la Categoría y Velocidad de Proyecto.
- Que posea o esté previsto un pavimento o sólo carpeta de grava o ripio.

Evidentemente, la selección de una de las alternativas consultadas al interior de cada una o de estas cuatro variables, dependerá en gran medida del tránsito inicial y proyectado al año horizonte, pero también de otras variables que se analizan más adelante.

La Sección Transversal es una variable dependiente de las dos primeras, pues a cada Categoría y Velocidad de Proyecto, al interior de una categoría, corresponde una Sección Transversal Tipo a nivel de Plataforma de la Rasante, cuyo ancho responde a un rango acotado y en algunos casos único.

La Velocidad de Proyecto (V_p) “es la velocidad que permite definir las características geométricas mínimas de los elementos del trazado bajo condiciones de seguridad y comodidad, elementos mínimos que sólo podrán ser empleados en la medida que estén precedidos por otros (en ambos sentidos del tránsito), que anticipen al usuario que se está entrando a un tramo de características mínimas, el que además deberá estar debidamente señalizado”.

Los niveles o grado de profundidad creciente de los Estudios de Ingeniería considerados en el Manual de Carreteras, son:

- Idea
- Perfil
- Estudio Preliminar → Prefactibilidad → Diagnóstico Ambiental
- Anteproyecto → Factibilidad → Impacto Ambiental (DIA o EIA)
- Estudio Definitivo → Actualiz. Indicadores → (DIA o EIA)

A cada uno de estos niveles de estudio se asocian, con grados de profundidad también crecientes, las respectivas etapas de Ingeniería Básica:

- Aspectos Geodésicos y Topográficos
- Aspectos de Hidrología, Hidráulica y Transporte de Sedimentos
- Aspectos Geotécnicos
- Demanda y Características del Tránsito
- Aspectos Ambientales – Impacto y Mitigación

Los niveles identificados como “Idea” y “Perfil” corresponde a una etapa de planificación previa al inicio de los niveles de estudio tradicionales (E. Preliminar, Anteproyecto y E. Definitivo).

Idea: “La etapa de Idea corresponde al nivel más primario en el desarrollo de un proyecto. Su objetivo principal es la identificación formal de los problemas existentes en la infraestructura vial y establecer la importancia de ellos”.

Es decir, la Idea corresponde a la identificación de una necesidad, plan o programa que pueda generarse a nivel Ministerial; en el Nivel Central de la Dirección de Vialidad; en los Niveles Regionales, Provinciales, Comunes o incluso a nivel de las Comunidades interesadas.

Del análisis hecho por la autoridad que corresponda se derivarán decisiones que pueden implicar:

- Reformular la Idea
- Abandonarla por el momento
- Profundizar, pasando al nivel de Perfil

Perfil: “En la etapa de Perfil se incorpora información adicional existente y se precisa aquella proveniente de la etapa anterior, en base a la cual se plantean, a nivel conceptual, las posibles soluciones a los problemas detectados y se realiza una evaluación económica preliminar de las distintas soluciones, con el fin de establecer un juicio inicial acerca de la eficacia y coherencia de estas soluciones. Ello permitirá adoptar una decisión respecto de la necesidad de profundizar en el análisis de las soluciones a los problemas detectados”.

La estimación de Inversiones de las alternativas consideradas en el nivel de Perfil, normalmente se hará mediante información estadística de tipo histórico (Costo por kilómetro de la obra básica para el tipo de terreno en que estas se emplazan; costo por kilómetro de la superestructura en función del TMDA y su composición; costo por metro lineal de Puentes y/o Pasos Desnivelados; costo global por unidad en el caso de Intersecciones Canalizadas, Enlaces, etc). Al igual que en el caso anterior, el análisis a nivel de Perfil permitirá adoptar decisiones tales, como:

- Abandonar la Idea
- Postergar su paso al próximo nivel de estudio
- Aceptar la Idea e incluirla en un listado priorizado de estudios de mayor nivel

Las Ideas cuyo Perfil presenta la mayor prioridad, pasan al nivel siguiente, normalmente un Estudio Preliminar con sus complementos de Prefactibilidad y Diagnóstico Ambiental.

El estudio de Perfil debe por lo tanto contener, como una de sus conclusiones, los Términos de Referencia requeridos para abordar el próximo nivel de estudio, debiendo definir con claridad los objetivos que se persiguen con el proyecto y en forma aproximada el estándar sugerido. El estudio de alternativas de solución debe quedar abierto de modo que éstas sean prospectadas, analizadas y seleccionadas en los niveles siguientes.

2.2 CRITERIOS MANUAL DE CARRETERAS

2.2.1 Diseño Geométrico

2.2.1.1 Trazado en Planta

Se procurará evitarán longitudes en recta superiores a:

$$L_r(m) = 20 V_p \text{ (km/h)}$$

L_r = Largo en m de la Alineación Recta.

V_p = Velocidad de Proyecto de la Carretera

En tramos rectos entre curvas en distinto sentido, deberán alcanzar o superar los mínimos que se señalan en la Tabla 2.1, los que responden a una mejor definición óptica del conjunto que ya no opera como una curva en S propiamente tal, y están dados por $L_{r \text{ mín}} = 1.4 V$

Tabla 2.1: $L_{r \text{ mín}}$ entre curvas de distinto sentido – condición

V_p (Km/hr)	40	50	60	70	80
L_r (m)	56	70	84	98	112

Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°3

Para tramos rectos entre curvas en el mismo sentido, por condiciones de guiado óptico es necesario evitar las rectas excesivamente cortas entre curvas en el mismo sentido, en especial en terreno llano y ondulado suave con velocidad de proyecto media y alta. La Tabla 2.2 entrega los valores deseables y mínimos según tipo de terreno y V_p .

Tabla 2.2: $L_{r \text{ mín}}$ entre curvas del mismo sentido

V_p (Km/hr)	30	40	50	60	70	80
Terreno Llano y Ondulado		110/55	140/70	170/85	195/98	220/110
Terreno Montañoso	25	55/30	70/40	85/50	98/65	110/90

Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°3

Los radios mínimos para cada velocidad de proyecto, calculados bajo el criterio de seguridad ante el deslizamiento, están dados por la siguiente expresión:

$$R_m = \frac{V_p^2}{127 \cdot (p_{\text{máx}} + t_{\text{máx}})}$$

R_m : Radio Mínimo Absoluto (m)

V_p : Velocidad Proyecto (Km/h)

$p_{\text{máx}}$: Peralte Máximo correspondiente a la Carretera o el Camino (m/m)

$t_{\text{máx}}$: Coeficiente de fricción transversal máximo correspondiente a V_p .

Reemplazando para variadas velocidades y con un peralte máximo especificado en el Manual de Carreteras de un 7% asociado a un coeficiente transversal máximo, se tienen en la Tabla 2.3 los siguientes radios mínimos:

Tabla 2.3: Radios mínimos absolutos en curvas horizontales

V_p	$P_{m\acute{a}x}$	$t_{m\acute{a}x}$	R_m
30	7	0,215	25
40	7	0,198	50
50	7	0,182	80
60	7	0,165	120
70	7	0,149	180
80	7	0,132	250

Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°3

Según se señala en el Manual de Carreteras para velocidades de menor a 40 Km/hr, no será necesario el empleo de curvas de enlace pese a ello se debe tener en consideración el sobreebancho de las curvas circulares

En curvas de radio pequeño y mediano, según el tipo de vehículos comerciales que circulen habitualmente por la carretera o camino, se deberá ensanchar la calzada con el objeto de restituir los espacios libres entre vehículos, o entre estos y el borde de la calzada, con que se cuenta en recta para un ancho de calzada dado. El sobreebancho requerido equivale al aumento del espacio ocupado transversalmente por los vehículos de longitud apreciable al describir las curvas.

La expresión general de cálculo esta dada por:

$$E = n \cdot \frac{L_o^2}{2} \cdot R$$

E : El Ensanche total requerido (m)

n : Número de pistas de la calzada

R : Radio de la Curva Horizontal (m)

L_o : Longitud del elemento rígido del vehículo considerado

Según la longitud total real o máxima legal autorizada, para distintos tipos de vehículos, se considerarán las siguientes expresiones para E, en función del L_o correspondiente en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4: Cálculo sobreebancho

Tipo de Vehículo		L_o (m)	Ensanche Total	$n=2; a=7$ m; $E_{min}= 0,5$ m
Camión Simple	$L_t=11$ m	10	n*50/R	R<200 m
Bus Rural	$L_t=12$ m	10		
Semiremolque Chico	$L_t=14$ m	10		
Bus de Turismo	$L_t=13,2$ m	10,5	n*55/R	R<220 m
Semiremolque Mediano	$L_t=16$ m	11	n*60/R	R<260 m
Semiremolque Corriente	$L_t=18,6$ m	12,2	n*74/R	R<300 m

Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°3

2.2.1.2 Trazado en Alzado

Las cotas del eje en planta de una carretera o camino, al nivel de la superficie del pavimento o carpeta de rodado, constituyen la rasante o línea de referencia del alineamiento vertical. La representación gráfica de esta rasante recibe el nombre de Perfil Longitudinal del Proyecto.

La rasante determina las características en alzado de la carretera y está constituida por sectores que presentan pendientes de diversa magnitud y/o sentido, enlazadas por curvas verticales que normalmente serán parábolas de segundo grado.

Para fines de proyecto, el sentido de las pendientes se define según el avance de la distancia acumulada (D_m), siendo positivas aquéllas que implican un aumento de cota y negativas las que producen una pérdida de cota.

Las curvas verticales de acuerdo entre dos pendientes sucesivas permiten lograr una transición paulatina entre pendientes de distinta magnitud y/o sentido, eliminando el quiebre de la rasante.

El trazado en alzado está controlado principalmente por la:

- Categoría del Camino
- Topografía del Área
- Trazado en Horizontal y Velocidad V^* correspondiente
- Distancias de Visibilidad
- Drenaje
- Valores Estéticos y Ambientales
- Costos de Construcción

Inclinación de las Rasantes

La Tabla 2.5 establece las pendientes máximas admisibles según la categoría de la carretera o camino.

Tabla 2.5: Pendientes máximas admisibles

Categoría	Velocidad de Proyecto (Km/hr)					
	<30	40	50	60	70	80
Desarrollo	10-12	10-9	9			
Local		9	9	8	8	
Colector				8	8	8

Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°3

En camino de alta montaña, cuando se superan los 2.500 m sobre el nivel del mar, la pendiente máxima deberá limitarse según la siguiente Tabla 2.6.

Tabla 2.6: Camino de alta montaña pendientes máximas % según altura s.n.m.

Altura S.N.M	Velocidad de Proyecto (Km/hr)					
	30	40	50	60	70	80
2500-3000 m	9	8	8	7	7	7/5
3100-3500 m	8	7	7	6,5	6,5	6/5
Sobre 3500 m	7	7	7	6	6	5/4,5

Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°3

Es deseable proveer una pendiente longitudinal mínima del orden de 0,5% a fin de asegurar en todo punto de la calzada un eficiente drenaje de las aguas superficiales.

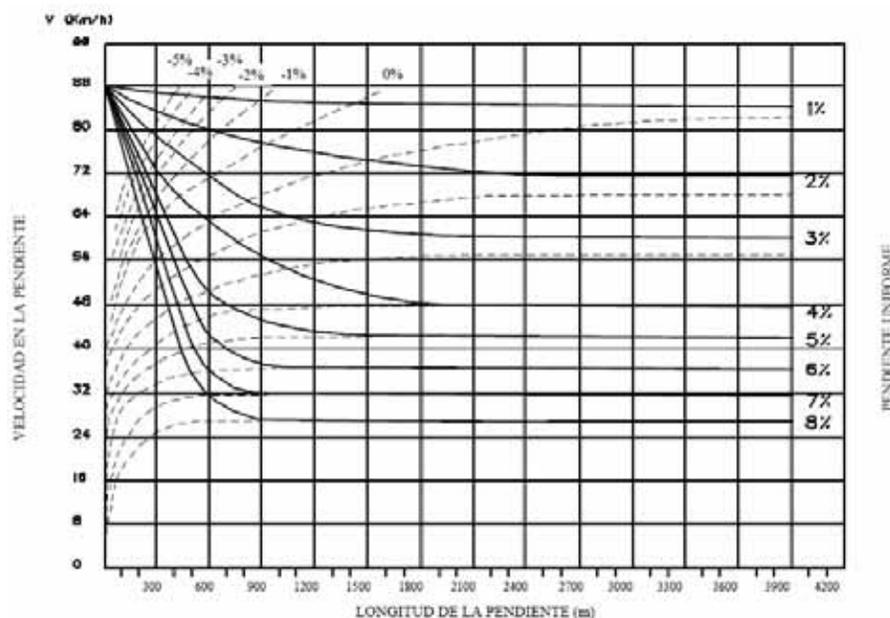
Longitud en Pendiente y Velocidad de Operación

Pendientes de hasta 6%, afectan sólo marginalmente la velocidad de operación de la gran mayoría de los automóviles, cualquiera que sea la longitud de la pendiente.

En el caso de los camiones, sobre un 3% causan reducciones significativas de la velocidad de operación, a medida que la longitud en pendiente aumenta; esto afecta la velocidad de operación de los automóviles, en especial en caminos bidireccionales con alta densidad de tránsito.

La Figura 2.4 muestra la caída de velocidad para un camión tipo semitrailer o con acoplado, cargado, cuya relación peso/potencia sea del orden de 91 Kgs/Hp. Se considera que la rasante de aproximación a la pendiente es prácticamente horizontal y la velocidad al comienzo de la pendiente de 88 km/h. La zona horizontal de las curvas del gráfico indican la velocidad de régimen del camión, la que no puede ser superada en tanto no disminuya la pendiente.

Figura 2.4: Velocidad de operación versus longitud de pendiente

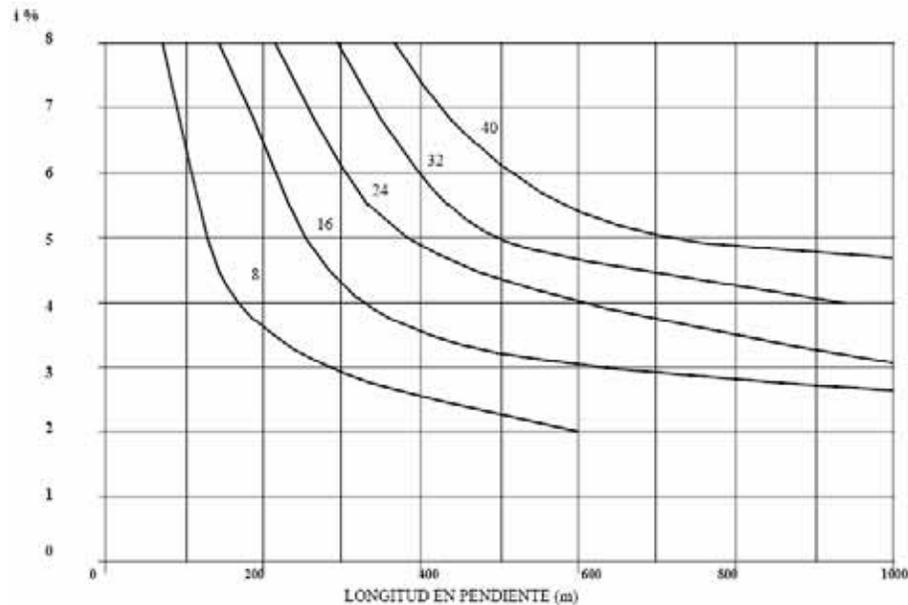


Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°3

La Figura 2.5 ilustra el concepto de Longitud Crítica en Pendiente, es decir, la combinación de magnitud y longitud de pendiente que causa un descenso en la velocidad de operación del camión de “X” Km/h.

Este gráfico permite establecer la longitud máxima que puede tener una pendiente de magnitud dada, si se desea evitar que la velocidad de operación de los camiones disminuya en más de “X” Km/h.

Figura 2.5: Longitud crítica en pendiente



Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°3

AASHTO recomienda en casos normales no superar los 15 km/h de caída de velocidad para camiones en pendiente. Para las condiciones imperantes en el país parecería deseable elevar dicho valor a 24 km/h en túneles y 40 km/h en campo abierto, es decir para una velocidad de entrada de 88 km/h aceptar caídas de velocidad hasta \approx 64 km/h y 48 km/h, respectivamente.

La Tabla 2.7 ilustra la longitud crítica en pendiente para una velocidad de entrada del orden de 88 Km/h y un Δ del orden de 24 y 40 Km/h.

Tabla 2.7: Longitud crítica en pendientes para $\Delta=24$ Km/h y $\Delta=40$ Km/h

i %	Longitud crítica	
	$\Delta < 24$ Km/h para todo L	$\Delta < 40$ Km/hr para todo L
2	1100	
3	580	1800
4	400	700
5	320	510
6	260	420
7	260	360
8		

Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°3

Enlaces de rasantes

El ángulo de deflexión entre dos rasantes que se cortan, queda definido por la expresión:

$$\theta = i_2 - i_1 \text{ (Radianes)}$$

Es decir θ se calcula como el valor absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes de entrada y salida, expresadas en m/m.

Toda vez que la deflexión θ es igual o mayor que $0,5\% = 0,005 \text{ m/m}$, se deberá proyectar una curva vertical para enlazar las rasantes. Bajo esta magnitud se podrá prescindir de la curva de enlace ya que la discontinuidad es imperceptible para el usuario.

La curva a utilizar en el enlace de rasantes será una parábola de segundo grado, que se caracteriza por presentar una variación constante de la tangente a lo largo del desarrollo, además de permitir una serie de simplificaciones en sus relaciones geométricas, que la hacen muy práctica para el cálculo y replanteo.

La deflexión θ se repite como ángulo del centro para una curva circular de radio R , que sea tangente a las rasantes a enlazar, en los mismos puntos que la parábola de segundo grado. La parábola y la curva circular mencionadas son en la práctica muy semejantes, tanto así que el cálculo teórico de la curva de enlace requerida por concepto de visibilidad se hace en base a la curva circular, en tanto que el proyecto y replanteo se ejecuta en base a la parábola.

Bajo las circunstancias descritas el desarrollo de la curva vertical de enlace queda dado por:

$$L_v = R \cdot \theta = R \cdot (i_1 - i_2); i_1 \text{ e } i_2 \text{ expresados en m/m}$$

Adoptando la nomenclatura correspondiente a la parábola de segundo grado, el radio R pasa a llamarse “ K ” que corresponde al parámetro de esta curva.

Finalmente, dentro del rango de aproximaciones aceptadas, el desarrollo de la curva de enlace se identifica con:

$L_v = 2 \cdot T$; siendo $2T$ la proyección horizontal de las tangentes a la curva de enlace.

En definitiva, para todos los efectos de cálculo y replanteo, la longitud de la curva vertical de enlace está dada según medidas reducidas a la horizontal y vale:

$$2T = K \cdot \theta = K \cdot (i_1 - i_2)$$

Las curvas verticales deben asegurar en todo punto del camino la Visibilidad de Parada, ya sea que se trate de calzadas bidireccionales o unidireccionales.

Parámetros mínimos por Velocidad de Parada

Curvas Verticales Convexas: Se considera la visibilidad de parada sobre un obstáculo fijo situado sobre la pista de tránsito y la altura de los ojos del conductor sobre la rasante de esta pista. El parámetro queda dado por:

$$K_v = \frac{D_p^2}{2 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}$$

K_v = Parámetro Curva Vertical Convexa (m)

D_p = Distancia de Parada (m)

h_1 = Altura Ojos del Conductor 1.10 m

h_2 = Obstáculo Fijo 0.20 m

Luego: $K_v = \frac{D_p^2}{4,48}$

Curvas Verticales Cóncavas: Se considera la visibilidad de parada nocturna sobre un obstáculo fijo que debe quedar dentro de la zona iluminada por los faros del vehículo.

El parámetro queda dado por: $K_c = \frac{D_p^2}{2 \cdot (h + D_p \cdot \text{sen}\beta)}$

K_c = Parámetro Curva Vertical Cóncava (m)

D_p = Distancia de Parada (m)

h = Altura Focos del Vehículo=0,6 m

β = Angulo de Abertura del Haz Luminoso respecto de su eje =1°

Luego: $K_c = \frac{D_p^2}{(1,2 + 0,035 \cdot D_p)}$

La Tabla 2.8 resume los valores adoptados en este Instructivo para K_v en función de V^* y para K_c sólo en función de V_p . Para velocidades de 50 km/h y menores, los valores de la Tabla se han incrementado respecto de los valores teóricos dados por las expresiones de cálculo, ello con objeto de no sobrepasar las aceleraciones radiales en vertical, máximas recomendables, que experimenten los usuarios.

Tabla 2.8: Parámetros mínimos en curvas verticales por criterio de visibilidad de parada

Velocidad de Proyecto	Curvas Convexas			Curvas Cóncavas
	$V^*=V_p$	$V^*=V_p+5$	$V^*=V_p+10$	
V_p (Km/h)				$V^*=V_p$ Km/h
30	300	300	320	400
40	400	500	600	500
50	700	950	1100	1000
60	1200	1450	1800	1400
70	1800	2350	2850	1900

Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°3

Los casos en que se debe diseñar considerando la existencia de Visibilidad de Parada para Velocidades por sobre las de proyecto, y las V^* definidas en este Instructivo, son:

a) Alineaciones Rectas que incluyen una Curva Vertical Convexa, que limita la visibilidad, y curvas Horizontales precedidas por una recta, con o sin Curva Vertical Convexa:

Si; $400 \text{ m} < L_r \leq 600 \text{ m}$ $V^* = V_p + 5 \text{ km/h}$

$L_r > 600 \text{ m}$ $V^* = V_p + 10 \text{ km/h}$

b) Curvas Horizontales precedidas por una recta cuya longitud no supera los 400 m, pudiendo existir o no una curva Vertical Convexa.

Si, $R_m \leq R \leq 1,15 R_m$ $V^* = V_p \text{ km/h}$

$1,15 R_m < R \leq 1,30 R_m$ $V^* = V_p + 5 \text{ km/h}$

$$R > 1.30 R_m \quad V^* = V_p + 10 \text{ km/h}$$

Por condición de comodidad y estética, la longitud mínima de las curvas verticales está dada por:

$$2T(m) \geq |V_p| (Kph)$$

Es decir, el desarrollo mínimo de la curva vertical será el correspondiente al número de metros que representa la velocidad de proyecto de la carretera, expresada en Kph.

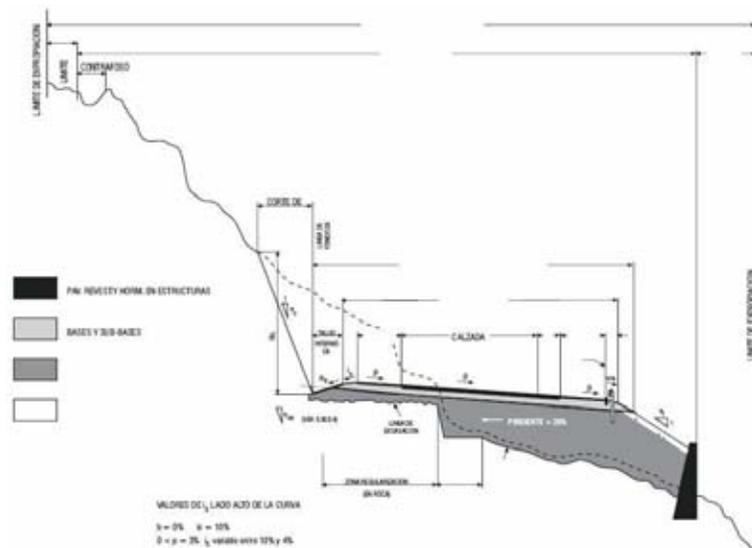
2.2.2 Diseño Sección Transversal

La Sección Transversal de una carretera describe las características geométricas de ésta, según un plano normal a la superficie vertical que contiene el eje de la carretera.

Dicha sección transversal varía de un punto a otro de la vía, ya que ella resulta de la combinación de los distintos elementos que la constituyen, cuyos tamaños, formas e interrelaciones dependen de las funciones que ellas cumplan y de las características del trazado y del terreno en los puntos considerados.

En la Figura 2.6 aparecen los elementos fundamentales que normalmente se dan en una carretera; plataforma, cunetas, taludes, etc. La nomenclatura utilizada debe ser respetada por el proyectista.

Figura 2.6: Perfil descriptivo calzada única en curva



Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°3

2.2.2.1 La Plataforma

a) Definición

Se llama “plataforma” a la superficie visible de una vía formada por su(s), calzada(s), sus bermas, los sobrecanchos de plataforma (SAP) y su mediana, en caso de existir esta última como parte de la sección transversal tipo. El ancho de la plataforma será entonces la suma de los anchos de sus elementos constitutivos, cuyas características se definen en esta sección.

La altimetría de la plataforma está dada por el perfil longitudinal de la rasante y por la inclinación transversal de sus elementos.

La plataforma puede contener algunos elementos auxiliares, tales como barreras de seguridad, soleras, iluminación o señalización.

b) La Calzada

Una calzada es una banda material y geoméricamente definida, de tal modo que su superficie pueda soportar un cierto tránsito vehicular y permitir desplazamientos cómodos y seguros de los mismos. La calzada está formada por dos o más pistas. Una pista será entonces cada una de las divisiones de la calzada que pueda acomodar una fila de vehículos transitando en un sentido.

Existen ciertos tipos de pistas especiales, con funciones específicas, que aumenta sólo localmente el ancho de una calzada. Estas son las pistas lentas y pistas rápidas, las pistas de trenzado y las pistas de cambio de velocidad. Todas ellas son estrictamente unidireccionales.

b.1) Ancho de Plataforma

En la Tabla 2.9 se resumen los Anchos de Plataforma en Terraplén y de los elementos que la constituyen, dados en función de la Categoría de la vía y de la Velocidad de Proyecto que le corresponde.

Tabla 2.9: Resumen ancho de plataforma en terraplén y de sus elementos a nivel de rasante

Velocidad de Proyecto (Km/hr)	Ancho Pistas (m)	Ancho bermas (m)	Ancho SAP (m)	Ancho Total de plataforma a nivel de rasante(m)
70	3,5	1,0 - 1,5 (*)	0,5 - 0,8	10 - 11
60	3,0 - 3,5	0,5 -1,0 (*)	0,5 - 0,8	8 - 10
50	3,0 - 3,5	0,5 -1,0 (*)	0,5	8 - 10
40	3	0,0 - 0,5 (*)	0,5	7 - 8
30	2,0 - 3,0	0,0 - 0,5 (*)	0,5	5 - 6
(*) El ancho del las bermas se definirá en función del tránsito y dificultad del emplazamiento				

Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°3

Las Bermas, Sobreancho de Plataforma (SAP), que se definen más adelante, poseerán anchos definidos en función de la Categoría y Velocidad de Proyecto.

La selección de la Sección Transversal Tipo de una carretera o camino dentro de las definidas en la Tabla 2.9 dependerá de la función asignada al proyecto, del tipo de terreno en que ésta se emplaza y del estudio de tránsito que permite anticipar la evolución del Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) y del Volumen Horario de Diseño (VHD) a lo largo del tiempo, y en particular al horizonte de diseño. Las características geométricas del trazado propuesto permitirán calcular la Capacidad de la vía y los Volúmenes y Niveles de Servicio, que contrastados con las predicciones del volumen de demanda a lo largo del tiempo, permitirán verificar si se cumple la función asignada a proyecto.

b.2) Pistas Auxiliares

Pendientes prolongadas y tramos largos cuyo trazado en planta no permite el adelantamiento producen disminuciones en la capacidad de una carretera. Ambos factores suelen combinarse para agravar tal situación.

Estas reducciones de capacidad dependen principalmente del porcentaje de camiones que circulan, de la distancia a lo largo de la cual la situación se mantiene y del valor de la pendiente en el primero de los casos citados. Ellas pueden ser solucionadas mediante la creación de Pistas Auxiliares para vehículos lentos o “Pistas Lentas”, en Caminos Bidireccionales.

El ancho de una pista auxiliar que cumpla esta función dependerá de la velocidad de proyecto de la vía, según lo descrito en la Tabla 2.10:

Tabla 2.10: Ancho de pistas auxiliares

	V _p (Km/hr)	30-70	80-120
Para Tránsito Lento	Ancho (m)	3	3,5
Para Tránsito Rápido	Ancho (m)		3,5

Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°3

Las pistas auxiliares para Tránsito Lento en Calzadas Bidireccionales deberán, en lo posible, tener una longitud tal que permitan salir del sector en pendiente que produce un descenso de velocidad de los vehículos pesados, superior a los límites establecidos en la Tabla 2.7.

Las Pistas deberán contar con señalización Vertical al inicio y término por el lado derecho de la calzada, de acuerdo al Manual de Señalización de Tránsito del MINTRATEL y/o al Instructivo correspondiente de la Dirección de Vialidad.

b.3) Bombeos

En tramos rectos o en aquéllos cuyo radio de curvatura permite el contraperalte, las calzadas deberán tener, con el propósito de evacuar las aguas superficiales, una inclinación transversal mínima o bombeo, que depende del tipo de superficie de rodadura y de la Intensidad de la Lluvia de 1 Hora de Duración con Período de Retorno de 10 Años, propia del área en que se emplaza el trazado.

La Tabla 2.11 especifica estos valores indicando en algunos casos un rango dentro del cual el proyectista deberá moverse, afinando su elección según los matices de la rugosidad de las superficies y de los climas imperantes.

Tabla 2.11: Bombeos de la calzada

Tipo de Superficie	Pendiente Transversal	
	(I ₁₀) < 15 mm/h	(I ₁₀) > 15 mm/h
Pav. de Hormigón o Asfalto	2	2,5
Tratamiento Superficial	3	3,5
Tierra, Grava, Chancado	3 - 3,5	3,5 - 4,0

Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°3

El bombeo en calzadas bidireccionales se puede dar de dos maneras. La primera es aquella que contempla el punto alto en el centro de la calzada, y una sección transversal con vertiente a dos aguas, con la pendiente de la Tabla 2.11.

Esta sección es la más conveniente desde el punto de vista del drenaje, pues minimiza las cantidades de agua que llegan a cada uno de los bordes de la calzada.

Sin embargo, la tendencia actual en el diseño de equipos de pavimentación hace cada vez más frecuente el uso de bombeos a una sola agua, con uno de los bordes de la calzada por encima del otro.

c) Las Bermas

Las bermas son las franjas que flanquean el pavimento de la (s) calzadas (s). Ellas pueden ser construidas con pavimento de hormigón, carpetas asfálticas, tratamiento superficial, o simplemente ser una prolongación de la carpeta de grava en los caminos no pavimentados.

En Pavimentos Asfálticos multicapas, la berma constituirá una prolongación de la carpeta de rodado del pavimento, la que deberá tener un espesor mínimo de 0,05 m el que se mantendrá en la berma.

Las bermas cumplen cuatro funciones básicas: proporcionan protección al pavimento y a sus capas inferiores, que de otro modo se verían afectadas por la erosión y la inestabilidad; permiten detenciones ocasionales; aseguran una luz libre lateral que actúa psicológicamente sobre los conductores, aumentando de este modo la capacidad de la vía, y ofrecen espacio adicional para maniobras de emergencia, aumentando la seguridad.

Para que estas funciones se cumplan en la práctica, las bermas deben ser de un ancho constante, estar libres de obstáculos y deben estar compactadas homogéneamente en toda su sección.

El ancho mínimo normal en Caminos Locales con $V_p=40$ km/h es de 0,5 m, el que en conjunto con el SAP proveen una plataforma mínima absoluta de 8,0 m

A medida que la velocidad y los volúmenes de diseño crecen, también deberán hacerlo las bermas exteriores, hasta contemplar un ancho máximo de 2,5 m, que permite la detención en caso de emergencia de los vehículos sin afectar el tránsito de paso.

Cuando existan pistas auxiliares para tránsito lento, o de cambio de velocidad, la berma derecha puede reducirse a 1,5 m si el TMDA > 750 y a 1,0 m para TMDA < 750. En ambos casos se mantendrá inalterado el SAP especificado para la Categoría y V_p de la ruta.

Los anchos normales de las Bermas se dan en la Tabla 2.9, asociados a la Categoría de la ruta y V_p correspondiente, pudiendo usarse el valor inferior del rango para tránsitos muy moderados en terreno de topografía restrictiva.

En Caminos y Carreteras con calzada pavimentada, ya sea con Hormigón, Asfalto o tratamiento Superficial, las bermas tendrán la misma pendiente transversal que la calzada, ya sea que ésta se desarrolle en recta o en curva

d) Sobreanchos de la Plataforma (SAP)

La plataforma en terraplén tendrá siempre un SAP mínimo de 0,5 m que permita confinar las capas de subbase y base de modo que en el extremo exterior de la berma sea posible alcanzar el nivel de compactación especificado. Consecuentemente, en los 0,5 m exteriores del SAP no se podrá lograr la compactación máxima exigida por el resto de la plataforma por falta de confinamiento y riesgo por pérdida de estabilidad del equipo de compactación autopropulsado

Si la plataforma en terraplén consulta la instalación de barreras de seguridad, el ancho mínimo del SAP será de 0,8 m, con el objeto de anclar el poste a 0,2 m del extremo exterior del SAP y no invadir la berma con la barrera.

La Tabla 2.12 establece la pendiente transversal del SAP, según las distintas situaciones posibles.

Tabla 2.12: Pendiente transversal del SAP

Situación	Pendiente Transversal del SAP
En recta	Siempre = -10 %
Zona transición peralte	$b \leq p \leq 0,0\% = -10\%$
Lado Alto de la curva	$0 < p \leq 3\%$ - Transita entre -10% y -4%
	$p > 3\% = -4\%$
Lado Bajo de la Curva	para todo $p\% = -10\%$

Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°3

e) Pistas Auxiliares Complementarias

En pendientes fuertes de bajada se deberán diseñar Pistas de Emergencia denominadas en este caso “Lechos de Frenado”, si la longitud de la pendiente iguala o supera los valores que se indican en la Tabla 2.14.

Dichas pistas tienen por objeto forzar la detención de un vehículo al que le ha fallado el Sistema de Frenos, mientras bajaba enganchado en una marcha consecuente con la velocidad a la que se desplaza al momento de detectar la falla.

e.1) Distancia entre Lechos de Frenado

Se calculará el distanciamiento entre lechos de frenado considerando las siguientes hipótesis:

- El vehículo tipo considerado corresponde a un Camión con semirremolque

- Se acepta que por tratarse de zonas en que existen este tipo de pendientes, terreno ondulado o montañoso, el Camión se desplazará al momento de detectar la falla, a una Velocidad Inicial $V_o = V_p - 10$ km/h, siendo V_p Velocidad de Proyecto del camino.
- En principio se dispondrán Lechos de Frenado, distanciados uno de otro, o desde el inicio de la pendiente uniforme de bajada (Fin de la curva vertical precedente), toda vez que el camión haya alcanzado una velocidad $V = V_o + 30$ km/h.
- Se considerarán los siguientes Coeficientes de Retención “r”, derivados del efecto de frenaje del motor, que dependen de la Velocidad “ V_o ” a que circula el vehículo al momento de detectar la falla.

Tabla 2.13: Coeficientes de retención frenado

V_p (Km/h)	100	80	60	40
V_o (km/h)	90	70	50	40
R (Km/h)	0,048	0,048	0,052	0,055

Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°3

La Tabla 2.14 entrega los valores de D_m para Velocidades de Proyecto de 100, 80, 60 y 40 km/h.

Tabla 2.14: Longitud en pendiente D_m que puede requerir lechos de frenado

Velocidad de Proyecto V_p (Km/h)	100	80	60	40
Velocidad Inicial V_o (Km/h)	90	70	50	40
Velocidad de Entrada al Lecho V (Km/h)	120	100	80	70
Coeficiente de Retención del Motor : r	0,048	0,048	0,052	0,055
	i (m/m)	Longitud en Pendiente		
	0,05	3000	2500	2500
	0,06	2000	1650	1900
	0,07	1100	900	850
	0,08	..	600	550
	0,09	400
	0,1	280

Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°3

Además de lo expuesto deberán tenerse presente las siguientes condicionantes adicionales:

- Para poder diseñar un lecho de frenado paralelo a la carretera, ésta deberá emplazarse en un tramo recto en planta o a lo más, en curvas horizontales que acepten una Velocidad Específica (V_e), al menos 10 km/h mayor que la velocidad de entrada (V) al Lecho de Frenado.
- Si antes de alcanzar la distancia D_m , medida desde el inicio del tramo que se analiza, existen curvas horizontales cuya V_e es menor que la Velocidad alcanzada por el camión, el Lecho de Frenado deberá construirse antes de llegar a esa curva.
- Por último, si el trazado es recto en planta y tras un desarrollo en el orden de D_m , existe una contrapendiente, también en recta o con curvas amplias, se podrá prescindir del Lecho

de Frenado, si la combinación D_m, i de subida, alcanza desarrollos superiores a los que se indican en la Tabla 2.15. Dicha tabla se calcula mediante la conocida expresión para calcular la Distancia de Frenado (df) pero en vez de emplear el coeficiente de roce longitudinal se emplea el Coeficiente de Retención del motor del vehículo, y el valor de la pendiente de subida se considera como un valor positivo, ya que también ayuda a detener el vehículo, luego:

Tabla 2.15: Longitud de detención en pendiente de subida sobre la carretera Ldc (m)

I m/m	Velocidad de entrada a la pendiente positiva					
	130	120	100	90	80	70
0,01	1023,6	872,2	605,7	490,6	387,6	296,8
0,02	887,1	755,9	524,9	425,2	336	257,2
0,03	782,8	667	463,2	375,2	296,4	227
0,04	700,4	596,8	414,4	335,7	265,2	203,1
0,05	633,7	539	375	303,7	240	183,7
0,06	578,6	493	342,3	277,3	219,1	167,8
0,07	532,3	453,5	315	255,1	201,6	154,3
0,08	492,9	419,9	291,6	236,2	186,6	142,9

Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°3

e.2) Diseño de los Lechos de Frenado

La Longitud Teórica efectiva (L_o) del lecho de frenado se calculará empleando la velocidad de entrada al lecho (V), r_f el coeficiente de roce total que incluye al coeficiente de retención e “i” es la pendiente de la rasante del lecho que se considera positiva si colabora al frenado y negativa en caso contrario.

Luego

$$L_o = \frac{V^2}{254(r_f \pm i)}$$

El coeficiente total de roce r_f según experiencias españolas se puede estimar en 0.485, este es un valor medio, menor al inicio del lecho, que tiene poca profundidad de arena, para evitar un impacto demasiado brusco que pueda inducir un “rebote” o pérdida de control por parte del conductor, el que luego se profundiza hasta lograr que las ruedas se entierren hasta los ejes del vehículo y la parte inferior del motor.

Se recomienda usar un coeficiente de seguridad de 1.25, con lo que la longitud de diseño efectiva del lecho queda dada por:

$$L_f (m) = 1,25 \cdot L_o$$

En la Tabla 2.16 se establece la longitud teórica del lecho del frenado

Tabla 2.16: Longitud teórica L_0 (m) del lecho del frenado

V de Entrada al Lecho Km/h i (m/m)	120	100	80	70
0,12	94	65	42	32
0,1	97	67	43	33
0,08	100	70	45	34
0,06	104	72	46	35
0,04	108	75	48	37
0,02	112	78	50	38
-0,02	122	85	54	42
-0,04	127	89	57	43
-0,05	130	91	58	44
-0,06	133	93	60	45
-0,07	137	95	61	47
-0,08		97	62	48
-0,09			64	49
-0,1				50

Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°3

2.2.2.2 Sección Transversal de la Infraestructura

Se incluirán en esta sección aquellos elementos de perfil transversal que delimitan las obras de tierra en su cuerpo principal: terraplenes y cortes, determinando la geometría de éstos y posteriormente sus volúmenes.

Estos elementos son: la plataforma de subrasante, los taludes de terraplén, las cunetas y los taludes de corte, las obras de contención de tierras y las obras que se realizan en el suelo de cimentación de la carretera o camino.

Se hace notar que las inclinaciones de los taludes, de corte o de terraplén, medidas como razón entre sus proyecciones horizontales y verticales, dependerán casi únicamente de la naturaleza de los materiales de la zona, pudiéndose presentar grandes variaciones según sean las calidades de éstos, fundamentalmente en el caso de los cortes.

a) Sección Transversal de la plataforma de la subrasante

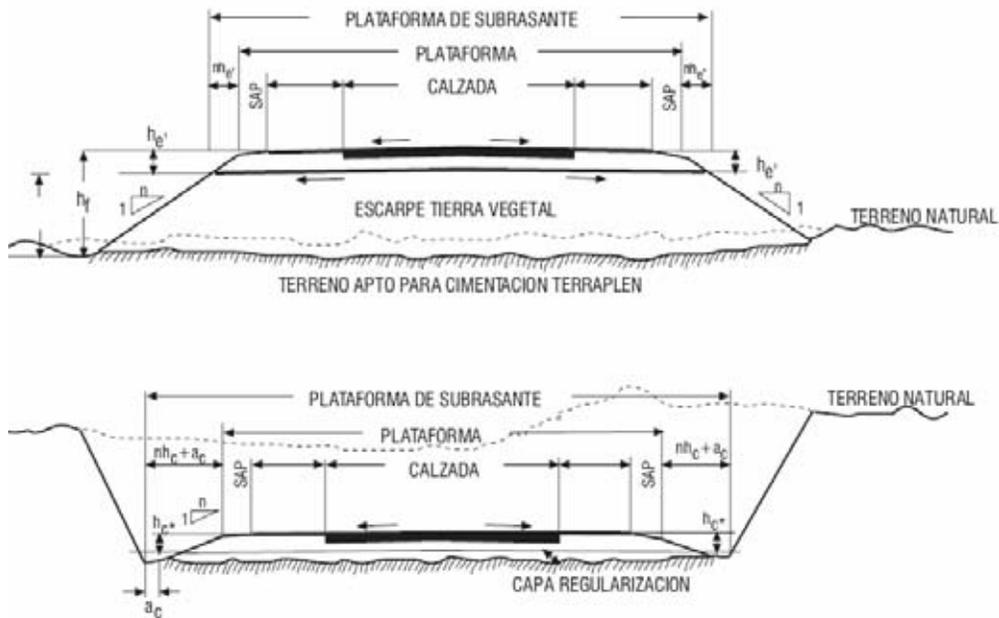
La plataforma de subrasantes es una superficie constituida por uno o más planos sensiblemente horizontales, que delimita el movimiento de tierras de la infraestructura y sobre la cual se apoya la carpeta de rodadura o las diversas capas que constituyen un pavimento superior. Además incluye el espacio destinado a los elementos auxiliares como, bermas, medianas, cunetas de drenaje, etc.

Si el perfil es de terraplén, la plataforma de subrasante queda configurada por los materiales de la última capa del terraplén y su ancho será el de la plataforma (calzadas, bermas, SAP y mediana si la hay), más el espacio requerido para el derrame de las tierras correspondientes a los materiales de subbase y base.

Si el perfil es en corte, la plataforma de subrasante queda constituida por la plataforma a nivel de rasante más el espacio requerido por las cunetas, que se generan a partir de los bordes externos del SAP y continúan con el talud iniciado en el extremo del mismo.

El ancho de la plataforma de subrasante será entonces la suma del ancho de la plataforma, más la proyección horizontal del talud interior y del fondo de las cunetas. Ver Figura 2.7.

Figura 2.7: Plataforma de subrasante



Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°3

b) Elementos de la infraestructura para sección en terraplén

Cuando una carretera o camino discurre en terraplén, los materiales de éste provendrán de las excavaciones hechas en otros puntos del trazado o de yacimientos. En cualquier caso, las características de dichos materiales serán relativamente previsibles y por lo general se podrá anticipar la inclinación máxima admisible de los taludes en función de la altura de los terraplenes. Cuando los materiales lo permitan, los taludes de terraplén con alturas inferiores a 15 metros tendrán una inclinación máxima de 1,5:1 (H:V).

Las normas internacionales exigen barreras de seguridad para taludes con esta inclinación, puesto que consideran que la salida de un vehículo desde la plataforma no puede ser controlada por su conductor si la pendiente es más fuerte que el 4:1.

Cuando se tiene dicho 4:1, la barrera de seguridad se utiliza a partir de los 4,0 m de altura.

Los taludes de terraplenes de alturas mayores de 15 m deben ser objeto de un estudio especializado, del cual surgirá su adecuada inclinación

c) Elementos de la infraestructura para sección en corte

Cuando la vía discurre en corte, las aguas que sobre ella caen, o las que llegan a ella superficial o subterráneamente, no pueden ser eliminadas sino mediante su conducción hacia zonas donde ello es posible.

Esta conducción debe hacerse con la mayor rapidez, para evitar que las aguas fluyan sobre la plataforma o que se infiltren dañando la estructura.

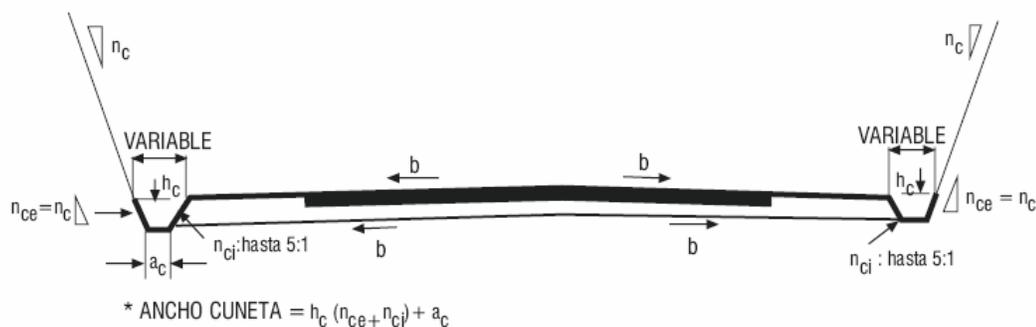
Para ello se recurre a las cunetas, a los drenes subterráneos y a los colectores de aguas lluvia.

Las primeras, situadas entre la plataforma y el talud del corte, recolectan las aguas superficiales. Si su profundidad es suficiente, también pueden dar cuenta en algunos casos, de las aguas subterráneas que amenacen las capas de base y subbase.

Los drenes sólo recogen aguas freáticas o infiltradas a través de la plataforma y de los taludes.

Los colectores de aguas de lluvia se pueden considerar cuando la capacidad de la cuneta es insuficiente para evitar la inundación de una o más pistas durante las precipitaciones de diseño.

Figura 2.8: Sección tipo de cuneta camino montaña



Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°3

La inclinación de los taludes del corte variará a lo largo de la obra según sea la calidad y estratificación de los suelos encontrados. En zonas de grandes nevazones y de formación de hielos conviene considerar inclinaciones menores al lado norte.

Dichas inclinaciones podrán ser únicas en un tramo del trazado, o bien presentar variaciones en un mismo perfil. Esto último en el caso de comprobarse las ventajas técnicas y/o económicas, o de otro tipo, de tal geometría.

Un talud de corte con más de una inclinación se puede dar en dos casos básicos. El primero, cuando la inclinación con la cual él se inicia, a partir del borde exterior del fondo de la cuneta, debe ser disminuida más arriba, tendiéndolo, al existir terrenos de inferiores características estructurales.

El segundo caso se presenta cuando se elige diseñar un talud de corte con bancos intermedios, por ser esta solución, en el caso estudiado, preferible a un talud más tendido, ya sea único o quebrado.

Un talud de corte puede presentar uno o más bancos. El primer escalón, contado desde abajo, queda definido por su ancho, por su pendiente transversal y por la altura entre su borde exterior y

el de la cuneta, o entre el primero y el eje de la carretera, según aconsejen las conveniencias estéticas e hidráulicas en cada caso. Los bancos pueden ser diseñados como permanentes, o transitorios si se prevé que ellos serán cubiertos con materiales desprendidos o derramados desde los siguientes. En ambos, los bancos deben tener un ancho mínimo que es función de las características geológicas del terreno y, en zonas de nevazones frecuentes, de la intensidad de éstas.

Sus inclinaciones transversales deben ser del orden del 4%, vertiendo hacia la pared del corte si son permanentes y no superiores al 5(H): 1 (V), vertiendo hacia la plataforma, si son transitorios.

2.2.2.3 Obras de Protección de Taludes

Los taludes, tanto de terraplén como de corte, están expuestos a los agentes erosivos naturales. De éstos, el más activo y frecuente es el agua. Ella cae directamente sobre sus superficies, o lo hace sobre las adyacentes que vierten hacia ellos. Si no se evita, el agua escurrirá por los taludes, con velocidades cada vez mayores según la altura, dañándolos y elevando los costos de mantenimiento de la obra.

Entre los elementos destinados a controlar y encauzar el flujo de las aguas para evitar daños en los taludes, y que deben proyectarse de acuerdo a los imperativos hidráulicos y de la mecánica de suelos que proceda, cabe mencionar: soleras, fosos y contrafosos. Las plantaciones en el talud confieren protección adicional o complementaria contra la erosión y en ciertos casos resultan indispensables.

a) Fosos

Se denominan “fosos” a los canales laterales que discurren sensiblemente paralelos al pie de los terraplenes y que los preservan de las aguas que escurren superficialmente hacia ellos, ya sea desde la carretera o desde el terreno adyacente.

Un foso puede estar dispuesto inmediatamente próximo al pie del terraplén si ello es necesario por exigencias de espacio y si no se temen socavamientos del mismo pero normalmente se dejará un espacio libre de 1,0 m entre el pie del terraplén y el talud adyacente del foso. En terraplenes bajos, una sección circular amplia para el foso puede añadir a la seguridad de los vehículos accidentalmente salidos de la plataforma.

Las secciones de los fosos pueden ser circulares, triangulares, trapezoidales o incluso rectangulares, dependiendo de posibles condicionamientos geométricos para la sección transversal de la vía y del factor económico en general.

Los fosos deben ser profundizados hasta una cota que quede al menos 0,50 metros por debajo del extremo más próximo de la plataforma de subrasante, y más aún si se prevén inundaciones prolongadas.

Los fosos, por lo general, vierten a cauces preexistentes. Es necesario tener en cuenta que los caudales desaguados pueden significar una importante alteración, aguas abajo del terraplén, si ellos han de discurrir por cauces que antes funcionaban con un régimen muy distinto.

b) Contrafosos

Los contrafosos son canales que se disponen por sobre la cota de coronamiento del corte, con el fin de evitar la llegada de agua, a veces en cantidades importantes y casi siempre con arrastres, a los taludes de corte de una carretera, proveniente de superficies adyacentes que vierten hacia ella. La sección transversal del contrafoso o el número de ellos se ajustará a los volúmenes de agua esperados y a la disponibilidad y tamaño de los equipos de excavación.

Los contrafosos pueden influir sustancialmente en los límites de obra. Esto porque la topografía generalmente obliga a alejarlos del coronamiento del corte o porque este alejamiento es necesario para evitar posibles derrumbes por infiltración.

Dependiendo de sus pendientes, los contrafosos y sus bajadas pueden requerir revestimientos, e incluso disipadores de energía. Los efectos de las descargas sobre la propiedad y el dimensionamiento de las obras deben ser objeto de estudios específicos para cada caso.

2.2.3 Saneamiento y drenaje de la plataforma

El drenaje en una carretera busca eliminar el exceso de agua superficial sobre la franja del camino, restituir la red de drenaje natural, la cual puede verse afectada por el trazado y evitar que el agua subterránea pueda comprometer la estabilidad de la base, de los terraplenes y cortes del camino. Para cumplir estos fines se requiere:

- Estimar la magnitud y frecuencia del escurrimiento producido por las tormentas.
- Conocer el drenaje superficial natural del terreno y restituir aquellos drenajes interceptados por el camino.
- Determinar las características del flujo de agua subterránea, y
- Estudiar el efecto que la carretera tiene sobre los canales y cursos de agua existentes, cuyo trazado deba ser modificado.
- Las obras de drenaje en una carretera abarcan desde pequeñas alcantarillas y cunetas longitudinales hasta obras de drenaje importantes y puentes de gran costo. Cada una de ellas requiere de algún tipo de análisis hidrológico cuya extensión y alcance dependerá del nivel del estudio y de la importancia de la obra.

En la elección del período de retorno, frecuencia o probabilidad a utilizar en el diseño de una obra, es necesario considerar la relación existente entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla aceptable, dependiendo, este último, de factores económicos, sociales, ambientales, técnicos y otros.

La confiabilidad del diseño, representada por la probabilidad que no falle la estructura durante el transcurso de su vida útil, considera el hecho que no ocurra un evento de magnitud superior a la

utilizada en el diseño durante la vida útil, es decir, no debe presentarse un evento de magnitud superior a la usada en el diseño durante el primer año de funcionamiento de la estructura, durante el segundo, y así sucesivamente. Dado que la probabilidad de ocurrencia para cada uno de estos eventos es independiente, la probabilidad de falla o riesgo (r) durante el período de vida útil de la estructura se determina mediante la siguiente expresión, en función del período de retorno (T, años) y la vida útil (n, años):

$$r = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

Esta expresión se encuentra tabulada para algunos valores en la siguiente tabla:

Tabla 2.17: Periodos de retorno y riesgo de falla según vida útil

Riesgo (r,%)	Vida útil (n, años)			
	10	20	25	50
50	15	29	37	73
25	35	70	87	174
10	95	190	238	475
5	195	390	488	975
1	995	1990	2488	4977

Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°3

Teniendo presente los conceptos antes analizados, así como la experiencia nacional y de otros países, se deberán emplear para el diseño de las diferentes obras de drenaje de las Carreteras y de los caminos, como mínimo, los Períodos de Retorno de Diseño que se señalan en la Tabla 2.18. Dichas obras se verificarán también mediante los Períodos de Retorno de Verificación, aceptando en ese caso alturas de agua superiores a las de diseño, pudiendo en algunos casos (terraplenes bajos), ser necesario aumentar la sección útil de la obra para evitar daños en la superestructura de la ruta.

En aquellas obras de grandes dimensiones, cuya eventual falla ante eventos extraordinarios, pueda involucrar el colapso de la infraestructura de la vía, poniendo en peligro la seguridad de los usuarios y/o que puedan causar daños considerables en las zonas aledañas, el proyectista deberá considerar para el diseño al menos, los Períodos de Retorno de Verificación.

Tabla 2.18: Periodos de retorno para diseño

Tipo de Obra	Tipo de Ruta	Periodo de Retorno (T,años)		Vida Util Supuesta (n;años)	Riesgo de Falla (%)	
		Diseño	Verificación		Diseño	Verificación
Puentes y Viaductos	Carreteras	200	300	50	22	15
	Caminos	100	150	50	40	28
Alcantarillas (S>1,75 m2) o	Carreteras	100	150	50	40	28
H terrap.>10 m y	Caminos	50	100	30	45	26
Estructuras Enterradas						

Tipo de Obra	Tipo de Ruta	Periodo de Retorno (T,años)		Vida Util Supuesta (n;años)	Riesgo de Falla (%)	
		Diseño	Verificación		Diseño	Verificación
Alcantarillas (S<1,75 m2)	Carreteras	50	100	50	64	40
	Caminos	25	50	30	71	45
Drenaje de la Plataforma	Carreteras	10	25	10	65	34
	Caminos	5	10	5	67	41
Defensas de Riberas	Carreteras	100		20	18	
	Caminos	100		20	18	

Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°3

La tabla indica también el riesgo de falla de las distintas obras, suponiendo una vida útil como la indicada, supuesto que es bastante representativo de las condiciones usuales.

Es importante recalcar que un valor de diseño correspondiente a un período de retorno de 50 años, tiene en promedio una probabilidad de ser igualado o superado igual a 0,02 en un año cualquiera, sin embargo, la probabilidad que sea igualado o sobrepasado en un período de 10 años sube a 0,1; en un período de 5 años sube a 0,2 y en un período de 2 años sube a 0,5. Es decir, se requiere usar en el diseño un período de retorno alto, para contar con una seguridad de funcionamiento razonable de la obra durante su vida útil.

El drenaje transversal de la carretera se consigue mediante alcantarillas cuya función es proporcionar un medio para que el agua superficial que escurre por cauces naturales o artificiales de moderada importancia, en forma permanente o eventual, pueda atravesar bajo la plataforma de la carretera sin causar daños a ésta, riesgos al tráfico o a la propiedad adyacente. Se entiende por alcantarilla una estructura de drenaje cuya luz mayor, medida paralela al eje de la carretera, sea menor de 6 m. La alcantarilla debe ser capaz de soportar las cargas del tráfico en la carretera, el peso de la tierra sobre ella, las cargas durante la construcción, etc., es decir, también debe cumplir requisitos de tipo estructural.

La adecuada elección de la ubicación, alineación y pendiente de una alcantarilla es importante, ya que de ella depende su comportamiento hidráulico, los costos de construcción y mantenimiento, la estabilidad hidráulica de la corriente natural y la seguridad de la carretera.

En general, se obtendrá la mejor ubicación de una alcantarilla cuando ésta se proyecta siguiendo la alineación y pendiente del cauce natural, ya que existe un balance de factores, tales como, la pendiente del cauce, la velocidad del agua y su capacidad de transportar materiales en suspensión y arrastre de fondo. Cuando se cambia cualquiera de estos factores es necesario compensar con cambios en otro de ellos. Por ejemplo, si se acorta un canal largo, se aumenta la pendiente y como consecuencia, aumenta la velocidad. Un aumento en la velocidad tiene como efecto secundario problemas de erosión, que agrandan la sección hasta que las pérdidas por fricción compensan el aumento de pendiente y reducen la velocidad hasta límites bajo aquellos que producen erosión. En un caso como el expuesto o en general para prevenir la erosión se puede

revestir el cauce, o darle al canal una forma tal que reduzca la velocidad, debido al aumento de la rugosidad.

Al alargar un canal corto ocurre la situación contraria. Se produce una disminución de la pendiente y como consecuencia disminuye la velocidad. Con esto, la capacidad para transportar materiales en suspensión se reduce y éstos se depositan. Para estos casos es necesario tratar de mantener la velocidad original cambiando la forma del canal o disminuyendo la rugosidad.

En la instalación de una alcantarilla deberán anticiparse todos estos cambios para precaverse contra ellos. No pueden sacrificarse ciertas características hidráulicas sólo con el fin de reducir los costos. Sin embargo, a menudo las alcantarillas colocadas siguiendo el cauce natural resultan de gran longitud debido al fuerte esviaje del cauce respecto del eje del camino, condición que da por resultado un alto costo que eventualmente puede ser rebajado.

Las formas usuales de alcantarillas son: circulares, de cajón y múltiples. La alcantarilla circular es una de las más usadas y resiste en forma satisfactoria, en la mayoría de los casos, las cargas a que son sometidas. Existen distintos tipos de tubos circulares que se utilizan con este propósito.

El diámetro para alcantarillas de caminos locales o de desarrollo deberá ser al menos 0,8 m, o bien 1 m si la longitud de la obra es mayor a 10 m. En las autopistas y rutas principales el diámetro mínimo será de 1 m.

Los materiales más usados para las alcantarillas son el hormigón (armado in situ o prefabricado) y el acero corrugado. En la elección del material de la alcantarilla se deben tomar en cuenta la durabilidad, resistencia, rugosidad, condiciones del terreno, resistencia a la corrosión, abrasión e impermeabilidad. No es posible dar reglas generales para la elección del material ya que depende del tipo de suelo, del agua y de la disponibilidad de los materiales en el lugar.

El régimen hidráulico del escurrimiento en las alcantarillas es difícil de predecir, sin embargo, existen dos formas básicas, según la ubicación de la sección que controla hidráulicamente el flujo. Se trata del escurrimiento con control de entrada y aquel con control en la salida, teniendo cada uno de ellos un método de cálculo particular.

La Velocidad en la Salida es en general mayor que la velocidad de escurrimiento en el cauce natural y debe limitarse para evitar la socavación y erosión del cauce hacia aguas abajo. Los valores máximos recomendados se indican en la Tabla 2.19.

Tabla 2.19: Velocidades máximas admisibles en canales no revestidos

Velocidad (m/s)	Flujo Intermitente	Flujo permanente
Arena Fina (no coloidal)	0,75	0,75
Arcilla arenosa (no coloidal)	0,75	0,75
Arcilla limosa (no coloidal)	0,9	0,9
Arcilla fina	1	1
Ceniza volcánica	1,2	1
Grava fina	1,5	1,2
Arcilla dura (coloidal)	1,8	1,4
Material graduado (no coloidal)	2	1,5

Velocidad (m/s)	Flujo Intermitente	Flujo permanente
desde arcilla a grava		
desde limo a grava	2,1	1,7
Grava	2,3	1,8
grava gruesa	2,4	2
desde grava a piedras (bajo 15 cm)	2,7	2,1
desde grava a piedras (sobre 20 cm)	3	2,4

Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°3

2.2.4 Diseño Geométrico Túneles

Los túneles difieren de otras vías, tales como caminos de superficie, en los siguientes aspectos.

- No tienen actividad lateral.
- Las diferencias estacionales son menos marcadas.
- Igual luminosidad o condiciones de iluminación de día y de noche con excepción de portales o zonas de entrada.
- Deben contar con condiciones de seguridad y servicios de emergencia completos y permanentes.

Estas condiciones indican que el diseño de ciertos elementos en un túnel difieren de diseños que se aplican a caminos normales de superficie, sin embargo el diseño geométrico del trazado se hará siguiendo la misma pauta que se utiliza en las carreteras de superficie.

La velocidad de circulación de los vehículos dentro del túnel determinará el diseño geométrico del trazado correspondiente, que se hará de acuerdo a lo establecido en el Manual de Carreteras, Volumen 3.

Para efectos de diseño la velocidad máxima de circulación dentro de un túnel será la que corresponde a la velocidad de proyecto del trazado geométrico de la respectiva carretera, en superficie, reducida en 20 km/h. Así mismo la velocidad mínima de circulación dentro de un túnel será la misma mínima establecida para la carretera exterior correspondiente, si ésta se encuentra definida. En todo caso será deseable que los vehículos comerciales no experimenten un descenso de su velocidad de operación mayor que a 25 km/h, como máximo, respecto de la velocidad máxima señalizada en el túnel, a causa de la pendiente longitudinal, siendo esto especialmente importante en los túneles bidireccionales en que se prohíbe el adelantamiento. De lo anterior se deriva la importancia en cuanto a limitar las pendientes en túneles largos.

2.2.4.1 Trazado en planta

El diseño del trazado en planta de un túnel está sujeto a las mismas limitaciones y recomendaciones generales aplicables al diseño geométrico de un camino, excepto algunas particularidades específicas de los túneles.

El hecho de que los túneles se diseñen con un ancho de bermas limitado y que sus paredes sean verticales o semiverticales, tiene una consecuencia importante en cuanto a la disminución de la

visibilidad, en especial cuando se tiene curvas horizontales hacia la derecha, en el sentido del avance del vehículo. De aquí resulta la necesidad de utilizar radios de curva suficientemente grandes para que se mantenga siempre la visibilidad mínima de parada, ante un obstáculo en la calzada.

Otra recomendación que suele hacerse en relación al trazado en planta es la conveniencia de evitar que el conductor pueda ver la salida del túnel desde una gran distancia, ya que esto tiende a distraer su atención del camino. La forma de conseguir el efecto buscado es diseñar curvas suaves a la entrada y a la salida de los túneles.

2.2.4.2 Trazado en alzado

El diseño del trazado de un túnel está sujeto a las mismas limitaciones y recomendaciones generales aplicables al diseño geométrico de un camino. Sin embargo, resulta necesario tener presentes algunas situaciones que son específicas de los túneles. Uno de los problemas que debe estudiarse en forma más cuidadosa, en el diseño de un túnel, es su saneamiento, ya que es frecuente que en su interior aparezcan filtraciones de agua permanentes u ocasionales. A fin de evitar acumulaciones de agua que pueden ser graves y peligrosas se debe hacer el diseño en alzado dejando pendientes hacia las bocas del túnel no menores de 0.3% a 0,5% y no haciendo curvas cóncavas que podrían embalsar localmente las aguas. En esta forma el saneamiento del túnel se podrá hacer siempre conduciendo las aguas por gravedad hacia el exterior. Coincidiendo con las directrices enunciadas se puede, en algunos casos, obtener una buena solución a la recomendación de evitar la vista directa a las bocas de salida haciendo curvas convexas en uno o ambos extremos según las condiciones de las rasantes de aproximación.

Si por alguna razón, relativa a interferencias con obras existentes, singularidades geológicas u otras causas, resultará inevitable hacer curvas cóncavas dentro del túnel, se deberá prestar especial atención a la limitación de visibilidad (debido al techo del túnel o al cielo falso si lo hay) y a asegurar la evacuación de las aguas hacia el exterior.

La pendiente longitudinal de los túneles es una variable crítica que influye sobre la velocidad de operación del conjunto de vehículos, en especial en túneles bidireccionales en que se prohíbe el adelantamiento, quedando la velocidad controlada por la de los camiones. Por otra parte, a mayor pendiente, mayor producción de gases tóxicos y de humos, lo que requiere de sistemas de ventilación de mayor costo.

2.2.4.3 Sección transversal

La sección transversal de un túnel bidireccional debe tener el ancho suficiente para que se crucen dos camiones con un adecuado rango de seguridad. En ductos unidireccionales se deben asegurar las mismas condiciones de seguridad en relación a los adelantamientos. Todos los túneles carreteros se diseñarán con 2 pistas, como mínimo.

Se considera que se deben seguir como mínimo las siguientes condiciones de diseño para un túnel.

Dimensiones Mínimas de la Sección Transversal:

Gálibo vertical: 5 m o mayor, si se requiere

Ancho de pistas: 3,5 m c/u.

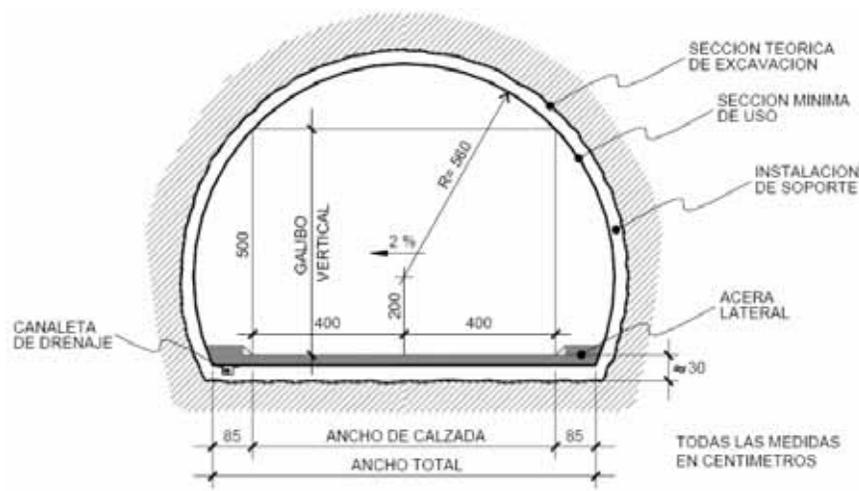
Bermas: 0,5 m a cada lado de la calzada

Aceras laterales: 0.75 a 0.85 m. Pueden aceptarse excepciones justificadas

Pendiente transversal única: 2%

La Figura 2.9 muestra la figura básica de sección transversal la que deberá ser adaptada a las condiciones de cada proyecto en especial las relativas a ventilación e iluminación.

Figura 2.9: Sección mínima transversal del túnel



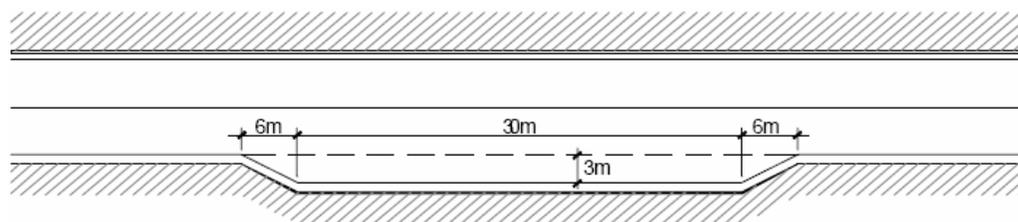
Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°3

El diseño de la sección transversal puede considerar paredes verticales para situaciones especiales a definir por el proyectista. Las nuevas tendencias mundiales de diseño generan proyectos con paredes semicirculares, lo cual junto al factor estético y de amplitud aparente, otorga una mejor estabilidad al conjunto.

En los túneles, los nichos de estacionamiento de emergencia se construyen para posibilitar el aparcamiento de vehículos en caso de emergencia. Eventualmente estos ensanches pueden acomodar instalaciones técnicas. Su diseño debe considerarse de acuerdo a lo indicado en la figura adjunta. Estas áreas deben estar especialmente iluminadas y señalizadas.

En túneles de más de 1.000 metros, se deberá diseñar nichos de estacionamiento de emergencia de tal manera que la distancia máxima entre ellos (o la salida o entrada del túnel) no sea mayor que 1.000 m. Dichos nichos tendrán la geometría que se indica en la figura respectiva.

Figura 2.10: Dimensiones nichos de emergencias



Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°3

Debe considerarse en todo diseño de túnel a lo menos una instalación como la señalada cada 1.000 m de distancia y debe proyectarse esta localización de emergencia a ambos lados, aunque no en el mismo sitio, es decir, en forma alternada una respecto a otra.

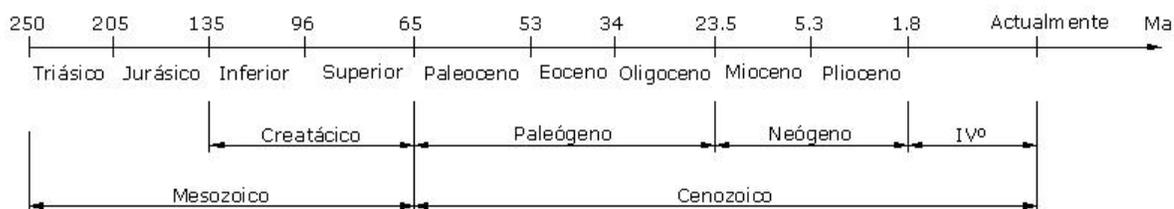
2.3 MARCO GEOLÓGICO

2.3.1 Geología

“La Geología es la ciencia que estudia la formación y composición de nuestro Globo Terrestre y las fuerzas que trabajan en transformar la superficie de la tierra. La geología dinámica se ocupa de la descripción de estas fuerzas que, según su origen, se clasifican en fuerzas endogénicas, que tienen su asiento en el interior de la tierra, así el volcanismo, los temblores y los procesos tectónicos los cuales causan los movimientos y dislocaciones de la costra terrestre. Y en fuerzas exogénicas, de origen cósmico que provienen en su mayor parte del calor del sol, al cual se debe el ciclo de las aguas, el viento, etc.; menos importancia tiene la influencia la luna, por medio de las mareas”. (BRÜGGEN, 1929)

La geología se encarga de estudiar todos aquellos cambios que ha experimentado la Tierra a lo largo del tiempo. Los procesos son muy lentos, tanto que normalmente no son observables en la escala de tiempo humana. Debido a esto los científicos han creado una escala de tiempo geológico que divide esos largos periodos de tiempo en unidades un poco más manejables. La Figura 2.11 resume los últimos períodos:

Figura 2.11: Edades geológicas

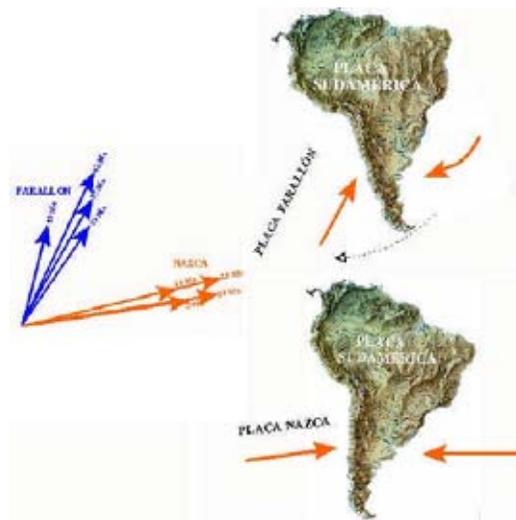


2.3.1.1 Marco Geotécnico

La principal característica de la evolución Meso-Cenozoica de los Andes Centrales es la persistencia de un borde de subducción activo y permanente desde al menos el Triásico y la manera de como la Placa Oceánica Pacífica (Farallón, entre 180 a 26 Ma, y posteriormente Nazca, desde los 20 Ma al actual) se subducta bajo la Placa Sudamérica.

En efecto, desde hace unos 180 Ma a la fecha y hasta más o menos los 26 a 20 Ma, es decir, cerca del 90% del tiempo de vida del dispositivo geotectónico, el borde sudamericano occidental (borde andino) se ha encontrado sometido a un régimen de subducción activa con un vector de bajo ángulo de convergencia entre las Placas Farallón y Sudamérica, de modo que la colisión entre las dos placas no es ortogonal sino que con un ángulo bastante bajo (Figura 2.12).

Figura 2.12: Diagrama de convergencia de placas

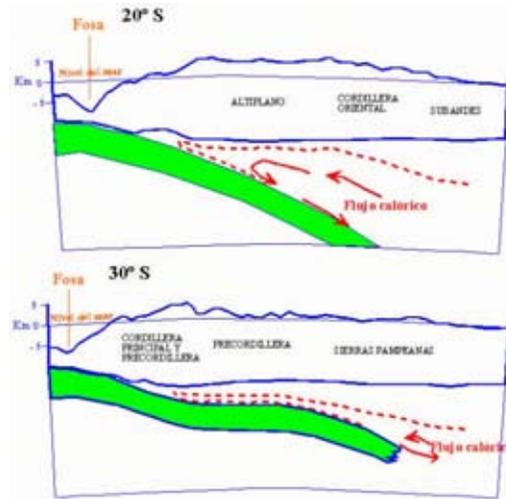


Fuente: Arcadis Geotécnica. Captura Información Geológica – Geotécnica para Proyecto Nueva Andina. Geología Regional. (2005)

Este modelo de subducción explica en gran parte la evolución mesocenoica de Chile Central, por lo menos hasta el Oligoceno Superior e inicios del Mioceno (alrededor de los 20 - 26 Ma), la que es caracterizada por un proceso de “erosión por subducción” del margen continental con una fuerte componente de falla de rumbo dextral en el borde de la Placa Sudamérica y rotación de bloques corticales en sentido horario

Por otra parte, la zona de estudio se ubica sobre el límite entre dos segmentos de la placa subductada actual (Placa Nazca), la que se hunde con distinta inclinación bajo la Placa Sudamérica (Figura 2.13).

Figura 2.13: Esquema del cambio de ángulo o de subducción de la placa de Nazca entre los 20° y 30° Latitud Sur.



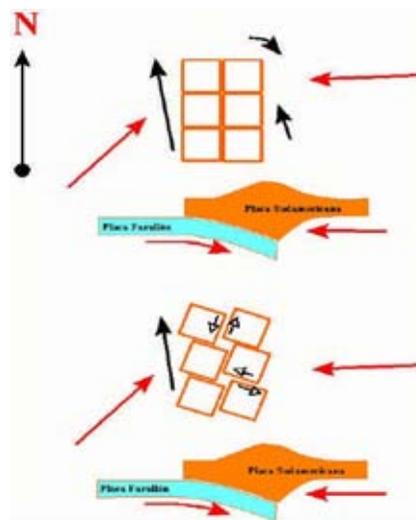
Fuente: Arcadis Geotécnica. Captura Información Geológica – Geotécnica para Proyecto Nueva Andina. Geología Regional. (2005)

Esta segmentación habría ocurrido sólo a partir del Mioceno Superior-Plioceno y bajo un régimen de convergencia de placas bastante más frontal que el que tuvo lugar durante toda la vida de la Placa Farallón (Figura 2.12), de tal modo que se puede concluir que hacia el límite Oligoceno-Mioceno habría tenido lugar un importante quiebre en la evolución andina.

Dado que ahora la subducción es casi ortogonal, la placa de Nazca se hunde más rápidamente bajo la placa sobreyacente y se produce así el inicio del magmatismo miocénico o de Farellones a todo lo largo de la zona de subducción. El magma asciende entonces por las zonas de menor presión, definidas por las orientaciones NNE, NW y NS heredadas del anterior esquema de subducción (Placa Farallón).

En la Figura 2.14 se explica la creación de fallas conjugada destrales para un cizalle sinistral del bloque continental en la zona de subducción al ser arrastrado hacia el norte por el vector de convergencia resultante de una subducción oblicua de la placa Farallón.

Figura 2.14: Creación de fallas conjugadas



Fuente: Arcadis Geotécnica. Captura Información Geológica – Geotécnica para Proyecto Nueva Andina. Geología Regional. (2005)

2.3.2 Geomorfología

“Es la ciencia que estudia las formas del relieve terrestre; pues, según las partículas que componen el término, "geo" es tierra, "morfo" es forma y "logía" es tratado o estudio. Por lo tanto, esta ciencia se remite sólo al estudio de la topografía terrestre. En otras circunstancias, en el estudio de los paisajes de otros astros deberá omitirse el término "geo", y se podrá decir, por ejemplo, morfología de la luna, morfología de marte, etc. En esos casos, se supone, que habrá toda otra serie de factores muy diferentes a los de la tierra que han dado lugar a la fisonomía de los paisajes en dichos astros” (SANTIAGO).

Se debe entender al relieve como el conjunto de deformaciones, desniveles e irregularidades de la superficie del terreno, que define una sucesión de interfluvios y vaguadas. Por otra parte, el objetivo de la geomorfología, es el inventario explicativo y prospectivo de las formas del relieve terrestre. Para lograr esta explicación se debe observar y describir las formas del relieve terrestre, explicar los procesos de su génesis, interpretar su desarrollo y predecir su evolución. Por tanto, se puede definir a la Geomorfología como la disciplina que estudia el relieve de la superficie terrestre describiendo analíticamente sus formas y procesos generadores a fin de explicar su origen e interpretar su dinámica.

2.3.3 Riesgos Geológicos

En la aceptación más amplia, según Ayala (1988), un riesgo geológico es: “Todo proceso, situación o suceso en el medio geológico, natural, inducida o mixta, que puede generar un daño económico o social para alguna comunidad, y en cuya predicción, prevención o corrección han de emplearse criterios geológicos”. De acuerdo con ésta definición, se ha elaborado tres grandes tipos de Riesgos Geológicos, clasificados de acuerdo a su origen: Los Naturales, los Inducidos y los Mixtos. Los Naturales se estructuran en dos grandes grupo de acuerdo a su génesis: los Procesos Geodinámicos internos, como los Terremotos, y los Externos, como los movimientos de Ladera. La Tabla 2.20 muestra los tipos de riesgo:

Tabla 2.20: Tipos de riesgos geológicos

RIESGOS GEOLÓGICOS	
NATURALES	INTERNOS
	Volcanes
	Terremotos
	Tsunamis
	Diapiros
	EXTERNOS
	Movimientos de Ladera
	Subsidencias Naturales
	* Kárstica
	* Licuefacción
Dunas	
Inundaciones (Geoclimáticos)	

RIESGOS GEOLÓGICOS	
MIXTOS	<p>MIXTOS</p> <p>Erosión-Sedimentación</p> <ul style="list-style-type: none"> * Continental * Costera <p>Radioactividad Natural</p>
INDUCIDOS	<p>INDUCIDOS</p> <p>Rotura de presas y escombreras</p> <p>Subsiciencias inducidas</p> <ul style="list-style-type: none"> * Hídricas * Minera <p>Riesgos mineros</p> <p>Riesgos Geotécnicos</p> <p>Agotamiento y pérdida de recursos geológicos</p> <p>Contaminación de agua y suelo</p>

Fuente: AYALA (1988)

En cuánto al Riesgo Geológico, éste ha sido definido por Row, 1977 (in Ayala, 1988) como el producto de la Probabilidad de Ocurrencia de un Peligro por el Valor de Daño, de modo que éste se mide en unidades monetarias. El U.S. Geological Survey lo tipifica mediante la siguiente ecuación:

$$R = P_c \cdot C_{(V)} \quad \text{en que} \quad R: \text{Riesgo Geológico}$$

P_c : Probabilidad de ocurrencia

$C_{(V)}$: Valor del daño

El uso del concepto anterior se justifica sólo en aquellos estudios en que se realizan valoraciones económicas de los daños esperados, de modo que, en la gran mayoría de los casos y en particular en el presente estudio, el término de Riesgo Geológico se usa como sinónimo de Peligro o Peligrosidad Geológica.

Se debe, además, establecer la diferencia entre Riesgo Declarado o Real y Riesgo Potencial. Un riesgo Declarado o Real se refiere a un fenómeno o proceso que se ha producido en el pasado y de los cuales subsisten evidencias que permiten identificarlo. El reconocimiento de Riesgos Declarados se sustenta sobre la base de levantamientos geológicos y geomorfológicos, así como la recopilación de antecedentes de fenómenos anteriores.

Un Riesgo Potencial se refiere a un fenómeno o proceso susceptible de producirse bajo determinadas condiciones geomorfológicos, climatológicas, sedimentológicas, sismológicas o de otra naturaleza. El reconocimiento de Riesgos Potenciales se realiza a través del análisis de factores propicios que podrían favorecer la ocurrencia de un determinado fenómeno tales como el fracturamiento de la roca, aguas lluvia, permeabilidad de los suelos, etc.

Los conceptos anteriores están considerados en la predicción, que es la definición en el espacio (localización), el tiempo (momento), el desarrollo y la intensidad de un riesgo geológico. “El instrumento fundamental de la predicción es la Cartografía de Riesgos” (Ayala, 1988).

A continuación se describen algunos de los riesgos geológicos mencionados, dando mayor interés a los que serán de utilidad, vale decir a los riesgos que se producirían al hacer el trazado en alta montaña, tales como erosión-sedimentación, deslizamientos, desprendimientos, flujos y avalanchas

Los deslizamientos de laderas, desprendimientos de rocas y aludes de nieve son algunos de los procesos geológicos más comunes en la superficie de la Tierra. Forman parte del ciclo natural del terreno ya que la erosión y la gravedad actúan constantemente para transportar materiales de las zonas más altas hacia abajo.

Los factores que definen y caracterizan a los movimientos de laderas se pueden establecer dos grandes grupos:

Factores intrínsecos al material, como son su litología, estructura, propiedades físicas, comportamiento hidrogeológico, propiedades geomecánicas, estados tenso-deformaciones, etc.

Factores externos que actúan sobre el material dando lugar a modificaciones en las condiciones iniciales de laderas taludes, como la aplicación de cargas estáticas, cargas dinámicas, cambios en las condiciones hidrogeológicas, factores climáticos, variaciones en la geometría del talud, etc.

El factor más importante, obviamente, es la propia morfología del terreno, aunque no necesariamente esta ha de ser abrupta o muy accidentada. A partir de esta condicionante previo los distintos factores comienzan a conjugarse a influirse mutuamente, dando lugar a una concentración de tensiones en partes determinadas del talud que pueden acabar produciendo la rotura total o parcial del mismo.

Se han establecido cuatro grupos dentro de los movimientos que pueden tener lugar en laderas o taludes:

- deslizamientos
- desprendimientos
- avalanchas
- flujos

Deslizamientos: Los deslizamientos son movimientos gravitacionales de masa de roca o suelo que deslizan sobre una o varias superficies de rotura al superarse la resistencia la corte en estos planos. La velocidad de los desplazamientos pueden ser muy variables, pero en general son procesos rápidos que pueden alcanzar inmensas proporciones (millones de metros cúbicos) y resultan devastadoras.

Este tipo de movimientos puede ocurrir en una gran variedad de materiales, estando controladas, las diferentes tipologías, por factores como la litología y la estructura. (Ayala, 1988).

Desprendimientos: Se define como la caída de bloques de material de un talud, individualizados por planos de rotura, con caída libre el menos en parte de su recorrido. El material se deposita a cotas más bajas o al pie del talud.

Generalmente este mecanismo ocurre en taludes escarpados, y puede estar motivado por diversas causas. Los planos de rotura suelen ser superficies de estratificación, siendo su inclinación superior a su ángulo de fricción y teniendo salida libre a la cara del talud. La superficie de rotura que individualiza al bloque verticalmente puede ser una discontinuidad preexistente, o una grieta de tracción provocada por el estado tensional a que está sometido el material. En el caso de erosión del pie, por diferente competencia de los materiales presentes, estas grietas son provocadas por la pérdida de sustentación del bloque que sobresale.

La pérdida de resistencia y apertura de las superficies de discontinuidad es motivada, en una gran mayoría de los casos, por la presencia de agua en las mismas, dando lugar a la creación de presiones intersticiales que actúan sobre el bloque o, por congelación, el aumento de apertura, provocando empujes en el bloque aislado.

La caída de bloques puede ocurrir también en materiales con estratificación favorable a la estabilidad, en caso de erosión de los niveles infrayacentes a las capas más competentes.

Un tipo especial de caída de bloques lo representa la rotura por vuelco. En éste caso la estratificación es contraria al talud, y con familias de juntas las que individualizan a los bloques provocando el vuelco de los mismos, por acción de la gravedad, que van dejando sin soporte a los sucesivos bloques.

En el caso de suelos, sin superficies netas de estratificación ni juntas, la caída se realiza condicionada por grietas de desecación o de tracción que individualizan al material en columnas que quedan sin ningún soporte lateral; la caída es provocada por la concentración de tensiones que se producen.(Ayala, 1988).

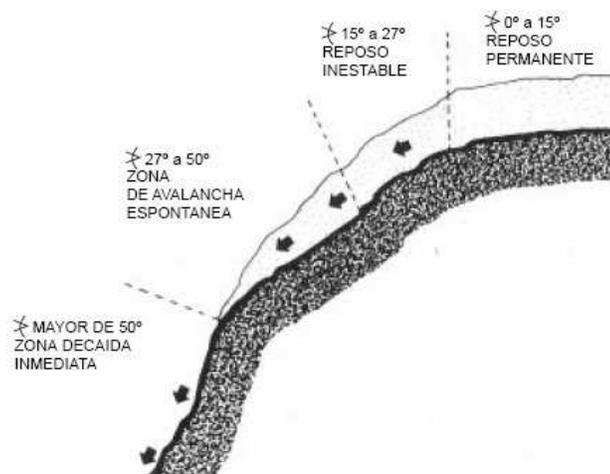
Avalanchas: Según la Asociación Chilena de Seguridad (ACHS), se entiende por avalancha el escurrimiento de nieve que desciende por la ladera de una montaña y que en la medida que avanza va aumentando progresivamente su velocidad. En algunos casos se han observado velocidades superiores a 360 km/h. El efecto destructor de las grandes masas de nieve que pueden arrastrar piedras y otros materiales a tales velocidades, es muy grande. Ocurren en aquellos lugares de la montaña que reúnen condiciones favorables para que se produzcan. El riesgo de que ocurran depende de parámetros fijos y variables.

Los parámetros fijos son aquellos que resultan de la configuración física o topográfica del lugar. Se pueden mencionar los siguientes:

1. Pendiente de la ladera: Es fundamental porque determina la estabilidad básica del manto de nieve. Si es menor de 15°, es muy poco probable que haya riesgo. La nieve se acumula y permanece en su sitio. Si la pendiente está comprendida entre 15° y 27°, la nieve acumulada

puede ser puesta en movimiento por la acción de otros agentes y, una vez en movimiento, ya no se detiene. Entre 27° y 50° la nieve se acumula inicialmente, pero una vez que los cristales cambian de forma, debido a cambios en las condiciones atmosféricas, la nieve se pone en movimiento espontáneamente, sin requerir estímulo exterior. Si es mayor que 50° no puede acumularse y cae al valle a medida que se deposita. Ver Figura 2.15.

Figura 2.15: Inestabilidad de la nieve



Fuente: Asociación Chilena de Seguridad (ACHS).

2. *Rugosidad del Suelo*: La aspereza del terreno crea obstáculos naturales, al formar cavidades de retención o anclaje que aumentan el coeficiente de rozamiento entre la nieve y el terreno, permitiendo mayores alturas de acumulación siempre que la capa de nieve sea homogénea y cohesionada.

3. *Perfil del Terreno*: Las laderas generalmente no son continuas o de pendiente uniforme, frecuentemente tienen quiebres o aun, áreas cóncavas o convexas que tienen importancia, pues influyen en las mayores o menores cantidades de nieve acumulada.

4. *Altitud*: La altitud de las zonas de acumulación es importante, especialmente por razones de la temperatura imperante. Esta es variable según las condiciones meteorológicas. La posición de la isoterma “cero” influye fuertemente en la estructura de la nieve y de la mayor o menor probabilidad de que se ponga en movimiento.

5. *Ubicación Geográfica*: El soleamiento y la exposición a los vientos dominantes influyen fuertemente en el comportamiento de la nieve ya depositada.

Los parámetros variables son los que afectan la estructura y cohesión de la nieve modificando su estabilidad.

1. *Estructura*: La nieve recién caída tiene el conocido aspecto de cristales de hielo en forma de laminillas hexagonales de formas caprichosas, por lo que, una capa de nieve recién caída, es una masa muy porosa en estado de inestabilidad termodinámica, en la que el agua se encuentra en sus tres “estados” físicos: sólido o hielo, líquido y gaseoso o vapor de agua. Al existir diferencias de temperatura en las distintas capas de la nieve, causadas por el ciclo día/noche y acentuadas en los

días de sol; el vapor de agua existente entre cristales, condensa en aquellos más fríos y se evapora de los más templados. Este proceso hace que desaparezcan los cristales laminares entrelazados y se transformen en gránulos de hielo redondeados e independientes, mucho más fáciles de poner en movimiento.

2. *Temperatura*: La temperatura es importante en el proceso de metamorfización ya descrito, debido a su influencia en la tensión de vapor del hielo. También, especialmente cuando se acerca o sobrepasa el punto de fusión del hielo, determina la presencia de una mayor o menor cantidad de agua líquida en la nieve, que influye en sus posibilidades de ponerse en movimiento.

3. *Viento*: Altera la ubicación de los depósitos iniciales de la nieve al transportarla y redepositarla en otros lugares. Durante este proceso se altera la calidad del grano caído, ya que al transportarlo y hacerlo rodar, el grano es redondeado y endurecido.

2.4 TECNOLOGÍAS CARPETAS DE RODADO

2.4.1 Pavimento Asfáltico

Pavimento compuesto de una capa de áridos envueltos y aglomerados con betún asfáltico, de espesor mínimo de 25 mm, sobre capas de sustentación como base granular, asfáltica, hormigón o pavimento de bloques

El asfalto no contribuye sustancialmente a la resistencia mecánica de la superficie, la carga se transmite a través de los áridos a las capas inferiores, donde son finalmente disipadas.

Ventajas

- El asfalto puede sellar la superficie del camino contra el exceso de agua fluyente, si el material granular está correctamente graduado.
- La buena combinación del asfalto y las partículas granulares puede producir una excelente textura superficial de conducción segura y marcha suave.
- Los pavimentos asfálticos son flexibles y pueden ajustarse a los posibles asentamientos de la base.
- El sol, el viento y las variaciones de temperatura afectan a los materiales bituminosos, por lo tanto una buena elección de materiales y un buen plan de conservación pueden mantener la flexibilidad y propiedades ligante del asfalto.
- Se construirá únicamente cuando la temperatura ambiente sea superior a 15° C para asfaltos cortados y el tiempo no sea brumoso y lluvioso. Las mezclas con emulsión no deberán prepararse cuando la temperatura ambiental sea inferior a 10° C o cuando exista la posibilidad de lluvia inmediata.

2.4.2 Estabilizado con Cloruro de Sodio

Ventajas

- El NaCl o Sal es un estabilizante natural, de bajo costo, por lo que la estabilización de caminos con este producto es una solución económica como proyecto vial.
- Un camino tratado con NaCl minimiza el fenómeno producido una vez terminado el proceso de estabilizado, de piedrecillas a nivel de superficie, propias del suelo tratado a causa de una reacomodación de las partículas finas dentro de los espacios vacíos que hayan quedado en la carpeta, debido a que la Sal una vez que comienza el secado del suelo se recristaliza y rellena los huecos entre las diversas partículas del suelo, previniendo así el encogimiento de la carpeta.
- El NaCl permite retardar la evaporación de la mezcla agua-producto incorporada al suelo en el proceso de estabilizado debido a que eleva la tensión superficial del agua de amasado, otorgando un margen de tiempo mayor a las operaciones constructivas.
- La Sal aumenta la impermeabilidad de la carpeta, con una notable disminución de la erosión causada por las aguas superficiales.
- El NaCl le proporciona a los caminos una gran densidad y estabilidad, permitiendo mejorar su resistencia a la tracción y compresión. Todo esto contribuye a tener una superficie de rodado que es capaz de soportar el paso de los vehículos sin deformarse, perder estructura, ni levantar polvo, manteniendo por mucho tiempo las buenas condiciones de transitabilidad.
- Caminos tratados con Sal demuestran una reducción del material fino en suspensión (polvo) de un 99%, otorgando mejor visibilidad y por ende seguridad al usuario del camino.
- El tránsito no se interrumpe durante la ejecución de las obras de estabilizado ni durante el periodo de fragüe de la carpeta (10 a 15 días dependiendo del clima).
- Caminos tratados con Sal demandan mantención mínima, su reparación es sencilla y económica.
- El desgaste de carpetas tratadas con Sal es lento, lo que permitirá tener siempre un camino en buenas condiciones de tránsito.
- En la construcción de caminos, el económico costo de la Sal permite la utilización de materiales de baja capacidad de soporte.
- La Sal reduce el punto de congelamiento del suelo a nivel de superficie entregando mayor seguridad los usuarios del camino.
- La elaboración de caminos con NaCl no reviste riesgos a la salud de las personas.

Desventajas

- Caminos tratados con Sal presentan déficit de estabilidad a la inmersión en agua: El Cloruro de Sodio (NaCl) al ser altamente soluble en agua ante eventos climáticos como lluvias persistentes, nieve y deshielos genera que a nivel de superficie de caminos tratados con este producto se comience a desarrollar el ablandamiento del sustrato (por lavado del producto) con esto la formación de lodo y pérdida de estructura, provocando superficies inestables que incrementan el riesgo de deslizamiento de los vehículos.
- Caminos tratados con Sal demandan un control absoluto del sistema de drenaje adoptado en vías: debido a la alta solubilidad de la Sal, se deberá chequear periódicamente y estrictamente después de un evento climático que desarrolle agua, bombeos, peraltes y canaletas entre otros.
- La construcción de caminos con Sal demanda además de la maquinaria típica utilizada en este tipo de obras, un camión salero (costo agregado). A esto se suma el control de tiempo del producto al interior del equipo, ya que después de 12 hrs la Sal se comienza a solidificar, dando forma a bloques que impedirán el correcto funcionamiento del camión salero.

2.4.3 Estabilizante de suelo PennzSupress`D (PSD)

Es un polímero orgánico de origen vegetal, que se compone de aglomerantes, preservantes y de una resina muy viscosa derivada del petróleo. PSD altamente higroscópico (absorbente), al entrar en contacto con el agua reacciona actuando como un catalizador que al penetrar en el suelo ocupa los espacios vacíos existentes entre los granos, transformándose a medida que pierde humedad (secado natural) en un gel, que gracias al alto índice de carbón que contiene la resina que lo formula, liga a las partículas de suelo, permitiendo conseguir de ésta manera por medio de un proceso de intercambio iónico una estructura sólida, de mayor densidad, estabilidad, resistencia y capacidad de soporte.

Propiedades de desempeño del producto

- El Rendimiento operativo diario en faena de estabilizado considerando condiciones normales de clima con un equipo entrenado y certificado es de 6.000 m².
- La capacidad de soporte de carga otorgada por el estabilizante se ve aumentado en un 50%, vale decir, un suelo con valores de CBR promedio de 10-12 Kg/cm² alcanza como mínimo una vez que ha sido tratado PSD una capacidad de soporte de 15-18 Kg/cm².
- PSD elimina la emisión de polvo en un 100%.
- El comportamiento ante los cambios de humedad se mantiene en el sustrato o capa sobre la cual se aplica, no generándose un efecto de lavado o variabilidad en sus propiedades ante cambios de humedad.

- Caminos estabilizados con PSD han demostrado que facilita el resquebrajamiento y dispersión de las placas de hielo superficiales que se forman sobre el camino.
- Buen comportamiento frente a la inmersión, el estabilizante se mantiene por largos periodos de tiempo en el sustrato o capa sobre la cual se aplica, sin manifestar ablandamiento del suelo, en caso de lluvias no se genera un efecto de lavado del producto por lo que no se produce superficies jabonosas.

Al ser analizado el producto PSD, según Zapata (2004), alcanza valores satisfactorios en pruebas in-situ y comparándolo con el cloruro de sodio (producto actualmente empleado en el estabilizado del camino industrial de Andina), se tienen las siguientes conclusiones expresadas en la Tabla 2.21.

Tabla 2.21: Comparación estabilizantes de suelo

Descripción	Productos estabilizantes de suelo	
	Cloruro de Sodio (NaCl)	PennzSupress`D (PSD)
Características estructurales de la carpeta	Estructura Flexible	Estructura Flexible
Estabilidad	Producto altamente soluble en agua por lo que ante eventos climáticos como lluvias persistentes, nieves y deshielos genera que a nivel de superficie se comience a desarrollar el ablandamiento del sustrato dando formación de lodo y pérdida de estructura.	Producto altamente resistente a la inmersión en agua, se mantiene por largos periodos de tiempo en el sustrato o capa sobre la cual se aplica, sin manifestar ablandamiento del suelo, en caso de lluvias no se genera un efecto de lavado del producto por lo que no se produce superficies jabonosas.
Características de confortabilidad y seguridad en periodos de invierno	La Sal reduce el punto de congelamiento del suelo a nivel de superficie	Facilita el resquebrajamiento y dispersión de las placas de hielo superficiales que se forman sobre el camino, además debido a su gran estabilidad bajo agua no genera lodo y por ende superficies resbaladizas
Control de emisión de polvo	Caminos tratados con Sal demuestran una reducción del material fino en suspensión (polvo) de un 99%, otorgando mejor visibilidad y por ende seguridad al usuario del camino	PSD reduce la emisión de polvo en un 100%
Costo de estabilizar 25 Km de camino	\$ 336.541.250 (Asociados a efectos corrosivos) \$102.253.290 (Costo directo)	\$ 192.278.170 (Dosificación óptima) \$ 226.937.370 (Dosificación estándar)
Costo por mantención (25 Km)	Luego de terminado el periodo de invierno (Agosto) es necesario regar el camino industrial diariamente para combatir el polvo en suspensión, tal operación demanda un costo de \$ 3.128.000	\$ 9.960.000 Aprox.

Fuente: Memoria de Titulación, “Análisis de alternativas de suelo para el camino industrial de Codelco Chile División Andina”. Zapata. (2004).

2.5 SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (SEIA)

El Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), creado por la Ley N° 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente, constituye el instrumento de gestión ambiental de carácter preventivo, cuyo objetivo central es determinar, previo a su ejecución, si el impacto de un determinado proyecto o actividad se ajusta a las normas vigentes.

En efecto, el artículo 8 de la citada Ley establece que aquellos proyectos que se someten al SEIA "...solo podrán ejecutarse o modificarse previa evaluación de su impacto ambiental". Asimismo, en su artículo 9° establece que "las Declaraciones de Impacto Ambiental o Estudios de Impacto Ambiental se presentarán, para obtener las autorizaciones correspondientes, ante la Comisión Regional del Medio Ambiente de la Región en que se realizarán las obras materiales que contemple el proyecto o actividad, con anterioridad a su ejecución".

A continuación se cita Los Proyectos Susceptibles al ingreso del SEIA

Art. 10. Los proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualquiera de sus fases, que deberán someterse al sistema de evaluación de impacto ambiental, son los siguientes:

- a) Acueductos, embalses o tranques y sifones que deban someterse a la autorización establecida en el artículo 294 del Código de Aguas, presas, drenaje, desecación, dragado, defensa o alteración, significativos, de cuerpos o cursos naturales de aguas;
- b) Líneas de transmisión eléctrica de alto voltaje y sus subestaciones;
- c) Centrales generadoras de energía mayores a 3 MW
- d) Reactores y establecimientos nucleares e instalaciones relacionadas
- e) Aeropuertos, terminales de buses, camiones y ferrocarriles, vías férreas, estaciones de servicio, autopistas y los caminos públicos que puedan afectar áreas protegidas
- f) Puertos, vías de navegación, astilleros y terminales marítimos
- g) Proyectos de desarrollo urbano o turístico, en zonas no comprendidas en alguno de
- h) los planes a que alude la letra siguiente
- i) Planes regionales de desarrollo urbano, planes intercomunales, planes reguladores Comisión Nacional del Medio Ambiente 4 comunales, planes seccionales, proyectos industriales o inmobiliarios que los modifiquen o que se ejecuten en zonas declaradas latentes o saturadas
- j) Proyectos de desarrollo minero, incluidos los de carbón, petróleo y gas, comprendiendo las prospecciones, explotaciones, plantas procesadoras y disposición de residuos y estériles, así como la extracción industrial de áridos, turba o greda
- k) Oleoductos, gasoductos, ductos mineros u otros análogos
- l) Instalaciones fabriles, tales como metalúrgicas, químicas, textiles, productoras de materiales para la construcción, de equipos y productos metálicos y curtiembres, de dimensiones industriales

- m) Agroindustrias, mataderos, planteles y establos de crianza, lechería y engorda de animales, de dimensiones industriales
- n) Proyectos de desarrollo o explotación forestales en suelos frágiles, en terrenos cubiertos de bosque nativo, industrias de celulosa, pasta de papel y papel, plantas astilladoras, elaboradoras de madera y aserraderos, todos de dimensiones industriales
- o) Proyectos de explotación intensiva, cultivo, y plantas procesadoras de recursos hidrobiológicos
- p) Producción, almacenamiento, transporte, disposición o reutilización habituales de sustancias tóxicas, explosivas, radioactivas, inflamables, corrosivas o reactivas
- q) Proyectos de saneamiento ambiental, tales como sistemas de alcantarillado y agua potable, plantas de tratamiento de aguas o de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios, emisarios submarinos, sistemas de tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos o sólidos
- r) Ejecución de obras, programas o actividades en parques nacionales, reservas nacionales, monumentos naturales, reservas de zonas vírgenes, santuarios de la naturaleza, parques marinos, reservas marinas o en cualesquiera otras áreas colocadas bajo protección oficial, en los casos en que la legislación respectiva lo permita, y
- s) Aplicación masiva de productos químicos en áreas urbanas o zonas rurales próximas a centros poblados o a cursos o masas de agua que puedan ser afectadas.

2.6 SISTEMA TOPOGRÁFICO LÁSER AEROTRANSPORTADO

Es un sistema para recoger información topográfica con alta precisión en tiempo real usando un barrido láser y GPS diferencial. Esto resulta en un tiempo de trabajo y proceso considerablemente menor – menos de 1/10 de lo normal. Se elimina considerablemente la influencia del clima y la vegetación.

Sus aplicaciones claves son:

- Levantamientos de ingeniería
- Levantamiento y vigilancia de infraestructuras
- Planos a escalas detalladas
- Levantamientos en áreas inaccesibles

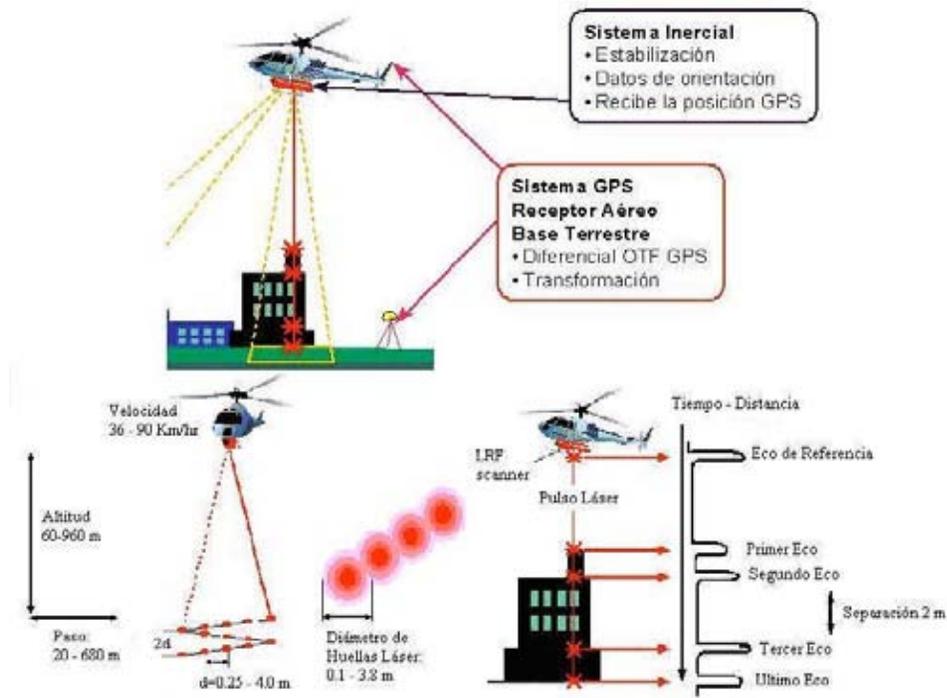
Elementos Principales

- *Medidor de distancia láser*: Detecta el terreno a través de la trayectoria del helicóptero. Mide la distancia al terreno hasta 6000 pulsos láser por segundo con precisión centimétrica. Puede identificar hasta cuatro distancias diferentes con un mismo pulso láser.
- *Cámara vertical*: Abarca el mismo campo que el medidor láser. Píxeles georeferenciados.

- *Cámara dirigida hacia delante:* Vista oblicua 45°, graba el panorama, identificación de objetos.
- *Montaje para cámara auxiliar*

La Figura 2.16 grafica los principios del levantamiento láser aerotransportado:

Figura 2.16: Principios levantamiento láser



Fuente: Sistema Topográfico Láser Aerotransportado – Geoexploraciones S.A. Arcadis Geotécnica (2006).

Equipamiento

- Equipo aerotransportado: Diseñado para una instalación rápida en el helicóptero Ecureil B2/B3 sin modificación.
- Estación terrestre de referencia
- Software: de planificación de campaña, de post proceso para Windows NT.

Operación

Planeamiento: Se definen todos los parámetros y ajustes de partida:

- Vuelo de aproximación
- Líneas de vuelo del levantamiento
- Parámetros del levantamiento
- Información del GPS

Vuelo: Se deben tomar las siguientes consideraciones

- Clima: Evitar nevadas y vientos fuertes
- Durante el vuelo: Mantener cobertura satelital y evitar el balanceo
- Guías del piloto:
 - Rumbo: Nave centrada en línea de vuelo.

- Velocidad: Asegurar avance correcto del movimiento.
- Altura sobre el suelo: Control ancho del barrido.
- Información de estado del sistema.

Procesamiento: La información recogida es transferida al sistema de procesamiento:

- Cintas de datos con información de los sensores del helicóptero.
- Información GPS del helicóptero
- Información GPS de la estación base terrestre.

Resultado

- Información digital de terreno
- Archivo: X,Y,Z (WGS-84) con marcas de tiempo y calidad.
- Imágenes georeferenciadas. Cinta de video.
- Archivo de datos con posicionamiento del conjunto (ubicación de la cámara y orientaciones).

CAPITULO III: ANTECEDENTES

3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

3.1.1 Climatología y Meteorología

La siguiente información fue obtenida del informe elaborado por Arcadis Geotécnica titulado “Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Desarrollo Los Bronces – Línea Base” (2006).

3.1.1.1 Clima

En el área Los Bronces se presentan dos tipos de climas, las cuales corresponden a:

- Templado Microtermal Estenotérmico Mediterráneo Subhúmedo (distrito 74.2)
- Polar Microtermal Estenotérmico Mediterráneo Subhúmedo (distrito 65.4)

Las dos clasificaciones de climas (distritos 74.2 y 65.4) se ubican en las cuencas Dolores y El Plomo, las cuales se ubican en la Alta Cordillera y presentan valores meteorológicos similares.

En la Tabla 3.22 se muestran los datos promediados de ambos distritos señalados anteriormente:

Tabla 3.22: Principales valores climáticos medios mensuales. Promedio de Distritos 74.2 y 65.4

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual	Unid.
T.máx	9,8	9,2	7,7	5,5	3,5	1,9	1,3	1,4	2,8	4,0	6,3	8,3	7,0	°C
T.mín	1,2	0,6	-0,8	-2,8	-4,8	-6,2	-6,7	-6,7	-5,4	-3,5	-1,3	0,5	-3,0	°C
T.med	5,2	4,7	3,3	1,3	-0,6	-2,1	-2,6	-2,5	-1,3	0,7	2,9	4,6	1,1	°C
Pp	15,0	16,1	24,6	57,8	199,0	236,5	198,0	165,9	71,7	42,8	25,7	18,2	1071,0	mm
Déf. Hidrico	-130,1	-119,6	-84,7	-13,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-29,9	-83,5	-117,2	-578,5	mm
Evaporación	135,0	126,4	102,7	70,5	38,2	14,7	6,0	14,7	38,3	70,5	102,8	126,4	846,0	mm

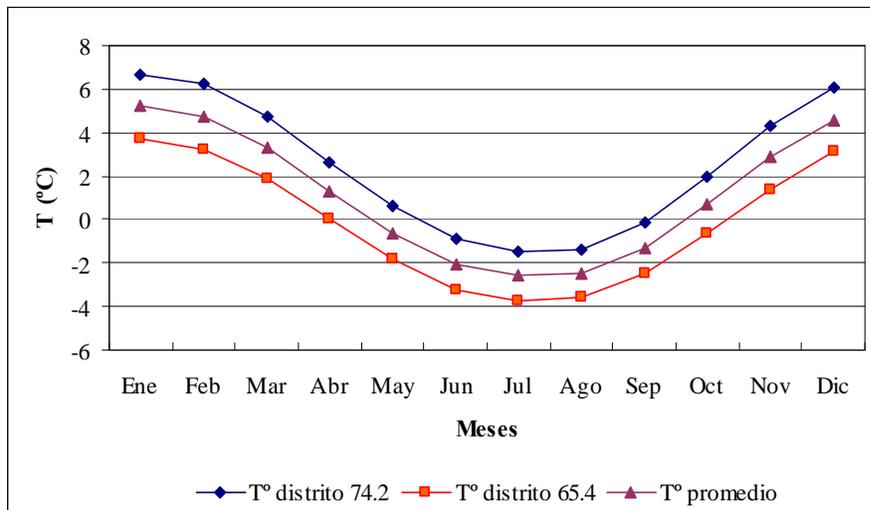
Fuente: Arcadis Geotécnica (2006)

El distrito 74.2 corresponde a una zonificación de tipo climático templado, de acuerdo al concepto de Köppen, es decir, la temperatura media del mes más frío (julio con $-2.6\text{ }^{\circ}\text{C}$) es superior a -3°C e inferior a 18°C . En conformidad a lo señalado la condición se ajusta ligeramente, por lo que podría haberse clasificado en otro tipo climático. Por su parte el distrito 65.4 es polar de altura. En ambos distritos se observa estacionalidad térmica moderada entre el invierno y verano con 5 a 6 meses secos.

El régimen térmico del área Los Bronces se caracteriza por una máxima promedio de $9,8^{\circ}\text{C}$ en enero y una mínima de $-6,7^{\circ}\text{C}$ en los meses de julio y agosto. La temperatura promedio anual alcanza $1,1^{\circ}\text{C}$.

El Gráfico 3.1, muestra el termograma resultante de los distritos 74.2, 65.4 y el valor promedio de ambos.

Gráfico 3.1: Termograma - Distrito 74.2, 65.4 promedio



Fuente: Arcadis Geotécnica (2006)

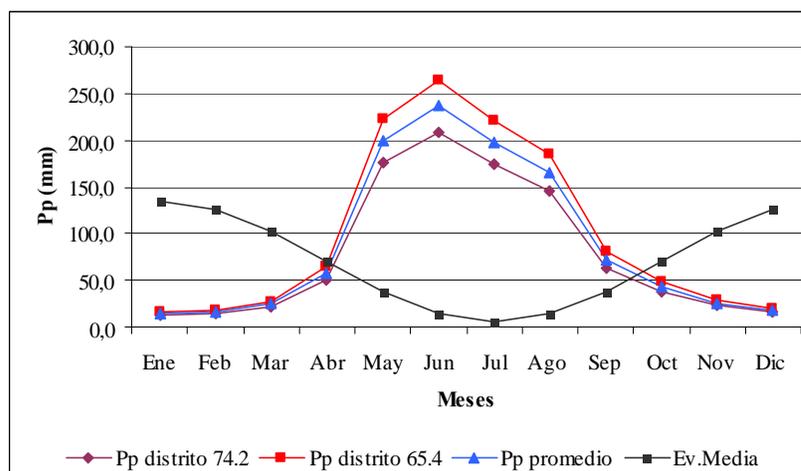
Analizando la información por distrito, se aprecia que las temperaturas en la zonificación 74.2 son más elevadas respecto a la zonificación 65.4, ya que la primera se encuentra a menor altitud que la segunda, aproximadamente a 2.750 m.s.n.m., mientras que el distrito 65.4 se presenta aproximadamente a los 3.360 m.s.n.m, explicando de esta manera sus diferencias térmicas, las cuáles fluctúan entre los 2 y 3° C.

El régimen hídrico del área Los Bronces (valor promedio de distritos 65.4 y 74.2) presenta una precipitación media anual de 1.071 mm, con déficit hídrico de 578,5 mm y un período seco de 5 meses.

En ambos distritos las precipitaciones se concentran entre los meses de mayo y agosto, acentuándose también entre éstos meses sus diferencias en cantidad de agua caída. Lo anterior responde a la disparidad de las altitudes en las que se extienden ambas zonificaciones, ya que en términos comparativos, el distrito 65.4 presenta 256 mm anuales de agua caída más que el distrito 74.2. La mayor diferencia de precipitación sucede durante el mes de junio, la cual alcanza los 56,5 mm, elevando el promedio entre ambos distritos a 236,5 mm.

En el Gráfico 3.2 se muestra el hidrograma de ambos tipos de clima analizados para Los Bronces con su promedio. También se exhibe la curva de Evaporación Media obtenida a partir del promedio de ambos distritos.

Gráfico 3.2: Hidrograma de precipitación y evaporación promedio



Fuente: Arcadis Geotécnica (2006)

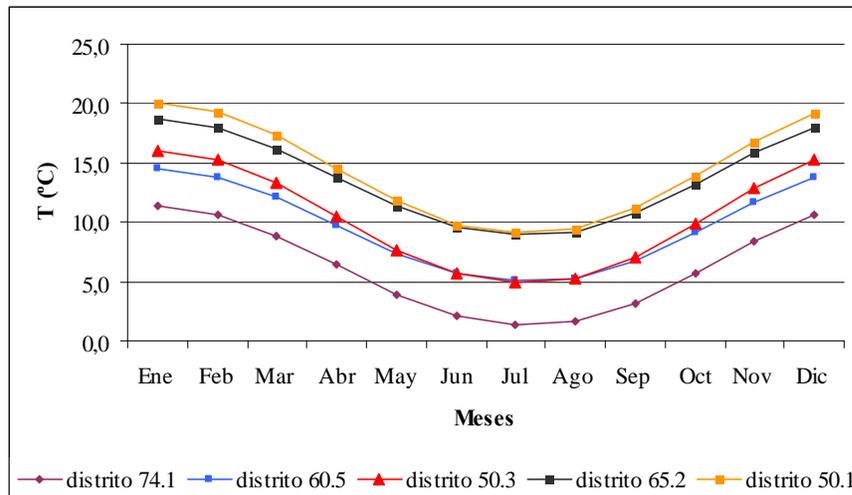
La segunda área que comienza del cajón San Francisco a una cota aproximada de 2700 m.s.n.m y finaliza hasta la Ruta G-15 sector Peldehue, 700 m.s.n.m, presentándose a través de su trazado un desnivel de 2.000 metros, razón por lo cual, los tipos de clima para este tramo son variados, desde los dos climas descritos en el área Los Bronces (*Templado Microtermal Estenotérmico Mediterráneo Subhúmedo* y *Polar Microtermal Estenotérmico Mediteráneo Subhúmedo*) y terminando en la Ruta G-15 (clima tipo *Templado Mesotermal Superior Estenotérmico Mediterráneo Semiárido*), anteriormente descritos.

En forma intermedia a éstos tipos de clima, y de mayor a menor altura se encuentran los siguientes climas (Ver Distritos Agroclimáticos en Anexo N°1):

- Templado Microtermal Estenotérmico Mediterráneo Semiárido (distrito 74.1)
- Templado Infratermal Estenotérmico Mediterráneo Semiárido de alta cordillera (distrito 60.5)
- Templado Infratermal Estenotérmico Mediterráneo Semiárido de Precordillera (distrito 50.3)
- Templado Mesotermal Estenotérmico Mediterráneo Semiárido (distrito 65.2)
- Templado Mesotermal Estenotérmico Mediterráneo Semiárido de Precordillera, serranías de interior, sector norte de la cuenca de Santiago (distrito 50.1)

A medida que se desciende, en altura las temperaturas aumentan y las precipitaciones disminuyen. En el Gráfico 3.3 se muestra el termograma que resume las temperaturas medias mensuales de los cinco distritos señalados anteriormente.

Gráfico 3.3: Termograma de temperaturas medias mensuales - Distritos 74.1, 60.5, 50.3, 65.2 y 50.1



Fuente: Arcadis Geotécnica (2006)

Del se desprende que térmicamente presentan mayor similitud los distritos 60.5 con 50.3 y 65.2 con 50.1. Las temperaturas medias presentan sus mayores diferencias entre distritos desde octubre hasta abril, meses en los cuales se presentan los valores más altos del año. El distrito 74.1 es el que se ubica a mayor altura de los cinco distritos presentes en el sector San Francisco – Peldehue, razón por lo cual registra las menores temperaturas, por el contrario, el distrito 50.1 presenta los valores de temperatura más altos. A continuación se describe en forma detallada los valores de temperatura que cada tipo de clima presenta en la zona intermedia del cajón San Francisco – Peldehue.

El clima *Templado Microtermal Estenotérmico Mediterráneo Semiárido* (distrito 74.1) se presenta en la cordillera media, aproximadamente entre las cotas 1.530 y 3.000 m.s.n.m. La temperatura máxima promedio es de 19,1°C y se asocia al mes de enero, la mínima promedio se presenta en julio, correspondiendo a una temperatura de -2,4°C.

Al ir descendiendo en altura hasta aproximadamente los 1.400 m.s.n.m., se encuentra el clima tipo *Templado Infratermal Estenotérmico Mediterráneo Semiárido de alta cordillera* (distrito 60.5), donde comienza un lógico incremento de la temperatura ladera abajo, con aumento del período libre de heladas y de períodos secos. En éste tipo de clima las temperaturas se elevan alcanzando una máxima promedio en enero de 22,9°C y una mínima promedio de 1,2°C en julio. En altitudes que varían entre los 2.000 y 1.220 m.s.n.m. se encuentra el clima *Templado Infratermal Estenotérmico Mediterráneo Semiárido de Precordillera* (distrito 50.3), el cual aumenta su temperatura, llegando a una máxima promedio de 25,8°C en enero y una mínima promedio de 0,5 °C en julio.

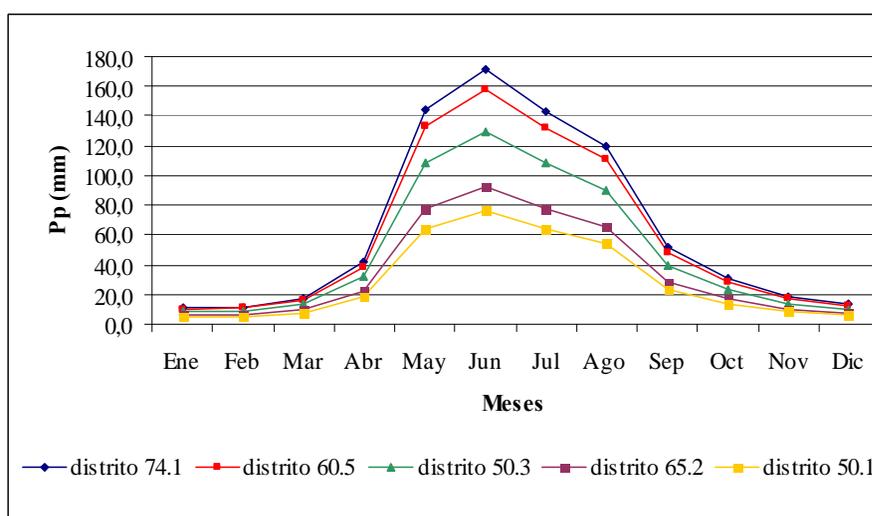
Los dos últimos tipos de clima presentes en el tramo inferior se ubican en el sector del valle central el cual presenta baja pendiente y mayor extensión. Los tipos de climas presentes en el valle central en el área del proyecto, corresponden al *Templado Mesotermal Estenotérmico Mediterráneo Semiárido* y *Templado Mesotermal Estenotérmico Mediterráneo Semiárido de Precordillera* y serranías de interior. El primer tipo de clima (distrito 65,2) se presenta entre los

1.200 y 950 m.s.n.m. aproximadamente y su área de influencia abarca gran parte de la cuenca de Santiago. Las temperaturas máximas promedio se presentan en el mes de enero con 28,2°C y la mínima promedio corresponde a 4,4°C en julio. El segundo tipo de clima (distrito 50,1) se ubica entre 305 m.s.n.m. y 915 m.s.n.m., en serranías de interior y precordillera, donde las temperaturas máximas promedio corresponden a 30,6°C en el mes de enero y la mínima promedio a 4,3°C en julio.

La distribución de las precipitaciones a lo largo del año permite observar que éstas son casi nulas entre los meses de septiembre y abril en todos los distritos, aumentando notoriamente en el mes de mayo hasta agosto. Al mismo tiempo, en este último mes, se acentúan las diferencias en la cantidad de agua caída entre distritos, las cuales aumentan a mayor altura (distrito 74.1). Para todos los distritos analizados el nivel máximo de precipitación se alcanza en el mes de junio.

En el Gráfico 3.4 se muestra el hidrograma de precipitaciones de los cinco tipos de clima presentes en el área descrita.

Gráfico 3.4: Hidrograma de precipitaciones. Distritos 74.1, 60.5, 50.3, 65.2, 50.1



Fuente: Arcadis Geotécnica (2006)

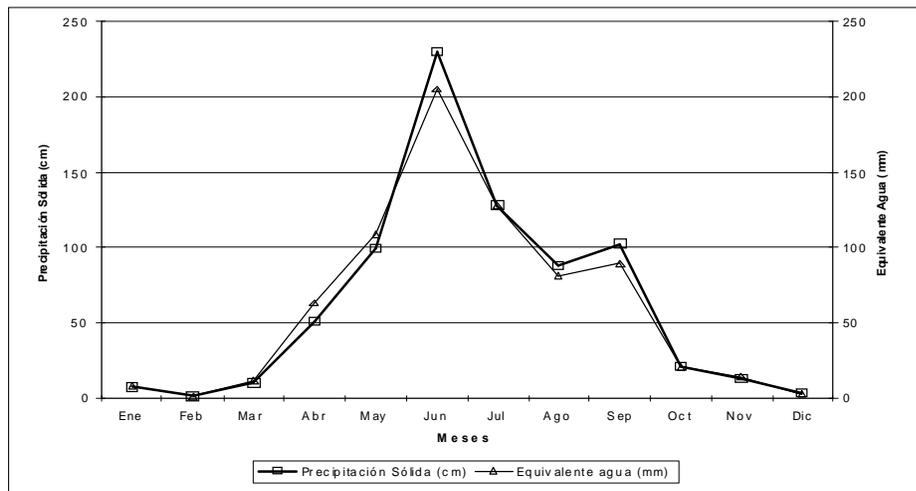
El distrito 74.2 presenta una precipitación media anual de 774 mm, con un déficit hídrico de 731 mm y un período seco de 6 meses, en tanto que el distrito 60.5, a menor altura, disminuye la precipitación media anual a 715 mm, aumenta el déficit hídrico y el período seco a 806 mm y 7 meses, respectivamente.

El distrito 50.3 presenta precipitaciones medias anuales de 585 mm y un déficit hídrico de 841 mm con un período seco de 7 meses. El distrito 65.2 tiene precipitaciones muy bajas respecto al señalado anteriormente, alcanzando los 419 mm y un déficit hídrico de 8 meses. El último de los cinco distritos analizados tiene una precipitación media de 348 mm, un déficit hídrico de 1.038 mm y el mismo período seco de 8 meses.

3.1.1.2 Meteorología

El área de la mina Los Bronces presenta una precipitación de carácter nival con valores medios anuales de 739 cm de nieve, equivalente a 722 mm de agua. La precipitación sólida (nieve) media mensual máxima es de 229 cm (junio), y la media mensual mínima es de 3,2 cm (diciembre). En el Gráfico 3.5 se presenta la distribución mensual de la precipitación sólida y su equivalente en agua (mm). Se observa que entre los meses de abril y septiembre se concentra el 94% de la nieve caída.

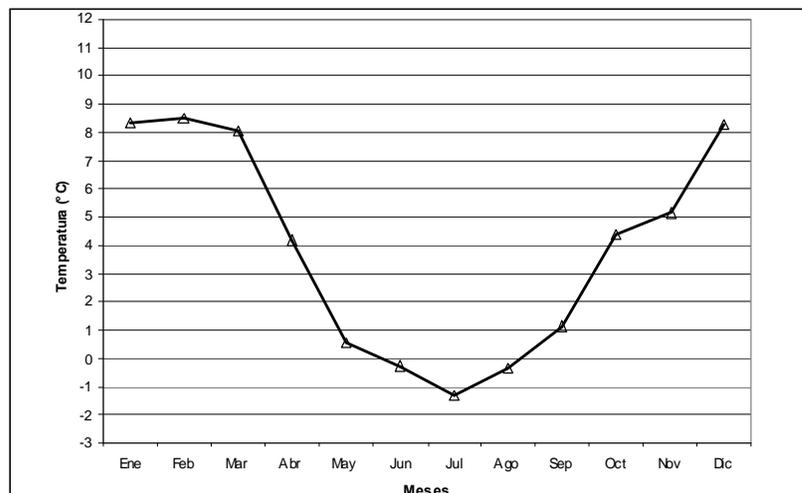
Gráfico 3.5: Distribución media mensual de las precipitaciones sólidas y su equivalente en agua. Estación Los Bronces periodo 1990-2005



Fuente: Arcadis Geotécnica (2006)

En el sector de la Mina Los Bronces, la temperatura media anual es de 3,9°C, con una media mensual máxima de 8,5°C en febrero y una media mensual mínima de -1,3°C en julio. En el Gráfico 3.6 se presenta la distribución de las temperaturas medias mensuales.

Gráfico 3.6: Temperaturas medias mensuales. Estación Los Bronces. Periodo 2000-2005

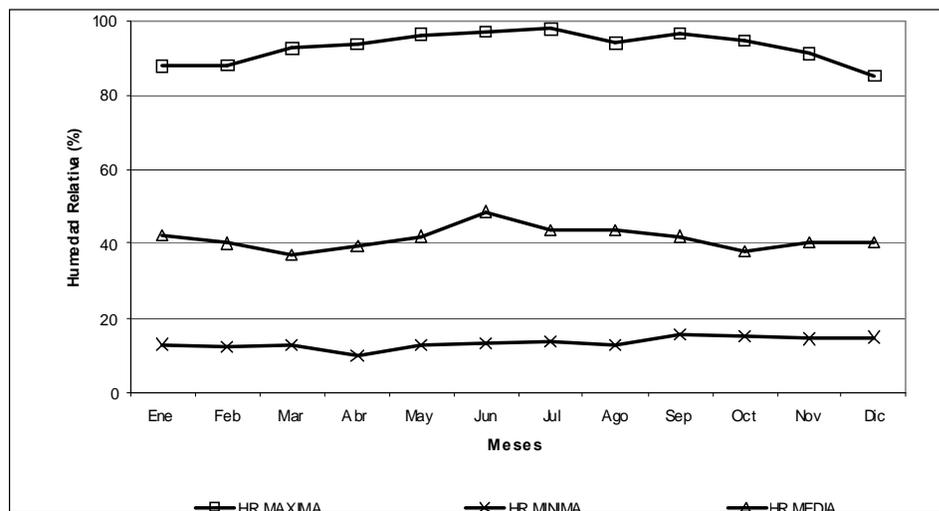


Fuente: Arcadis Geotécnica (2006)

La humedad relativa media anual es de 42%, con una media mensual máxima de 49% en junio y una media mensual mínima de 37% en marzo. La humedad relativa máxima media anual es de

93%, con una variación mensual entre 85% y 98%. La humedad relativa mínima media anual es de 13%, con una variación media mensual entre 10 y 15%. En el Gráfico 3.7, se presenta la distribución mensual de la humedad relativa media, máxima y mínimas medias mensuales.

Gráfico 3.7: Humedad Relativa medias, máximas y mínimas medias mensuales. Estación Los Bronces. Periodo 2000-2005



Fuente: Arcadis Geotécnica (2006)

Según las estadísticas en Anglo American, en el área Los Bronces predomina la dirección de viento Noreste (NE) durante gran parte del año (estación de otoño e invierno). En el mes de abril (2004), durante el día (después de las 07:00 y hasta las 21:00 hrs.) predomina la dirección de viento Noreste (NE), con velocidades de alta intensidad (5 a 10 m/s), las velocidades promedio se presentan constantes, registrando las máximas intensidades entre las 07:00 y 14:00 horas.

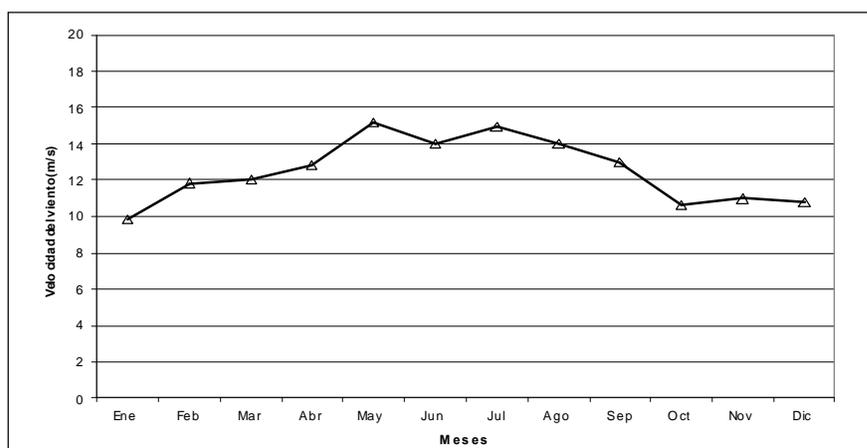
Dicha situación presenta características similares durante el mes de Julio (2004), en donde se mantiene una predominancia de viento de dirección Noreste (NE), y las máximas velocidades del orden de los 5 a 10 m/s. La diferencia entre ambos meses se aprecia al observar el ciclo de rapidez del viento, que durante este mes presenta las máximas intensidades en torno a las 14:00 y 18:00 horas.

Con respecto a la estación de primavera (octubre 2004), durante la noche y madrugada del día (21:00 a 7:00), predomina el viento con dirección Nor-noreste (NNE), y durante el resto del día (07:00 a 01:00) el viento con dirección Noreste (NE). Las máximas intensidades de viento durante el mes de octubre se produjeron durante las 11:00 y 15:00 horas.

En lo que respecta a la estación de verano (enero 2005), el área Los Bronces se caracteriza por presentar un predominio de viento con dirección Sur-suroeste (SSW). Este tipo de viento se registra durante gran parte del día (07:00 a 21:00 horas), manteniendo las mismas intensidades registradas durante los meses antes descritos (5 a 10 m/s). Las máximas velocidades se producen durante las 15:00 a 18:00 horas del día, observándose un considerable aumento en las intensidades del viento durante dichas horas.

En el Gráfico 3.8 se presenta la velocidad de viento media mensual, del periodo 2000 a 2005, mientras que en la Tabla 3.23 se presenta las direcciones medias de los vientos, del mismo periodo. En esta última, se observa en términos generales, que los vientos más frecuentes son en dirección NE. Secundariamente, predominan las direcciones N (Julio a Septiembre) y NNE, en varios meses del año.

Gráfico 3.8: Velocidad del viento medio mensual. Estación Los Bronces. Periodo 2000-2005



Fuente: Arcadis Geotécnica (2006)

Tabla 3.23: Dirección del viento medio mensual. Estación Los Bronces. Periodo 2000-2005

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2000	NE	NE	NE	E	NE	N	NE	N	N	NE	NE	NE
2001	NE	NE	E	E	NE	NE	N	NNE	NNE	NE	NE	SSW
2002	SSE	S	NE	ESE	SW	SSE	SSW	SSW	ENE	NNW	NE	S
2003	NE	SSW	SSW	N	NE	NNE	N	NNE	N	NNE	N	N
2004	NE	NE	NE	N	NE	NNE	N	N	N	N	NNE	NE
2005	NNE	SW	NE	SE	NE	NE	NE	-	-	-	-	-

Fuente: Arcadis Geotécnica (2006)

El área San Francisco – Peldehue en líneas generales el comportamiento de las variables meteorológicas a lo largo del trazado, la temperatura media anual a una altura de 1.200 m.s.n.m. es de 15,5°C aproximadamente, con un gradiente de -6,5°C/1.000 m.

Las precipitaciones en la parte baja de la cuenca del Estero Colina es del orden de 300 mm anual. Para alturas mayores las precipitaciones alcanzan hasta 800 mm.

En épocas de invierno el agua generalmente precipita en forma nival sobre los 1.500 m.s.n.m.; en épocas de otoño y primavera la nieve empieza a caer sobre los 2.500 m.s.n.m. Un 79% del total de las precipitaciones anuales ocurre entre los meses de Mayo y Agosto.

3.1.2 Hidrología

La base de antecedentes a considerar para su posterior diseño es extraído del “Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Desarrollo Los Bronces, Línea de Base”. Dicho informe realiza un estudio a la Cuenca del Río Maipo con respecto a los antecedentes relacionados con los caudales promedios mensuales y anuales para las subcuencas hidrográficas del área de estudio. Para la

delimitación espacial de las subcuencas en estudio, así como la descripción de las hoyas hidrográficas, se efectuaron tomando en consideración los antecedentes emanados de la cartografía de escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar.

La segunda fuente, fue extraída del Informe “Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según objetivos de calidad. Cuenca del Río Maipo” (2004), de la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas.

Mediante los antecedentes bibliográficos recabados, se efectuó una caracterización y análisis hidrográfico e hidrológico de los sistemas de subcuencas más importantes del área de estudio, abordando períodos de excedencia 50% y 85%.

El área de estudio se enmarca en la hoya hidrográfica del río Mapocho en el subsistema correspondiente a la Cuenca río San Francisco; subcuenca estero Dolores.

Con respecto al área de estudio correspondiente a Los Bronces, ésta se enmarca en la subcuenca del estero Dolores, tributaria de la subcuenca del estero El Plomo. Ambas hoyas drenan hacia la cuenca superior del río San Francisco. Por otra parte, el trazado del cajón San Francisco - Peldehue tiene como área de influencia, además de los cursos de agua anteriormente señalados, el Estero Arrayán y el Estero Colina.

En la parte alta de la hoya hidrográfica del río Mapocho se origina el subsistema Cuenca río San Francisco, en donde se reconoce un subsistema de subcuencas aportantes, de recorrido Norte-Sur, correspondiente los esteros El Plomo y Estero de la Yerba Loca.

En dicho ámbito, y con una extensión aproximada de 299 km², la hoya superior del río San Francisco, constituye la cuenca aportante de mayor importancia para el río Mapocho en la zona de alta cordillera. Caracterizada por presentar un régimen de tipo nival, recibe a través de sus afluentes cordilleranos, correspondientes a los esteros El Plomo y de la Yerba Loca, significativos aportes que le dan un carácter hídrico importante desde su nacimiento. La Tabla 3.24 exhibe los caudales medios mensuales del río San Francisco a los 2.400 m.s.n.m.

Tabla 3.24: Caudales medios mensuales río San Francisco 2400 m.s.n.m (Bajo Quebrada Duarte)(L/s)

Probabilidad de Excedencia	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abril	Prom. Anual
85% (Año Seco)	278.5	222.3	223	226.4	230.9	258.6	487.1	519.1	354.8	255.9	174.5	161.2	283
50% (Año Normal)	332.1	284.6	286.6	313	352.5	521.7	1605.9	1890.6	1223.7	788.3	424.0	306.8	694

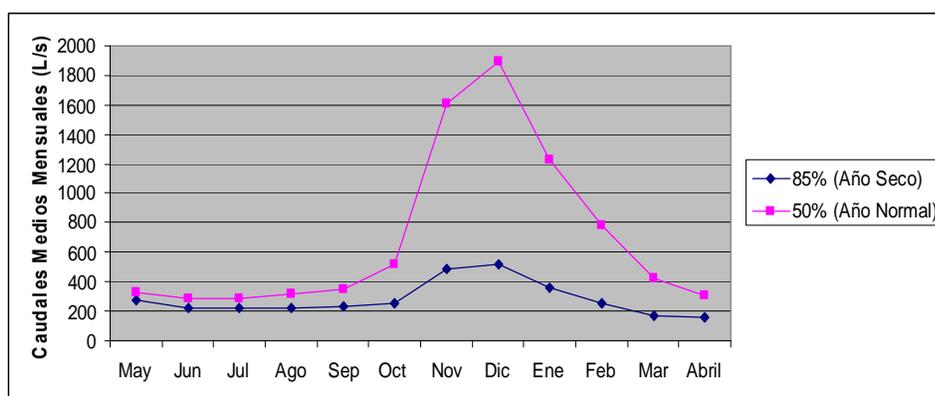
Fuente: Arcadis Geotécnica (2006)

Como es posible apreciar en Tabla 3.24, el río San Francisco presenta caudales medios anuales para un período de excedencia de 50% (año normal) del orden de los 694 l/s, registrando los caudales máximos en el período comprendido entre los meses de noviembre a febrero.

El máximo se produce durante el mes de diciembre con 1890 l/s (1,89 m³/s), correspondiente a época de estiaje y por ende, deshielos precordilleranos. El caudal mínimo se registra durante el

mes de junio, correspondiente a la época de invierno. Esta situación se explica debido al clima frío de altura, en donde las precipitaciones son sólidas (nieve). El Gráfico 3.9 muestra la curva de variación estacional de la cuenca del río San Francisco a los 2.400 m.s.n.m.

Gráfico 3.9: Curva de variación estacional cuenca río San Francisco 2.400 m.s.n.m (bajo quebrada Duarte)



Fuente: Arcadis Geotécnica (2006)

En dicho marco hidrográfico, la subcuenca del estero Dolores constituye a su vez, la subcuenca del estero El Plomo tributaria del río San Francisco al sur de la ladera oriente del Cordón de la Disputada.

La subcuenca del estero El Plomo, se origina a partir del nacimiento del estero El Plomo en las lagunas de Castro y del Plomo a 4025 m.s.n.m, con rumbo norte – sur, colinealmente con el río San Francisco. Uno de sus afluentes principales lo constituye el estero Dolores que drena, en la parte alta de la subcuenca, una superficie aproximada de 12,6 km².

Como es posible apreciar en la manteniendo las mismas características hidrográficas de la subcuenca alta del río Mapocho, la subcuenca del estero Dolores presenta incrementos de caudal asociados a los aportes pluviales de las quebradas convergentes al fondo de valle del cajón conformado por el estero, reconociéndose durante años normales caudales promedios del orden de los 134 L/s.

Tabla 3.25: Caudales Medios mensuales sección media-alta Subcuenca estero dolores (L/s)

Probabilidad de Excedencia	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abril	Prom. Anual
85% (Año Seco)	39.2	36.7	36.3	37.4	41	92.7	139.7	105.5	63.8	46.3	30.6	26	58
50% (Año Normal)	58.1	55.3	53.4	55	58.9	142	283.2	255.1	154.4	107.6	66.9	53.7	112

Fuente: Arcadis Geotécnica (2006)

En la sección medial – alta de la subcuenca del estero Dolores, se registran, asociados a los deshielos precordilleranos, caudales de crecidas para una probabilidad de excedencia de un 50% (año normal) con máximas durante los meses de octubre a febrero.

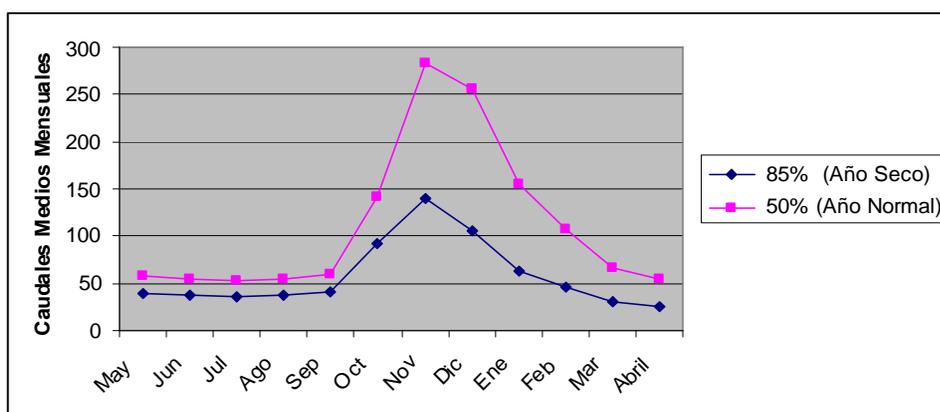
El caudal máximo, en un año normal, se registra durante el mes de noviembre con 283.2 L/s (0,28 m³/s). Mientras que en el mes de julio se registra el caudal mínimo con 53.4 L/s. Asociado a las variaciones pluviométricas en la zona (nieve caída), los caudales de crecidas durante años con probabilidad de excedencia del 85% (año seco), son significativamente inferiores.

Mientras que el período de estiaje se reduce a sólo 3 meses (desde noviembre a enero), el caudal promedio anual es significativamente inferior al registrado durante un año normal correspondiendo sólo a 58 L/s.

Así como los caudales promedios anuales son comparativamente inferiores entre un año normal y uno seco, los caudales máximos y mínimos también son significativamente menores.

Como es posible apreciar en el Gráfico 3.10, el caudal máximo mensual durante un año seco en la sección media – alta de la cuenca del estero Dolores alcanza sólo a 139.5 L/s durante el mes de noviembre, mientras que el mínimo registrado corresponde a 26 L/s durante el mes de abril.

Gráfico 3.10: Curva de variación estacional sección media-alta subcuenca estero Dolores



Fuente: Arcadis Geotécnica (2006)

Adicionalmente a la subcuenca hidrográfica superior del estero Dolores, el área de estudio también incorpora parte de las subcuencas tributarias del río Mapocho localizadas al poniente de la confluencia entre el río Molina y el río San Francisco.

Delimitada a partir de la confluencia del río Molina y San Francisco (nacimiento río Mapocho), la hoya hidrográfica del río Mapocho recibe numerosos afluentes, principalmente por su ribera norte, en la zona alta de la cordillera andina.

Dentro de los afluentes de la cuenca del río Mapocho, en la parte norte central de la sección precordillerana, destacan los constitutivos de las subcuencas de los esteros Arrayán y Colina. El área de estudio, en esta sección de la hoya del río Mapocho, incorpora las subcuencas superiores de ambos esteros, con superficies de drenado correspondientes a 78,3 km² y 285 Km², respectivamente.

La subcuenca del estero Arrayán se inicia con el nacimiento de éste a unos 3.400 m.s.n.m. Por un recorrido aproximado de 26 km, el río recibe por su ribera norte una serie de aportes entre los que destacan los provenientes de las lagunas de Coyara y del Viento.

Mientras por su ribera oriente, junto con aportes provenientes de los numerosos sistemas de quebradas originadas en las laderas ponientes de la Sierra Ortega correspondientes a las quebradas: Arenales, del Agua, El Trébol y otras, luego recibe a uno de sus afluentes más importante a 13 km aproximadamente aguas abajo de su nacimiento: el estero Ortega.

El área de estudio en este sentido, abarca la parte superior de la subcuenca del estero Arrayán (hasta la confluencia con el estero Ortega) y la subcuenca del estero Ortega, que tributa al Arrayán abarcando una superficie de drenado de 65,89 km².

La estación que controla el estero Arrayán se ubica en la Montosa a 880 m s.n.m., con un área de drenaje de 219 km². Esta estación presenta un claro comportamiento nivel pluvial, registrando caudales máximos en los meses de diciembre para años húmedos y en noviembre para años secos. También presenta otra crecida en el mes de julio, pero de menor magnitud. La Tabla 3.26, muestra el resumen de curva de frecuencia de mejor ajuste para caudal instantáneo máximo.

Tabla 3.26: Resumen curva de frecuencia de mejor ajuste. Caudal instantáneo máximo (m³/seg)

Nombre Estación	Serie	Distribución mejor ajuste	P.exc.	0,5	0,2	0,1	0,05	0,04	0,02	0,013	0,01
			P.ret.	2	5	10	20	25	50	75	100
Arrayán en La Montosa	Q _{im} Pluvial	Log - Normal		12,1	39,4	72,9	121	141	215	270,4	315

Fuente: Análisis de Eventos Hidrometeorológicos extremos en el país. Caudales Máximos y Mínimos. Volumen I. (1995)

La subcuenca del estero Colina, que se puede apreciar en el, se inicia con la confluencia de la quebrada Patillo y Escalones. A través de un recorrido aproximado de 22 km con rumbo norte – sur, recibe el aporte de una serie de afluentes menores entre los que destacan las quebradas Piuquenes, Huinganal, El Durazno y Los Carrizos por su ribera izquierda, y los afluentes correspondientes a las quebradas Las Vizcachas, Los Calambres y Agua de la Leona por ribera derecha.

Luego de dicho recorrido, el estero Colina adopta rumbo poniente, a través de un recorrido aproximado de 5 km, luego de los cuales ingresa al fondo de valle a la altura de Colina adquiriendo nuevamente rumbo norte – sur.

La Tabla 3.27 muestra los caudales Medios Mensuales, medidos en la Estación Colina ubicada en Peldehue.

Tabla 3.27: Caudales medios mensuales. Estación Colina en Peldehue (m³/seg)

Pex (%)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5	1,11	6,5	4,08	8,93	2,91	5,83	14	10,7	7,1	3,25	3,1	1,17
10	0,97	3,78	3,11	5,61	2,35	4,12	9,21	7,84	4,99	2,51	2,14	1,01
20	0,83	1,99	2,23	3,24	1,8	2,74	5,58	5,35	3,26	1,83	1,38	0,85
50	0,61	0,63	1,19	1,22	1,09	1,33	2,23	2,58	1,45	1	0,64	0,61
85	0,42	0,21	0,55	0,48	0,59	0,66	0,86	1,05	0,53	0,48	0,3	0,41
95	0,33	0,14	0,35	0,34	0,41	0,49	0,56	0,62	0,3	0,31	0,21	0,32

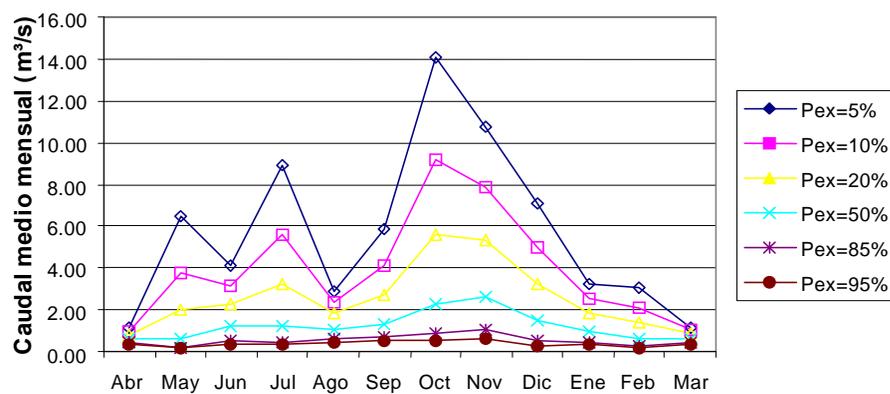
Fuente: Arcadis Geotécnica (2006)

Debido a la intensa intervención antrópica asociada a la actividad agrícola de la zona de valle en Colina, los caudales registrados en la subcuenca del estero Colina presentan una variación estacional que refleja dicha situación.

Atendiendo a lo antes expuesto, se aprecia en la subcuenca del estero Colina un régimen de tipo nivo pluvial, con incrementos irregulares durante el período comprendido entre el mes de junio y diciembre, con registros máximos durante la época normal y seca (probabilidad de excedencia 50% y 85%) en el mes de noviembre con 2,58 m³/s y 1,05 m³/s respectivamente.

Cómo se puede apreciar en la Tabla 3.27 y en el Gráfico 3.11, que muestra la curva de variación estacional del estero Colina, se observa que en lo que respecta a los caudales mínimos registrados, estos se producen en los meses de marzo y abril (ambos con 0,61 m³/s) y durante el mes de mayo en la época seca (0,21 m³/s).

Gráfico 3.11: Curva de variación estacional. Estero Colina en Peldehue



Fuente: Arcadis Geotécnica (2006)

3.1.3 Geología y Geomorfología

La metodología de trabajo se basó básicamente en el informe de Estudio de Impacto Ambiental “Proyecto Desarrollo los Bronces – Línea Base” cuya recopilación fue realizada por Estudios anteriores efectuados por ARCADIS Geotécnica tanto para la ex Compañía Minera Disputada de Las Condes, como para el “Proyecto Nueva Andina” Codelco Chile División Andina, de Captura de Información Geológica - Geotécnica. Una vez recopilada la información se procedió a realizar el análisis de ésta, obteniendo los resultados de acuerdo a las áreas de influencia que se definen más adelante.

3.1.3.1 Geología

Área Los Bronces

La información geológica actualizada en la zona de Los Bronces, es la establecida por Rivano (2005) quien retoma antecedentes previos aportados por autores, tales como Cepeda (1981) y Thiele (1980), entre otros.

Esta primera subdivisión tiene como límites las cabeceras del Cajón de la Disputada, en su parte inicial, y el portal de salida del túnel San Francisco/Ortiga, en su extremo distal.

El área de Los Bronces está constituida geológicamente, por depósitos cuaternarios no consolidados y, esencialmente, por rocas intrusivas de edad miocena, cuyas principales características se detallan a continuación.

Depósitos cuaternarios no consolidados

Los depósitos cuaternarios no consolidados corresponden principalmente a depósitos periglaciares producidos por gelifracción y subordinadamente, por depósitos fluvio-glaciares a aluviales.

Depósitos periglaciares: Estos depósitos son generados por la ruptura de las rocas por efecto del congelamiento confinado del agua. Se denominan gelifractos que se encuentran en la superficie de laderas formando en su base canchales o pedreras; también es posible encontrar coladas de bloques rocosos (rock streams).

La abundancia de estos materiales heterométricos y angulosos se explica porque, contrariamente al glaciario, la acción periglaciares es activa aún en el presente. Estos depósitos han sido en gran parte eliminados o alterados por la acción antrópica, especialmente en el sector comprendido entre la confluencia del Estero Dolores con el Estero El Plomo y el portal de entrada del túnel San Francisco / Ortiga.

Depósitos fluvio-glaciares y aluviales: En cuanto a los depósitos fluvio-glaciares y aluviales, éstos justifican su denominación en la medida que los gelifractos transportados se alejan de sus fuentes de origen y son desgastados principalmente por la rodadura del fondo y el choque entre ellos. Esto se produce luego de algunos kilómetros de recorrido y sólo son visibles por medio de la excavación de calicatas, las que eventualmente pondrían en evidencia depósitos pobremente estratificados.

En terreno, los depósitos aluviales no son visibles superficialmente y es probable que se encuentren fuera del ámbito del área de Los Bronces. Existen algunas depresiones a lo largo de los valles, producidas por socavación del hielo, que se han transformado en lagunas y en las cuales han sido descritos sedimentos esencialmente arenosos.

Rocas intrusivas de edad Miocena

Las formaciones rocosas en el área de Los Bronces corresponden a intrusivos (Mgtg y Mmg) del período Mioceno, cuyas litologías son granodioritas, tonalitas, granitos, y por otra parte, monzonitas, monzodioritas y dioritas pertenecientes a la denominada Franja Mio-Plioceno Estero Riecillos – Río Blanco / Estero Ortiga – Estero San Francisco (Rivano, 2005). El autor citado también identifica tobas y megabrechas de colapso (Ptr) ubicadas al norte de la divisoria de aguas del Cajón de La Disputada / Río Blanco.

Las rocas volcánicas y volcanoclásticas del miembro superior de la formación Farellones se disponen al noroeste de las cabeceras del Cajón de la Disputada y al oriente de éste.

Tectonismo

Desde el punto de vista estructural, los accidentes tectónicos dominantes pertenecen al sistema de orientación NE; siendo también importantes las direcciones NNE y WNW.

Área San Francisco – Peldehue

Comprende el área que se extiende de oriente a poniente, entre la salida del túnel San Francisco / Ortiga y las proximidades a la Ruta G-15.

Esta área está dominada por las formaciones volcánicas Abanico y Farellones dispuestas, en términos generales, en dirección meridiana. Sin embargo, en lo que concierne al trazado, este gran tramo está formado esencialmente por rocas de formación Abanico, quedando marginadas hacia el norte aquellas de la formación Farellones.

En la descripción de la geología de esta área, comenzando naturalmente desde el oriente, se considerará una faja de disposición este-oeste de unos siete kilómetros de ancho, cuyo límite norte es el portal de salida del túnel San Francisco / Ortiga.

Intrusivos miocenos

Los intrusivos miocenos (Mdpa) correspondientes a dioritas, pórfidos diorítico-andesíticos y a monzonitas asociadas, constituyen las dos vertientes del Estero Ortiga a la salida del túnel San Francisco / Ortiga y se extienden por unos tres kilómetros en la ladera oriental del estero señalado. En la ladera opuesta, rápidamente los intrusivos dejan paso al miembro superior de la formación Abanico (Eoceno inferior – Mioceno inferior).

Formación Abanico

Como se ha señalado, luego de los intrusivos miocenos aparece el miembro superior de la formación Abanico (Eoceno inferior – Mioceno inferior), el cual presenta en un principio una amplitud reducida, para extenderse hacia el oeste ocupando gran parte del trazado definida entre la salida del túnel San Francisco / Ortiga y la Ruta G-15. El miembro superior de la formación Abanico, está constituido por brechas piroclásticas, brechas epiclásticas finas, tobas, conglomerados, areniscas y localmente lutitas, en parte arenosas. El miembro inferior es netamente volcánico y formado por lavas andesíticas y basálticas con intercalaciones piroclásticas continentales que van de gruesas a finas.

Los dos miembros de la formación Abanico están en contacto por medio de una falla de larga corrida de orientación variable: primero de dirección NNW, curvándose paulatinamente hasta adoptar una orientación aproximadamente NS.

Formación Farellones

El sector con mayor presencia de esta formación es el situado entre los valles de los esteros Arrayán y Ortiga, ampliándose hacia el norte del túnel Vizcachas para ocupar el primer tercio de la franja aludida anteriormente.

El miembro inferior de la formación Farellones (Mioceno) está constituido principalmente por tobos con intercalaciones de sedimentos finos continentales y coladas de lavas andesíticas y/o riódacíticas.

Intrusivos hipabisales del Mioceno

Los intrusivos hipabisales del Mioceno (OMh), interrumpen la continuidad de la formación Abanico en su progresión hacia el oeste; esto es muy notorio al oriente y sur del curso medio del estero Colina (en el ámbito montañoso), donde afloran andesitas, dioritas e incluso gabros, que constituyen cuellos volcánicos y diques.

Depósitos Cuaternarios no consolidados

Los depósitos cuaternarios no consolidados están presentes como formaciones periglaciares en los sectores más elevados, tanto al este como al oeste del Cordón de los Españoles y en las cabeceras del valle del estero Arrayán. En la medida que se desciende en altitud, dichos depósitos dan paso a coluvios y escombros de falda indiferenciados, con mayor influencia de la meteorización química, en detrimento de la gelifracción. El relleno detrítico de los cauces es francamente aluvial, ya en el sector de confluencia de los esteros Arrayán y Ortiga, y particularmente, en el lecho del estero Colina.

Tectonismo

Desde el punto de vista tectónico es necesario destacar la presencia de una extensa y sinuosa falla inversa de bajo ángulo o sobre escurrimiento (Rivano, 2005), que se desplaza de sur a norte, desde la parte alta del interfluvio Estero Arrayán / Estero Ortiga, en el sur, hasta el Estero de los Chacayes, afluente del Estero Riecillos, en el norte. Luego de un inicio zigzagueante en el Cordón de los Españoles, se desplaza hacia el NNW y luego, de la misma forma, hacia el norte y, por último, en el estero de los Chacayes, hacia el oriente.

Al margen de este gran accidente tectónico y en relación con el fallamiento, existen muy pocas fallas en esta faja de terreno; éstas se limitan a 3 ó 4, de dirección NE situados en las cercanías y al este del valle del Estero Ortiga. Al oeste del gran contacto tectónico señalado Rivano identifica tres fallas de corta corrida de dirección NNE, una de las cuales controla el curso medio del Estero Colina en el ámbito montañoso.

En términos generales, las rocas estratificadas de la formación Abanico se disponen en esta área en un monoclinal con un manteo general hacia el oriente; al poniente del contacto entre los dos

miembros de la formación Abanico, Rivano señala la presencia de un pliegue anticlinal seguido de un sinclinal, ambos de modesto desarrollo.

3.1.3.2 Geomorfología

Área Los Bronces

Está situada en la parte inicial, desplegándose desde los 3.900 m.s.n.m., hasta aproximadamente los 2.650 m.s.n.m. a la salida del túnel San Francisco / Ortiga. En esta área se pueden distinguir tres unidades geomorfológicas: la hoya hidrográfica del Cajón de La Disputada, la hoya del estero Dolores y el interfluvio río San Francisco / Estero Ortiga.

Relieve

Las cabeceras del Cajón de La Disputada y del valle del estero Dolores son formas semicirculares en planta, amplias y deformadas, abiertas hacia el sur oeste. Los puntos culminantes se distribuyen, de sur a norte y luego al noroeste, comenzando con el cajón ya mencionado y el cerro La Paloma (4.910 m); Observatorio Astronómico Infiernillo (4.403 m); cerro Infiernillo (4.147 m); portezuelo El Choclo (3.927 m) y cerro El Choclo (3.902 m), éste último punto es dónde la sinuosa divisoria de aguas gira hacia el noroeste. Luego, se desvía ligeramente de la dirección anterior, encontrándose con el cerro La Disputada (4.164 m) y a continuación, retomando la dirección noroeste, se encuentran uno al lado del otro los cerros Ceatoleí (4.136 m) y Turquesa (3.903 m); éste último corresponde al límite occidental de las cabeceras del estero Dolores, desde allí arranca la divisoria de aguas estero Dolores / estero El Plomo en dirección SSW, materializada por puntos culminantes a 3.721 m, 3.828 m y 3.797 m en el cordón Dolores.

El interfluvio río San Francisco / estero Ortiga se alinea en dirección meridiana destacándose, de norte a sur, los cerros del Cobre (3.844 m); El Plomo (3.525 m) y Cortadera (3.330 m).

La amplitud del relieve en el Cajón de La Disputada y en el estero Dolores respecto de la divisoria de aguas común (diferencia entre las cotas de mayor y menor elevación) es de aproximadamente 560 m, lo que corresponde a una amplitud moderada. Esta diferencia es mayor entre el Cajón de La Disputada y su divisoria oriental, si para esta última se considera una cota promedio de 4.400 m; la amplitud del relieve es cercana a 1.200 m, lo cual denota una gran amplitud.

En el interfluvio río San Francisco / estero Ortiga, la amplitud del relieve es de 600 m, semejante a la determinada anteriormente para el valle del estero Dolores.

Hidrografía

En esta área se destacan dos cursos de agua de régimen pluvio-nival y permanente: el Cajón de La Disputada (según denominación de la carta base 1: 50.000 elaborada por el IGM) y el estero Dolores, cuyos trazados son casi paralelos y provienen del noreste. Estos cauces junto al estero El Plomo, constituyen la hoya hidrográfica del río San Francisco.

El estero El Plomo se une al río San Francisco siguiendo una dirección casi meridiana, lo cual sugiere que se trata de un solo curso de agua. Originalmente el Cajón de La Disputada presentaba un perfil longitudinal con una pendiente del 12% (aproximadamente 7°), similar a la del estero Dolores.

Formas y depósitos

El modelado de esta área es el típico heredado de las glaciaciones del Pleistoceno que se manifiesta por formas características tales como: valles de perfil transversal en catenaria generalmente bien calibrados y con un perfil longitudinal en escalones, presencia de lagunas glaciares en el piso del valle, generadas por la socavación del glaciar (sobre excavación). Las divisorias de agua están festoneadas por circos glaciares abandonados por el hielo, en la cabecera del valle de Dolores se contabilizan cuatro de estas formas glaciares.

El mecanismo de la gelifracción, aún activo en la actualidad, ha permitido la generación de grandes volúmenes de gelifractos que tapizan las laderas formando canchales, o acumulándose en circos glaciares para formar coladas de bloques rocosos (rock streams), como en Infiernillo, La Perla y en las cabeceras del estero Dolores. Estos últimos constituyen los depósitos y las formas más espectaculares del periglacialismo de altura.

Área cajón San Francisco y Peldehue

Está marcada por la presencia del Cordón de los Españoles que constituye una divisoria de aguas de carácter regional y que permite, a la vez, dividirla en la vertiente oriental y en la occidental o poniente.

La vertiente oriental, recibe el nombre de vertiente Arrayán y se encuentran los valles de los esteros Ortiga y Arrayán. La vertiente poniente del Cordón de los Españoles está dominada por el valle del estero Colina, por lo que se llamará del mismo modo – vertiente Colina – para efectos de la presente descripción.

Relieve

Como se ha señalado, la vertiente Arrayán está formada por los valles de los esteros Ortiga, al cual llega el túnel homónimo, y el estero Arrayán; éste último dispuesto aproximadamente en dirección norte – sur. El segundo de los nombrados se orienta, primeramente, norte – sur y luego suroeste, para unirse con el estero Ortiga.

El interfluvio que separa ambos valles, presenta su amplitud más importante en el norte (6 kilómetros) a la latitud del túnel San Francisco/Ortiga, estrechándose paulatinamente hacia el sur, al mismo tiempo que el curso del estero Ortiga se desvía hacia el suroeste para unirse al Arrayán. Las cotas máximas de este relieve se presentan en la Sierra Ortiga, con puntos culminantes en el Cerro La Polcura de 3.563 m y el Cerro Tornamesa (2.408 m) en el extremo sur.

El Cordón de los Españoles, por su parte, se desplaza de sur a norte exhibiendo cotas que van de 2.898 m del Cerro Vizcachas, hasta 3.405 m en el Cerro Los Piuquenes, mas allá del túnel Vizcachas.

La vertiente Colina se descuelga hacia el poniente desde el Cordón de los Españoles, situado a una cota promedio de 3.000 m, hasta alcanzar la Ruta G-15, cuya cota puede ser establecida a los 800 m.s.n.m.

Hidrografía

▪ *Vertiente Colina*

Tal como se expusiera inicialmente, la vertiente Colina está representada, hidrográficamente por el estero homónimo y sus afluentes. Este curso de agua nace en el norte, al pie del Cerro Yaretas (3.539 m) y desciende en forma sinuosa hacia el suroeste recibiendo las aguas de los distintos afluentes, entre los que se destacan la Quebrada Palillos; la Quebrada Tambillos; la Quebrada Piuquenes; Quebrada Los Calambres; Quebrada Agua de la Leona; Quebrada El Chungado y Quebrada El Durazno. Al llegar frente a la Loma de Los Carrizos, el curso del Estero Colina se quiebra casi en ángulo recto para seguir una dirección claramente noroeste y abandonar finalmente el ámbito montañoso.

El estero Colina es un curso de agua de régimen pluvio-nival y permanente; su pendiente longitudinal a lo largo del tramo en montaña es de 7% (4°), aproximadamente.

▪ *Vertiente Arrayán*

La vertiente Arrayán posee dos cursos de agua, los esteros Ortiga y Arrayán, ambos de régimen permanente y de origen pluvio-nival. El primero se origina al norte del Cerro Ortiga, aprovechando las aguas de algunas lagunas de origen glaciar; desciende hacia el sur en un curso divagante hasta un sector situado a aproximadamente un kilómetro del Cerro Cortadera, punto a partir del cual continua en dirección suroeste. Presenta una pendiente longitudinal del orden de 8,5% (5°) y recibe las aguas de numerosas quebradas afluentes, siendo la mas importante aquella correspondiente al Estero Angostura que desemboca frente al portal de salida del túnel San Francisco / Ortiga.

El Estero Arrayán, por su parte, nace más o menos a la cota 3.200 m y en su descenso hacia el sur desemboca en las Lagunas Coyara y la Laguna del Viento; también recibe las aguas de numerosas quebradas afluentes, tanto por el oriente como por el poniente. De ellas se destacan la Quebrada Valle Largo, Barros Negros y El Cortadera. La pendiente longitudinal del estero es de 10% (5,5°, aproximadamente).

Formas y depósitos

Las formas más importantes de esta área son los valles anteriormente descritos; sus secciones transversales son, a la latitud y a la altura, propias de valles fluviales, en forma de V; la forma en catenaria queda limitada a las cabeceras de estos cursos de agua.

En el Cordón de los Españoles se observan formas periglaciares tales como círculos de piedra y pavimentos nivales, en general modestamente desarrollados; también se destacan las cicatrices de despegue de deslizamientos.

En cotas próximas al portezuelo del Cordón de los Españoles, es posible observar reducidas acumulaciones de gelifractos, algunas de las cuales pueden ser consideradas como formas relictas; en la medida que se desciende en cota aumenta la presencia de suelos arcillosos y de la vegetación. Los cursos de agua más importantes poseen valles generalmente angostos en los que se encuentran depósitos aluviales francos.

3.1.4 Riesgos Geológicos

3.1.4.1 Sector Los Bronces

Según señala el Informe “Estudio Impacto Ambiental Proyecto Desarrollo Los Bronces. Línea Base” (2006), los riesgos geológicos en los valles que conforman la hoya hidrográfica del Río San Francisco – Estero Dolores, están limitados esencialmente a las avalanchas de nieve que se producen en los portales de los túneles y que bloquean el acceso a éstos. En el portal Los Bronces del túnel homónimo, se han producido avalanchas en los años 2001, 2002 y 2003 (Ver plano de avalanchas en Anexo N°4). En el portal Dolores se señala la presencia de dos avalanchas de cuya ocurrencia, sin embargo, no se informa en los años citados precedentemente; se debe colegir, por lo tanto, que se trata de riesgos declarados, puesto que fueron identificados y mapeados. Además señala que no existe información sobre la caída ni desprendimientos de rocas en la quebrada Barros Negros.

El informe preparado por el Sr. René León titulado “Informe sobre riesgos de Invierno y Avalanchas en el área del portal del túnel Río Blanco – Los Bronces, instalación de faenas y camino de acceso en el mismo sector los bronces”, señala que el portal SO del túnel Río Blanco en las proximidades de la Cantera Donoso de Disputada, emplazado en la cota 3.562 m, está situado al pie de un farellón rocoso entre dos sendas de avalanchas de magnitud moderada y es afectada por fuertes vientos y temperaturas moderadamente bajas. Se observan cortas laderas, junto al camino de acceso, con bastante actividad potencial de generación de desprendimientos de piedras. La Figura 3.17 muestra lo dicho anteriormente.

Figura 3.17: Avalanchas portal de túnel Río Blanco



Fuente: Sr. René León Gallardo. Consultor Experto en Avalanchas. (2006)

3.1.4.2 Sector Colina - Loma el Caballo

Los sitios de las plantas Pocuro, Loma del Caballo y Rinconada, según el Informe “Captura Información Geológica – Geotécnica para proyecto Nueva Andina” (2005), se insertan en un ambiente geográfico y geológico común, ya que se encuentran en la fachada occidental del ante país andino y expuestos a aquellos riesgos geológicos que eventualmente se generen y descuelguen de niveles superiores, como por ejemplo, del Cordón de los Españoles. De hecho, importantes inestabilidades de talud (deslizamientos) han sido identificados y mapeados en esta vertiente montañosa; sin embargo, se sitúan entre el sitio de la Planta Pocuro y el de la Loma del Caballo, pendiente arriba del sitio de Rinconada. También se han detectado fenómenos similares al oriente del último sitio nombrado, en el Cordón de los Españoles, al norte del Túnel Vizcachas, así como en el valle superior del río Colina y en quebrada el Durazno. Estas remociones en masa se asocian arealmente con la distribución el miembro superior de Abanico, lo que sugiere una relación entre estos fenómenos y las facies de “lutitas” de aquel miembro, las que pudieron facilitar en gran medida los fenómenos de remoción que originaron estos depósitos.

Estos deslizamientos (riesgos declarados), no tendrían relación de vulnerabilidad respecto de los sitios debido a la naturaleza geológica de éstos, de modo que son considerados de baja importancia.

Coincidentemente, los tres sitios presentan un sustrato rocoso subsuperficial cubierto por una delgada capa de depósitos coluviales y surcados por modestas quebradas generalmente, de corto recorrido. En Loma el Caballo el sector más alto, de pendiente relativamente fuerte, posee una cubierta coluvial esencialmente arcillosa, que pareciera estar afectada por fenómenos de soliflucción o geliflucción. Los escombros de falda pedregosos de la parte baja, de pendiente más débil, no son susceptibles de ser movilizados y no constituyen un riesgo potencial. Tampoco existen en el sector otros materiales que puedan deslizar o rodar hacia el sitio, derivados de niveles más altos.

3.1.5 Tránsito

La base de antecedentes para la estimación de flujo vehicular que solicitará al camino se hará conforme a la información entregada por el Sr. Eduardo Sanzana, Director de Infraestructura Proyecto Nueva Andina, sobre las alternativas de ubicación de la Planta Concentradora de sulfuros de cobre para División Andina, de 140 Ktpd nominales de proceso iniciales, ampliables modularmente hasta 210 ktpd nominales, donde se establece los costos de logística para cada una de las alternativas considerando flujo vehicular tanto de insumos como de personal.

Los antecedentes de flujo vehicular de División Los Bronces serán en base a la información entregada por ARCADIS Geotécnica del “Estudio de Impacto Vial Proyecto de Expansión Los Bronces Región Metropolitana”.

3.1.5.1 Análisis de Antecedentes

Los insumos principales que se requiere transportar a la planta concentradora son los siguientes:

- Bolas de acero para molienda.
- Cal para flotación colectiva
- Espumante para flotación colectiva
- Colector para flotación colectiva
- Floculante para flotación colectiva
- Depresante para flotación selectiva

A continuación se presenta un resumen del cálculo estimado de insumos y de personal:

Tabla 3.28: Revestimientos de acero

Insumo	Índice	Consumo Diario	Consumo Anual	Viajes mensuales	Viajes anuales
	gr/ton Min	Ton/día	Ton Año	Viajes/mes	Viajes/año
Revestimiento Chancadores	7.5	2.3	821	2.3	27
Revestimiento Molienda-Remolienda	65	19.5	7118	19.8	237
Otros (10% total Acum.)		2.2	794	2.2	26
Total				24	291

Fuente: Sr. Eduardo Sanzana. Director de Infraestructura Proyecto Nueva Andina (2006).

Tabla 3.29: Consumo de bolas

Insumo	Índice	Consumo Diario	Consumo Anual	Viajes mensuales	Viajes anuales
	gr/ton Min	Ton/día	Ton Año	Viajes/mes	Viajes/año
Bolas Molienda	650	195.0	71175	197.7	2373
Bolas Remolienda	80	24.0	8760	24.3	292
Otros (10% total Acum.)		21.9	7994	22.2	266
Total				244	2931

Fuente: Sr. Eduardo Sanzana. Director de Infraestructura Proyecto Nueva Andina (2006).

Tabla 3.30: Consumo de reactivos

Insumo	Índice	Consumo Diario	Consumo Anual	Viajes mensuales	Viajes anuales
		Ton/día	Ton Año	Viajes/mes	Viajes/año
Cal	1.3 kg/ton min	390.0	142350	395.4	4745
Colectores	25.0 gr/ton min	7.5	2738	7.6	91
Espumante	15.0 gr/ton min	4.5	1643	4.6	55
Floculante	10.0 gr/ton min	3.0	1095	3.0	37
Depresante	4.0 kg/ton conc	34.5	12593	35.0	420
Otros (5% total Acum.)		22.0	8021	22.3	267
Total				468	5615

Fuente: Sr. Eduardo Sanzana. Director de Infraestructura Proyecto Nueva Andina (2006).

Tabla 3.31: Personal

Tipo	Dotación	Viaje Bus	Viaje Camioneta	Viajes mensuales Bus	Viajes mensuales Camioneta	Viajes anuales Bus	Viajes anuales Camioneta
	H-D	Viaje/Día	Viaje/Día	Viajes/mes	Viajes/mes	Viajes/año	Viajes/año
Propio	1300	29.3	43	890	1318	10676	15817
Contratista	700	15.8	23	479	710	5749	8517
Visitas	150		50		1521		18250
Total	2150			1369	3549	16425	42583

Fuente: Sr. Eduardo Sanzana. Director de Infraestructura Proyecto Nueva Andina (2006)

Tabla 3.32: Resumen viaje a concentradora

Descripción Demanda	Viajes mensuales	Viajes anuales
	Viajes/mes	Viajes/año
Revestimientos de acero	24	291
Consumo de bolas	244	2931
Reactivos	468	5615
Personal	4917	59008
Otros	565	6784
Total viajes	6219	74629

Fuente: Sr. Eduardo Sanzana. Director de Infraestructura Proyecto Nueva Andina (2006)

De la tabla anterior se logra un Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) de 207 vehículos/día en un sentido.

De acuerdo al Estudio de impacto Vial Proyecto Expansión Los Bronces, la Tabla 3.33 muestra los flujos de tránsito actuales registrados diariamente en las puertas de control de Los Bronces, y sus correspondientes estimaciones de flujos futuros, como producto de la expansión de la mina.

Tabla 3.33: Tránsito diario en Los Bronces (un sentido)

Tipo de Vehículo	Flujo Actual	Flujo Futuro	Crecimiento por la Expansión
Livianos	50	90	80%
Camiones	36	63	75%
Buses	18	22	22,2 %
Total	104	175	68,3 %

Fuente: Arcadis Geotécnica (2006)

3.1.6 Topografía

La base topográfica a utilizar en la presente etapa corresponde a levantamientos topográficos escala 1/10.000 mediante tecnología láser aerotransportada para el sector poniente disponibles en CODELCO, restituciones aerofotogramétricas para el sector oriente ambas con curvas de nivel cada 5 metros y para el sector central se dispone de cartografía del Instituto Geográfico Militar, Escala 1:50.000, con el Sistema de Coordenadas UTM, con el Datum del Elipsoide Sud-Americano 1956. Las curvas de nivel son expresadas en elevaciones sobre el nivel medio del mar (msnm), con cotas cada 50 metros.

3.2 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS

El camino industrial de alto estándar definido, debiera considerar criterios de diseño para el transporte de:

- Carga normal: entendiéndose por tal, todo tipo de vehículos livianos, buses de personal y carga aceptada en camiones carreteros.
- Carga peligrosa: todo tipo de insumos que se incluyan en esta categoría como explosivos, ácidos, reactivos químicos, gases y similares.
- Carga voluminosa y pesada: en este caso se incluyen cargas de tipo muy ocasional y programables como tolvas de camiones, baldes de palas, grandes piezas de molinos y en general cualquier carga cuyo volumen o peso impliquen la necesidad de suspender momentáneamente otros tráficos en el camino.

3.2.1 Ancho de Plataforma

El ancho medio de la plataforma para un camino industrial deberá ser determinado para considerar 2 pistas de calzada con una tercera para adelantamiento en los sectores de mayor pendiente sobre el 8%, bermas por ambos lados, muro para control de caída de piedras desde los taludes, cunetas de manejo de aguas lluvias, señalética, defensas caminera y espacio para ubicar tuberías y cable de fibra óptica. En general el ancho de la plataforma no debiera ser menor a 12 m.

3.2.2 Velocidad Máxima

La velocidad máxima admisible de diseño para el camino industrial será de 60 km/h.

3.2.3 Pendientes y Curvas

La máxima pendiente longitudinal admisible será del 12%.

La inclinación transversal mínima (bombeo) será de 2% curvas horizontales

Las curvas horizontales tendrán un radio mínimo admisible de 50 metros.

Las curvas verticales debieran considerar parábolas.

3.2.4 Superficie de Rodado

La superficie de rodado será superficie estabilizada compuesta por una mezcla controlada de suelo natural y roca molida o ripio de los botaderos de la mina.

No obstante lo anterior, se deberá realizar un estudio de alternativas mas adecuadas para la carpeta de rodado a implementar, con una sensibilización de costos de inversión y de operación a una carpeta de asfalto de acuerdo con las especificaciones del Manual de Carreteras.

3.2.5 Obras de Arte

Se debieran considerar obras especiales, tales como:

- Cruce de Quebradas: Se debiera considerar alcantarillas de fondo liso y fuerte pendiente para el adecuado transporte de piedras junto con las aguas, todo de acuerdo a las recomendaciones del Manual de Carreteras del MOP.
- Cruce de Caminos: Se debe contemplar las obras como señalización, sobre ancho de calzada, pista de aceleración, etc. de acuerdo al Manual de Carreteras.

3.2.6 Puentes

Se contempla la construcción de puentes o el reforzamiento de los existentes para una capacidad máxima de 100 Ton. Se debe evitar su ubicación en sendas de avalanchas.

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE TRABAJO

En consideración a los antecedentes recabados y disponibles, serán evaluados en la siguiente memoria los tramos el cual no existen caminos, llamados *Sector Colina – Loma el Caballo* y *Sector Los Bronces* y se excluirán en éste estudio los tramos en los que no fue posible realizar una visita en terreno y por consiguiente hacer su respectiva evaluación, entre los tramos excluidos se encuentran los siguientes caminos existentes:

- *Ruta Los Libertadores – Puente Colina:*

Tramo que mide aproximadamente 6,9 Km., y como se pudo constatar en la única visita realizada de todos los tramos, en general responde a un buen estándar de camino, con ancho de plataforma de aproximadamente 10 a 12 metros de carpeta granular. Ver fotografías en Anexo N° 3.

- *Tuberías de Pulpa Anglo American entre los esteros Arrayán y Colina:*

Tuberías que rodean el cerro Tornamesa, de aproximadamente 16,5 Km., tramo que en general es considerado una muy buena alternativa, con una plataforma ancha de carpeta granular, pero con zonas en las que existe potencial riesgos de avalanchas, especialmente en los dos kilómetros a las afuera del portal Ortiga del túnel de transporte de pulpa; dando como posible solución el subir dicho tramo para no estar influenciado por grandes volúmenes de avalanchas de los dos cerros contiguos. Esta apreciación es apoyada por el testimonio del Sr. René León, Consultor Experto en Avalanchas, quién tuvo la oportunidad de hacer un recorrido de la zona en Mayo del 2006, facilitando algunas fotografías que se pueden apreciar en Anexo N° 3.

A lo anterior se adhiere lo señalado por Sr. Daniel Guzmán quién especifica el realizar ensanches al camino en variados sectores, según su visita realizada.

- *Camino Industrial de Anglo American, cerca de portal San Francisco de las tuberías de pulpa hasta el portal del túnel Los Bronces:*

Tramo de aproximadamente 9,5 Km., que según lo consultado a profesionales de Arcadis Geotécnica responde a un excelente estándar de carpeta estabilizada con sal.

4.1 TRÁNSITO MEDIO DIARIO ANUAL (TMDA)

Debido a que no se cuenta con un tráfico vehicular y a la fecha no existe un análisis de estudio de impacto vial para las distintas posibilidades de ubicación a la planta concentradora de expansión Minera División Andina, el criterio a considerar para ésta memoria será un supuesto escenario donde la planta concentradora se ubicará en sector Loma el Caballo, de esta manera el trazado se verá solicitado por un mayor tránsito vehicular.

Según la Tabla 3.33 el criterio a considerar consiste en que dicho camino transitarán sólo los vehículos pesados, ya que según se tiene en antecedentes la actual ruta de acceso a mina Los Bronces, se encuentra en un muy buen estado, no presentándose a la fecha un impacto vial.

Conforme a lo anterior se estimará desde el empalme con ruta los Libertadores hasta sector Loma el Caballo un **Tránsito Medio Diario Anual de 270 Vehículos /día** en un sentido, de los cuales 140 corresponden a vehículos pesados (camiones y buses) y 130 a vehículos livianos como camionetas.

Desde el sector Loma el Caballo hasta el portal del túnel San Francisco se estima un porcentaje del valor antes mencionado de un 40%, dentro de los cuales sobre este valor, un 50% que corresponde al transporte de insumos, personal, contratistas u otros será proveniente de la Región Metropolitana, y el otro restante correspondería a dotación de Los Andes.

De acuerdo al criterio planteado, se presenta el siguiente flujo vehicular:

Tabla 4.34: Estimación tránsito medio diario anual

	División Andina (Veh./día)	División Los Bronces (Veh/día)
Insumos (Camiones)	5	63
Personal (Buses+Camionetas)	33	---
Otros	4	---
Total	42	63

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto tenemos un Tránsito Medio Diario Anual de 105 vehículos/día.

Del portal San Francisco hasta sector los Bronces se le adicionaría el flujo vehicular proveniente de la Región Metropolitana por Avenida Las Condes, que según Tabla 3.33 subiría a un TMDA de 217 vehículos/día.

Luego el camino y túnel proyectado en Los Bronces – Andina, se estiman **42 vehículos/día** (en un sentido).

4.2 DISEÑO GEOMÉTRICO

4.2.1 Diseño en Planta

4.2.1.1 Diseño Sector Colina – Loma el Caballo

Considerando la utilización del camino existente que une la ruta Los Libertadores hasta el puente Colina, se procede a verificar la zona mediante Carta IGM 1:50.000 al posible acceso y empalme al camino existente que corresponde a las tuberías de pulpa de Los Bronces.

Dado la equidistancia de curvas de nivel del plano, y la magnitud que se desea tenga la línea de pendiente que no superará el 12%, se calculó la longitud que debe tener un trazo elemental (L_e) de línea de pendiente, entre dos curvas de nivel sucesivas. Se procedió a trazar la línea de pendiente utilizando el software Autocad Land Desktop 2006, adoptando como pendiente de trabajo un 10% para prevenir posibles variaciones en la longitud al aplicar el trazado geométrico envolvente a la línea de pendiente. De esta forma se tiene:

$$L_e = \frac{50}{0,1} = 500[m]$$

El valor de L_e se fijó a partir del punto inicial y se fue aplicando para encontrar al punto siguiente que se sitúa sobre la próxima curva de nivel.

Cumplido lo anterior se estudio la posibilidad de escalonar la pendiente, acentuándola o disminuyéndola por tramos, para que la línea de pendiente siga por los terrenos que sean los más favorables de acuerdo con la topografía, conformación geológica y para evitar o rodear obstáculos como riscos, acantilados y zonas de deslizamientos.

En zonas donde se requirió curvas de retorno para salvar un desnivel importante se requirió limitar la pendiente en la zona de la curva, la que posee un radio cercano al mínimo aceptable de 60 metros. Dicho trazado puede ser visto en Plano N° 1, Anexo N°4.

4.2.1.2 Diseño Sector Los Bronces

Luego de observar la zona mediante las ortofotos disponibles, se propone que el trazado siga por las laderas del cordón de la disputada, esto de modo de no interferir las faenas dentro de mina Los Bronces, para luego empalmarlo a un túnel, túnel que es proyectado y especificado en 4.6.3.3.

Las condiciones de diseño para este sector son las mismas mencionadas anteriormente, sólo que por el alcance topográfico distinto se hizo variar la longitud elemental (L_e) adoptando como pendiente de trabajo, al igual que el anterior sector, un 10% para prevenir posibles variaciones en la longitud aplicar el trazado geométrico envolvente a la línea de pendiente. De esta forma se tiene:

$$L_e = \frac{5}{0,1} = 50[m]$$

Una vez cumplido lo anteriormente señalado, se procedió entonces a trazar el conjunto de rectas y curvas envolventes a la línea de pendiente seleccionada, dando origen al primer eje tentativo, el que debió verificarse mediante el estudio de rasante y emplazamiento de la plataforma.

Esta primera tentativa de rasante requirió establecer distancias acumuladas a lo largo del eje y la obtención del perfil de terreno y perfiles transversales representativos. Este estudio se simplificó mediante el software de diseño automatizado Autocad Land Desktop 2006, el cual permite controlar las alturas de corte y terraplenes, que al ser exagerados redundarán en problemas de estabilidad y costos de conservación futuros.

En el trazado, por ser montañoso, el conductor estará consiente de las limitaciones que impone el terreno y, consecuentemente, se empleará los elementos mínimos señalados por la norma para la Velocidad de Proyecto.

A continuación en la Tabla 4.35 se señala el alineamiento en planta:

Tabla 4.35: Cuadro alineamiento horizontal

Vértice	Norte	Este	Angulo en	Distancia entre Vértices	CURVAS			RECTAS	Dist.	Pto.
			Vértice		Radios	Tangentes	Desarrollo	[m]	Acum.	
V-1	6331385,668	379407,570								Inicio
				70,342		4,249		66,093	66,093	PC
V-2	6331455,791	379402,025	206,7561		80	4,249	8,490		74,583	FC
				98,310		3,014		91,048	165,631	PC
V-3	6331554,065	379404,700	195,2061		80	3,014	6,024		171,655	FC
				52,818		9,473		40,331	211,986	PC
V-4	6331606,822	379402,161	215,0075		80	9,473	18,859		230,845	FC
				73,037		1,380		62,183	293,029	PC
V-5	6331678,577	379415,786	197,8035		80	1,380	2,760		295,789	FC
				80,755		4,850		74,525	370,314	PC
V-6	6331758,387	379428,105	192,2910		80	4,850	9,687		380,001	FC
				101,568		12,262		84,457	464,458	PC
V-7	6331859,903	379431,360	219,3648		80	12,262	24,335		488,793	FC
				85,999		30,690		43,047	531,839	PC
V-8	6331941,086	379459,734	246,6403		80	30,690	58,610		590,449	FC
				108,369		10,240		67,439	657,888	PC
V-9	6331993,225	379554,736	183,7913		80	10,240	20,369		678,257	FC
				100,389		8,432		81,717	759,974	PC
V-10	6332062,133	379627,740	186,6287		80	8,432	16,803		776,776	FC
				95,095		2,352		84,310	861,087	PC
V-11	6332140,391	379681,765	203,7425		80	2,352	4,703		865,790	FC
				104,836		7,560		94,924	960,713	PC
V-12	6332223,017	379746,290	188,0038		80	7,560	15,075		975,788	FC
				50,414		8,220		34,635	1010,423	PC
V-13	6332267,860	379769,327	186,9636		80	8,220	16,382		1026,805	FC
				101,181		14,456		78,506	1105,310	PC
V-14	6332365,381	379796,295	222,7614		80	14,456	28,603		1133,913	FC
				98,008		16,423		67,129	1201,042	PC
V-15	6332444,728	379853,824	174,2198		80		32,396			

Vértice	Norte	Este	Angulo en	Distancia entre Vértices	CURVAS			RECTAS	Dist.	Pto.
			Vértice		Radios	Tangentes	Desarrollo	[m]	Acum.	
						16,423			1233,439	FC
				62,137				25,031		
						20,683			1258,470	PC
V-16	6332505,335	379867,528	232,2122		80		40,479			
						20,683			1298,949	FC
				91,888				57,574		
						13,631			1356,523	PC
V-17	6332573,908	379928,693	178,5114		80		27,003			
						13,631			1383,526	FC
				56,255				27,673		
						14,951			1411,199	PC
V-18	6332625,921	379950,123	176,4765		80		29,560			
						14,951			1440,759	FC
				136,642				108,921		
						12,770			1549,680	PC
V-19	6332762,532	379953,035	220,1546		80		25,327			
						12,770			1575,007	FC
				70,026				17,621		
						39,634			1592,629	PC
V-20	6332828,598	379976,249	258,5666		80		73,597			
						39,634			1666,225	FC
				232,693				179,061		
						13,998			1845,286	PC
V-21	6332900,233	380197,641	177,9447		80		27,716			
						13,998			1873,002	FC
				169,325				155,327		
V-22	6333003,966	380331,471							2028,329	Final

Fuente: Elaboración propia.

Lo anterior queda representado en Plano N° 4: Planta General, Anexo N° 4.

4.2.2 Diseño Alzado

Para el trazado de la rasante se consideraron diversos aspectos generales que se describen a continuación:

- En sectores en que el terreno es plano, la rasante debe discurrir normalmente en terraplén, considerando alturas que sean en función de la calidad del terreno natural y de las características de drenaje del área.
- Las pendientes mínimas fueron consideradas de acuerdo a los problemas de saneamiento de la plataforma, en especial en zonas de corte, para posibilitar el escurrimiento en cunetas y obras afines.
- Las pendientes máximas de diseño de acuerdo a las bases técnicas fueron de un 12%.
- Las rasantes en laderas se analizaron con la ayuda de perfiles transversales que, representan las irregularidades del terreno.
- En los terrenos con laderas cuya inclinación es similar o mayor que 2:3 (V:H), no se permitieron la construcción de terraplenes y, por lo tanto, la rasante se proyectó de modo que la plataforma quede totalmente en corte. En estos casos la cota de rasante quedó dada por la intersección del borde exterior de la plataforma con el terreno de la ladera.

- Las longitudes máximas admisibles en pendiente de subida de acuerdo al Manual de Carreteras está dado por la Tabla 2.7, pero dichos parámetros no se ajustan a las condiciones del trazado, ya que ésta supone una velocidad de entrada a la gradiente de 88 Km/hr con una reducción de hasta 64 Km/hr, por lo que se propone nuevas pendientes críticas en base al siguiente análisis teórico:

Físicamente potencia (P), fuerza (F) y velocidad (V) están relacionadas por: $P = F \cdot V$; luego, el esfuerzo de tracción F_t , en Kgs desarrollado por el motor y que es el encargado de contrarrestar las resistencias internas y externas, se expresa por:

$$F_t = 270 \cdot K \cdot \frac{P}{V} \quad (1)$$

En que:

P = Potencia del motor en H.P.

V = Velocidad del vehículo en Km/h

$$K = e_1 \cdot e_2$$

e_1 = eficiencia según la altura sobre el nivel del mar, h en metros. Empíricamente se ha demostrado que: $e_1 = 1.09 - 10^{-4}h$

e_2 = eficiencia mecánica, varía entre 0.88 y 0.95.

Al circular por un tramo horizontal de camino, antes de entrar a la gradiente, se le supone al vehículo en condiciones normales, con velocidad constante (aceleración nula); es decir, la resultante de fuerzas sobre él es nula; en ese instante la fuerza de tracción del vehículo es anulada por la sumatoria de fuerzas resistentes F_R internas y externas (roces internos, resistencia al rodaje, resistencia al aire, etc.), o sea:

$$F_t = \sum F_R \quad (2)$$

En virtud de lo anterior es que

$$\sum F_R = \frac{270 \cdot K}{V} \cdot P \quad (3)$$

Para determinadas condiciones se puede evaluar la fuerza de tracción en horizontal, dejándola en función del peso bruto vehicular.

Al entrar a la gradiente, además de las fuerzas mencionadas, comienza a actuar la componente de la fuerza del peso del vehículo en la dirección del movimiento de éste cuyo sentido es contrario al movimiento de dicho movimiento. Por otra parte las fuerzas resistentes que son proporcionales al peso normal del vehículo, se ven levemente afectadas por el coseno del ángulo de inclinación.

Como consecuencia de esta nueva fuerza, se produce una fuerza resultante F_d (Fuerza disponible), que desacelera el vehículo y tiene la siguiente expresión:

$$F_d = F_t - \sum F_R \cos(\alpha) - W \cdot \sin(\alpha) \quad (4)$$

En que:

α = ángulo de inclinación de la gradiente

W = peso bruto vehicular

Se está ahora en presencia de un movimiento uniformemente desacelerado que establece las siguientes ecuaciones:

$$\text{Segunda Ley de Newton, } F_d = m \cdot a \Rightarrow a = F_d \cdot \frac{g}{W} = F_d \cdot \frac{9.81}{W} \quad (5)$$

$$\Delta D = \frac{V_{\text{final}}^2 - V_{\text{inicial}}^2}{2 \cdot a} \quad (6)$$

Reemplazando (5) en (6) y haciendo la conversión de unidades necesarias, se obtiene la ecuación

$$\Delta D = \frac{V_{\text{final}}^2 - V_{\text{inicial}}^2}{254 \cdot \left(\frac{F_d}{W} \right)} \quad (7)$$

De esta forma volviendo a la ecuación (1):

$$\frac{F_t}{W} = \frac{270}{V} \cdot \frac{P}{W} \cdot K = \frac{270}{V} \cdot \frac{P}{W} \cdot (0.91 \cdot (1.09 - 10^{-4}h))$$

En función de V que ahora es variable.

De (3)

$$\frac{\sum F_R \cdot \cos(\alpha)}{W} = \frac{270 \cdot K}{V_p} \cdot \frac{P}{W} \cdot \cos(\alpha)$$

Reemplazando en (4)

$$\frac{F_d}{W} = \frac{F_t}{W} - \frac{F_R \cos(\alpha)}{W} - \frac{W \cdot \sin(\alpha)}{W}$$

$$\frac{F_d}{W} = \frac{270}{V_p} \cdot \frac{P}{W} \cdot (0.91 \cdot (1.09 - 10^{-4}h)) - \frac{270 \cdot K}{V} \cdot \frac{P}{W} \cdot \cos(\alpha) - \sin(\alpha)$$

Luego, reemplazando este valor en (7), se tiene:

$$\Delta D = \frac{V_{\text{final}}^2 - V_{\text{inicial}}^2}{254 \cdot \left(\frac{270}{V_p} \cdot \frac{P}{W} \cdot (0.91 \cdot (1.09 - 10^{-4}h)) - \frac{270 \cdot K}{V} \cdot \frac{P}{W} \cdot \cos(\alpha) - \sin(\alpha) \right)} \quad (8)$$

Se llega así a la fórmula que relaciona la disminución de velocidad ΔV , $V_f - V_i$, como la distancia ΔD en que ésta se produce, en función del ángulo de inclinación α de la gradiente. La fórmula es válida en la medida en que los ΔV y los correspondientes ΔD sean pequeños, pues sólo en esta condición se puede evaluar la velocidad media V_p como $(V_f + V_i)/2$.

Para comprobación de la anterior fórmula se compara con los supuestos del Manual de Carreteras, vale decir, con un camión tipo semitrailer o con acoplado, cargado, cuya relación peso/potencia sea del orden 92 Kgs/HP, considerando al comienzo de la pendiente una velocidad de 88 Km/hr y con una caída de velocidad de 64 Km/hr. De esta forma. El Manual de Carreteras no especifica la altura sobre el nivel del mar por lo que se supone unos 500 m.

Cabe señalar que a los datos antes mencionados, puesto que la fórmula conseguida se consideró como un cuerpo o masa sin dimensiones se le adicionará el largo del camión de 19 metros.

De esta forma al reemplazar en (8), se producen las siguientes diferencias con respecto al Manual de Carreteras:

Tabla 4.36: Tabla comparativa longitudes críticas

pendiente	Longitud s/Teoría (m)	Longitud s/Manual (m)	Diferencia (m)
3	594	1100	506
4	430	580	150
5	338	400	62
6	280	320	40
7	240	260	20
8	211	260	49

Fuente: Elaboración propia.

De la anterior tabla se puede inferir que existe algún factor de seguridad planteado o alguna metodología distinta ocupada para determinar esas longitudes críticas, por lo que para efectos de diseño y para estar acorde a lo señalado por el Manual de Carreteras se le adiciona esa diferencia por gradiente para el supuesto o escenario distinto, donde:

Según lo especificado por dicho manual, el máximo valor permitido cualquiera sea la subcombinación de ejes del conjunto es de 45 Ton, es decir:

$$\text{Peso Bruto Total (Tara + Carga)} = 45000 \text{ Kgs.}$$

De acuerdo al tipo de camiones que circulan en Chile, se considera la siguiente potencia,

$$\text{Potencia Promedio de Camiones} = 360 \text{ H.P., así}$$

$$\frac{\text{PesoTotal}}{\text{Potencia}} = 125 \left[\frac{\text{Kgs}}{\text{H.P.}} \right]$$

Las velocidades de entrada a la gradiente está dada por la velocidad de proyecto.

$$V = 60 \left[\frac{\text{Km}}{\text{hr}} \right]$$

Altura Sobre el nivel del mar: $h = 2000 \text{ mts, } \Rightarrow e_1 = 0.89$

Eficiencia mecánica: $e_2 = 0.91$

Por lo tanto, $K = 0.81$

Altura Sobre el nivel del mar: $h = 3000 \text{ mts, } \Rightarrow e_1 = 0.79$

Eficiencia mecánica: $e_2 = 0.91$

Por lo tanto, $K = 0.719$

Los valores de K, para efectos de diseño son considerados con una altura de 2500 m.s.n.m ya que no se presentan grandes diferencias de distancias.

Reemplazando en (9) para $V = 60 \left[\frac{\text{Km}}{\text{hr}} \right]$

Tabla 4.37: Longitud crítica en pendiente a velocidad de entrada gradiente 60 Km/hr

i %	Longitud Crítica (m)
1	2280
2	1070
3	850
4	400
5	260
6	200
7	185
8	175
9	160
10	150
11	145
12	140
13	135

Fuente: Elaboración propia.

Una vez definida la rasante se procedió al trazado de las curvas verticales tomando en consideración la Tabla 2.8, donde la velocidad de proyecto (V_p) para el camino sector los bronces será de 40 Km/hr. Dichas curvas obtenidas se verifican de acuerdo a la comodidad y estética, $2T(m) \geq |V_p|$ (Kph). En la Tabla 4.38, se muestra el procedimiento adoptado.

Tabla 4.38: Largo diseño curvas verticales

Vértice	$i_1(\%)$	$i_2(\%)$	i_1-i_2 (m/m)	Curva	K	Largo Curva (m)	Largo Diseño (m)
1	0,7	11,77	0,1107	Cóncava	500	55,35	60
2	11,77	8	0,0377	Convexa	400	15,08	40
3	8	11,97	0,0397	Cóncava	500	19,85	40
4	11,97	8,5	0,0347	Convexa	400	13,88	40
5	8,5	10,35	0,0185	Cóncava	500	9,25	40
6	10,35	7,86	0,0249	Convexa	400	9,96	40
7	7,86	12,47	0,0461	Cóncava	500	23,05	40
8	12,47	7	0,0547	Convexa	400	21,88	40
9	7	11,17	0,0417	Cóncava	500	20,85	40
10	11,17	7,35	0,0382	Convexa	400	15,28	40
11	7,35	9,02	0,0167	Cóncava	500	8,35	40
12	9,02	5,65	0,0337	Convexa	400	13,48	40
13	5,65	10,46	0,0481	Cóncava	500	24,05	40

Fuente: Elaboración propia

Conocido los largos de las curvas se procede a determinar el alineamiento vertical, con el programa computacional Autocad Land Desktop 2006.

Tabla 4.39: Alineamiento vertical

Vértice	Estación	Elevación	Pendiente Salida (%)	Largo Curva (m)
1	0+000.000	3355.00	0.70	
2	0+045.771	3355.32	11.77	60.00
	Información Curva Vertical			
	Principio Curva:	0+015.771	Elevación:	3355.11
	Vertice Curva:	0+045.771	Elevación:	3355.32
	Fin Curva:	0+075.771	Elevación:	3358.85
	Pendiente Entrada (%):	0.70	Pendiente Salida (%):	11.77
	Cambio pendiente (%):	11.08		
	Largo Curva:	60.00		
3	0+185.771	3371.80	8.00	40.00
	Información Curva Vertical			
	Principio Curva:	0+165.771	Elevación:	3369.45
	Vertice Curva:	0+185.771	Elevación:	3371.80
	Fin Curva:	0+205.771	Elevación:	3373.40
	Pendiente Entrada (%):	11.77	Pendiente Salida (%):	8.00
	Cambio pendiente (%):	3.77		
	Largo Curva:	40.00		
4	0+360.771	3385.80	11.97	40.00
	Información Curva Vertical			
	Principio Curva:	0+340.771	Elevación:	3384.20
	Vertice Curva:	0+360.771	Elevación:	3385.80
	Fin Curva:	0+380.771	Elevación:	3388.19
	Pendiente Entrada (%):	8.00	Pendiente Salida (%):	11.97
	Cambio pendiente (%):	3.97		
	Largo Curva:	40.00		
5	0+510.000	3403.67	8.50	40.00
	Información Curva Vertical			
	Principio Curva:	0+490.000	Elevación:	3401.27
	Vertice Curva:	0+510.000	Elevación:	3403.67
	Fin Curva:	0+530.000	Elevación:	3405.37
	Pendiente Entrada (%):	11.97	Pendiente Salida (%):	8.50
	Cambio pendiente (%):	3.47		
	Largo Curva:	40.00		
6	0+680.000	3418.12	10.35	40.00
	Información Curva Vertical			
	Principio Curva:	0+660.000	Elevación:	3416.42
	Vertice Curva:	0+680.000	Elevación:	3418.12
	Fin Curva:	0+700.000	Elevación:	3420.19
	Pendiente Entrada (%):	8.50	Pendiente Salida (%):	10.35
	Cambio pendiente (%):	1.85		
	Largo Curva:	40.00		
7	0+830.000	3433.65	7.86	40.00
	Información Curva Vertical			
	Principio Curva:	0+810.000	Elevación:	3431.58
	Vertice Curva:	0+830.000	Elevación:	3433.65
	Fin Curva:	0+850.000	Elevación:	3435.22
	Pendiente Entrada (%):	10.35	Pendiente Salida (%):	7.86
	Cambio pendiente (%):	2.49		
	Largo Curva:	40.00		
8	1+030.000	3449.36	12.47	40.00
	Información Curva Vertical			
	Principio Curva:	1+010.000	Elevación:	3447.79
	Vertice Curva:	1+030.000	Elevación:	3449.36
	Fin Curva:	1+050.000	Elevación:	3451.86
	Pendiente Entrada (%):	7.86	Pendiente Salida (%):	12.47
	Cambio pendiente (%):	4.61		
	Largo Curva:	40.00		
9	1+180.000	3468.06	7.00	40.00
	Información Curva Vertical			
	Principio Curva:	1+160.000	Elevación:	3465.57
	Vertice Curva:	1+180.000	Elevación:	3468.06
	Fin Curva:	1+200.000	Elevación:	3469.46

Vértice	Estación	Elevación	Pendiente Salida (%)	Largo Curva (m)
	Pendiente Entrada (%):	12.47	Pendiente Salida (%):	7.00
	Cambio pendiente (%):	5.47		
	Largo Curva:	40.00		
10	1+360.000	3480.66	11.18	40.00
	Información Curva Vertical			
	Principio Curva:	1+340.000	Elevación:	3479.26
	Vertice Curva:	1+360.000	Elevación:	3480.66
	Fin Curva:	1+380.000	Elevación:	3482.90
	Pendiente Entrada (%):	7.00	Pendiente Salida (%):	11.18
	Cambio pendiente (%):	4.18		
	Largo Curva:	40.00		
11	1+510.000	3497.42	7.35	40.00
	Información Curva Vertical			
	Principio Curva:	1+490.000	Elevación:	3495.19
	Vertice Curva:	1+510.000	Elevación:	3497.42
	Fin Curva:	1+530.000	Elevación:	3498.89
	Pendiente Entrada (%):	11.18	Pendiente Salida (%):	7.35
	Cambio pendiente (%):	3.83		
	Largo Curva:	40.00		
12	1+710.000	3512.12	9.02	40.00
	Información Curva Vertical			
	Principio Curva:	1+690.000	Elevación:	3510.65
	Vertice Curva:	1+710.000	Elevación:	3512.12
	Fin Curva:	1+730.000	Elevación:	3513.92
	Pendiente Entrada (%):	7.35	Pendiente Salida (%):	9.02
	Cambio pendiente (%):	1.67		
	Largo Curva:	40.00		
13	1+820.000	3522.04	5.65	40.00
	Información Curva Vertical			
	Principio Curva:	1+800.000	Elevación:	3520.24
	Vertice Curva:	1+820.000	Elevación:	3522.04
	Fin Curva:	1+840.000	Elevación:	3523.17
	Pendiente Entrada (%):	9.02	Pendiente Salida (%):	5.65
	Cambio pendiente (%):	3.37		
	Largo Curva:	40.00		
14	1+981.293	3531.15	10.46	40.00
	Información Curva Vertical			
	Principio Curva:	1+961.293	Elevación:	3530.02
	Vertice Curva:	1+981.293	Elevación:	3531.15
	Fin Curva:	2+001.293	Elevación:	3533.24
	Pendiente Entrada (%):	5.65	Pendiente Salida (%):	10.46
	Cambio pendiente (%):	4.81		
	Largo Curva:	40.00		
15	2+028.330	3536.07		

Fuente: Elaboración propia

Ver Plano N° 4: Perfil Longitudinal, Anexo N° 4.

4.3 MARCO GEOLÓGICO

4.3.1 Geología del Trazado

4.3.1.1 Sector Colina – Loma el Caballo

Realizando el emplazamiento del camino en el Mapa Geológico Regional preparado por ARCADIS Geotécnica, se detallan por tramos el tipo de suelo y/o roca:

Tabla 4.40: Geología del trazado

Km.		Unidad de Suelo y/o Roca
De	Hasta	
6,928	11	OMh
11	17,6	OAi
17,6	19,9	OAs
19,9	21	Qrm
21	22,3	OAi
22,3	24,4	Qrm
24,4	24,5	Qa
24,5	27	OAs
27	29,1	Qc
29,1	31,6	OAs

Fuente: Captura Información Geológica – Geotécnica para proyecto nueva Andina. Mapa Geológico Regional. ARCADIS GEOTÉCNICA (2005).

OMh: Los intrusivos hipabisales del Mioceno (OMh), con afloramiento de andesitas, dioritas e incluso gabros, que constituyen cuellos volcánicos y diques.

OAi: Formación Abanico, miembro inferior. Es netamente volcánico y formado por lavas andesíticas y basálticas con intercalaciones piroclásticas continentales que van de gruesas a finas.

OAs: Formación Abanico, miembro superior está constituido por brechas piroclásticas, brechas epiclásticas finas, tobas, conglomerados, areniscas y localmente lutitas, en parte arenosas

Qrm: Depósitos de remoción en masa.

Qa: Depósitos aluviales indiferenciados.

Qc: Depósitos coluviales indiferenciados, escombros de falda y conos de escombros de talud.

4.3.1.2 Sector Los Bronces

A lo largo de los 2 Kilómetros proyectado las formaciones rocosas en el área de Los Bronces corresponden a intrusivos del período Mioceno, cuyas litologías son granodioritas, tonalitas, granitos, y por otra parte, monzonitas, monzodioritas y dioritas.

4.3.2 Riesgos Geológicos

4.3.2.1 Sector Colina – Loma el Caballo

Aunque los riesgos geológicos detectados son declarados de baja importancia, habrá que considerar factores de mitigación a dichos deslizamientos detectados principalmente de remoción en masa que solicitan al trazado, de esta forma al hacer el emplazamiento del camino en el plano geológico regional los tramos entre el Km. 19,9 - 21, y luego del Km 22,3 - 24,4 están conectados con una gran remoción en masa cuyo eje se dispone en dirección WNW y tiene una longitud de seis kilómetros y una anchura irregular, máxima, de 1,5 Km. De una manera general, se ubica mayoritariamente sobre la coordenada N. 6.325.000.

Por último, se identifica entre el Km. 27 - 29,1 una zona bastante continua y regular con un valor angular promedio de 5° el cual está cubierto por depósitos coluviales, probablemente con arcillas montmorilloníticas, cuyo espesor no debe sobrepasar los 2 m.

4.3.2.2 Sector Los Bronces

Como fue señalado anteriormente, éste sector está esencialmente expuesto a avalanchas de nieve principalmente en una extensión de 2 Kilómetros por lo que habrá que contar con medidas de control de las avalanchas. Ver Plano N° 8, Anexo N° 4.

4.4 DISEÑO SECCIÓN TRANSVERSAL

4.4.1 Diseño Plataforma

4.4.1.1 Sector Colina – Loma el Caballo

De acuerdo a la información disponible que resulta escasa tanto topográfica como grado de meteorización del suelo, y conforme a lo señalado a las zonas de riesgos geológicos, es que de manera preliminar se proponen dos secciones tipo, haciendo variar los taludes de acuerdo al emplazamiento geológico presente.

Una sección se diferencia a la otra, en el ancho de la calzada ya que se proyecta según los requerimientos técnicos señalados anteriormente en 3.2.1, en pendientes sobre un 8% una tercera pista para adelantamiento de vehículos.

Pese a que se trazó la rasante en el perfil longitudinal, ésta es sólo preliminar para un estudio con mayor información. Ver Plano N° 2: Perfil Longitudinal, Anexo N° 4.

Teniendo en cuenta el variado tipo de material que será necesario cortar, se recomiendan los siguientes ángulos de corte con respecto a la horizontal.

Tabla 4.41: Ángulos de corte recomendado

Tipo de Material	Angulo de Corte Recomendado (c/r a la horizontal)
Relleno aluvial de fondos de ríos y quebradas	40° - 45°
Terrazas aluviales y aluvionales altas. Conos de deyección	50° - 55°
Escombros de falda	45° - 55°
Terrazas fluvio-glaciales altas	55°
Depósitos de derrumbes y/o deslizamientos	45° - 55°
Depósitos morrénicos	45° - 50°
Rocas de fuerte meteorización, relativamente blandas y fracturadas	60°
Rocas de moderada a nula meteorización, duras y poco fracturadas	>70°

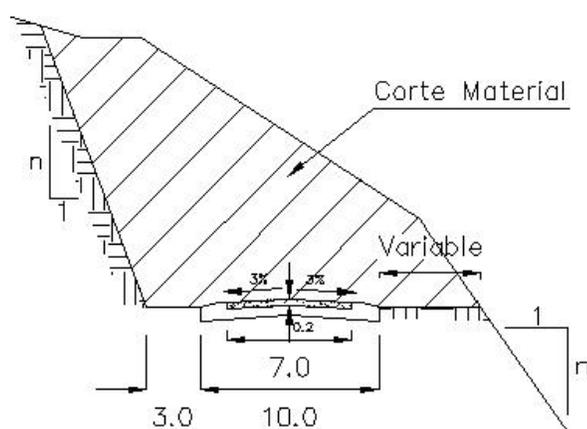
Fuente: Estudio Técnico Complementario del corredor alternativo al paso del Cristo Redentor entre Chile y Argentina. Informe Final, Volumen 3, Anteproyectos Preliminares. Septiembre 1998.

En zonas donde se empleen relleno o terraplén se considerarán taludes 3:2 (H:V).

En las siguientes tablas y Figuras se especifican los perfiles:

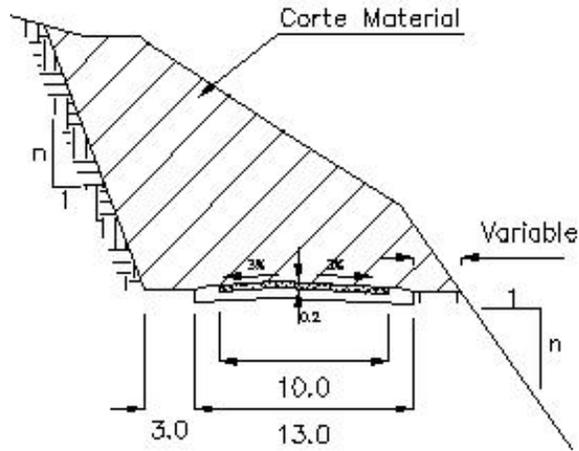
	Ancho (m)	Gradiente (%)
Calzada derecha	6,5	3
Calzada izquierda	3,5	3
Bermas	1	3
SAP izquierdo	0,5	10
SAP derecho	0,5	10

Figura 4.18: Perfil tipo 1 Colina - Loma el Caballo



	Ancho (m)	Gradiente (%)
Calzada derecha	3,5	3
Calzada izquierda	3,5	3
Bermas	1	3
SAP izquierdo	0,5	10
SAP derecho	0,5	10

Figura 4.19: Perfil tipo Colina - Loma el Caballo



4.4.1.2 Sector Los Bronces

De acuerdo a la rasante proyectada donde se diseñan pendientes en gran parte del trazado sobre el 8%, esto para disminuir el corte excesivo en roca, se proyectan tres tipos de plataformas a lo largo del los 2 kilómetros haciendo variar los taludes de corte.

A continuación se entrega un detalle por Kilometraje de la plataforma diseñada con sus respectivos taludes estimados, para poder realizar los movimientos de tierra.

Tabla 4.42: Tabla resumen dimensiones secciones tipo sector Los Bronces

De m	Hasta m	Calzada derecha		Calzada izquierda		Bermas		SAP izquierdo		SAP derecho		Talud Izquierdo (H:V)		Talud Derecho (H:V)		Perfil Tipo
		Ancho (m)	Grad (%)	Ancho (m)	Grad (%)	Ancho (m)	Grad (%)	Ancho (m)	Grad (%)	Ancho (m)	Grad (%)	Corte H:V	Terraplén H:V	Corte H:V	Terraplén H:V	
0	400	6,5	2	3,5	2	0,5	10	0,5	10	0,5	10	1:1,3	3:2	3:1	3:2	1
400	1380	6,5	2	3,5	2	0,5	10	0,5	10	0,5	10	1:1,3	3:2	100:1	3:2	2
1380	1510	3,5	3	3,5	3	1	3	0,5	10	0,5	10	1:1,3	3:2	1:1,3	3:2	3
1510	1790	3,5	3	3,5	3	1	3	0,5	10	0,5	10	1:2	3:2	1:2	3:2	4
1790	2038	6,5	3	3,5	3	0,5	10	0,5	10	0,5	10	1:2	3:2	1:2	3:2	5

Figura 4.20: Sección tipo 1 Sector Los Bronces

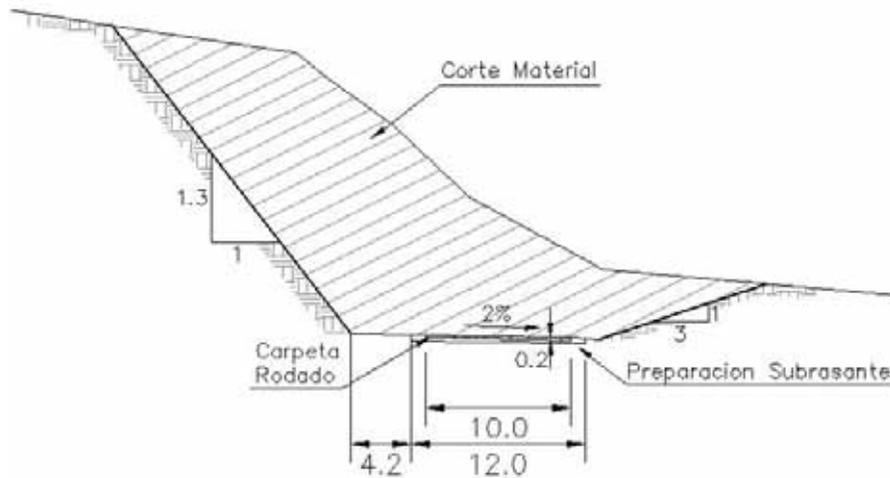


Figura 4.21: Sección tipo 2 Sector Los Bronces

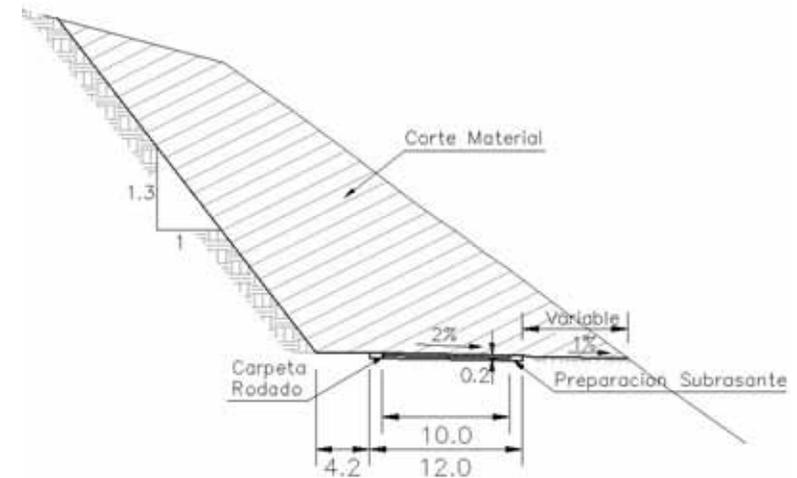


Figura 4.22: Sección tipo 3 Sector Los Bronces

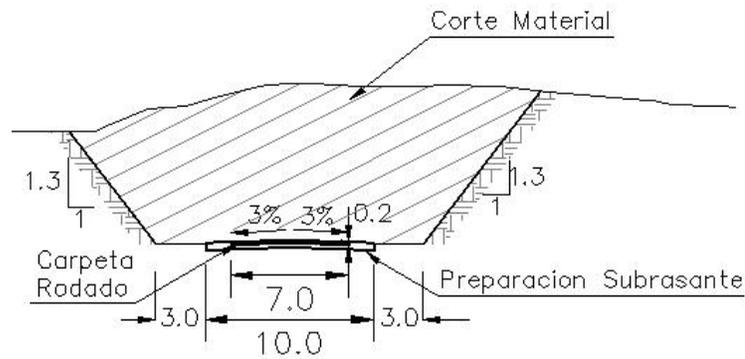


Figura 4.23: Sección tipo 4 Sector Los Bronces

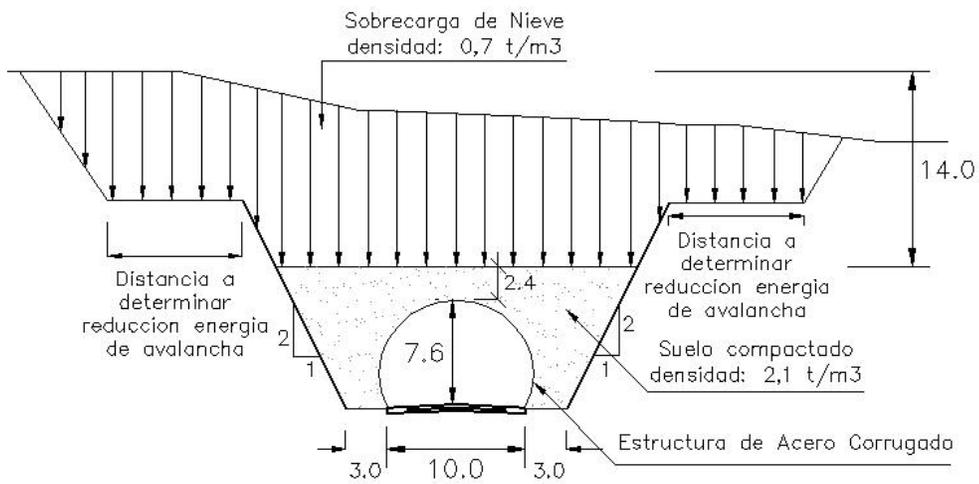
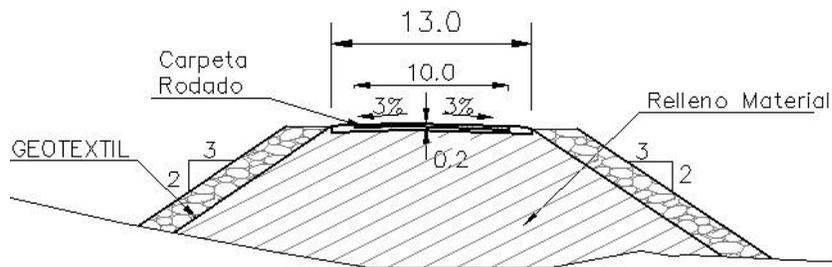


Figura 4.24: Perfil tipo 5 Sector Los Bronces



Nota: Los Perfiles detallados no se encuentran escalados..

De acuerdo a lo manifestado por profesionales del rubro vial , no se recomienda cortes cerrados en cordillera, ya que es mas complejo el despeje o retiro de nieve, pese a esto, para el diseño del proyecto se consideró un pequeño talud al costado de la ladera en el primer tramo de 400 metros, y luego otro de 130 metros, esto se optó para no aumentar el corte en roca lo que se traduce en un aumento al costo del camino; esto deberá ser analizada mayormente en terreno.

4.4.2 Obras de Protección

4.4.2.1 Sector Los Bronces

Como se vio en 3.1.4.1 y de acuerdo al catastro representado en el Plano de Avalanchas del sector Los Bronces, se debe establecer un control para las sendas, como el cierre temporal del camino incluyendo eventualmente acciones como el control de tráfico, el inicio artificial de avalanchas y construcción de protecciones pasivas.

Para la inducción de avalanchas se propone el sistema Gaz-Ex, sistema que se utiliza mayormente en Los Bronces y en algunas zonas de División Andina. Dicho sistema consiste en la utilización de mezclas de gases para producir la explosión, las que son detonadas en puntos de las zonas de inicio de las avalanchas en tuberías con forma de pipa invertida instalada en esos puntos.

La idea del Gaz-Ex es utilizar las propiedades fuertemente exotérmicas de la mezcla de propano y oxígeno. Al estar la mezcla confinada y recibir una chispa, explota.

La mezcla se efectúa en el interior de un recipiente en forma de tubo de 0,5 a 4,5 m³, abierto en un extremo (el explosor), el cual dirige la explosión directamente, por medio de una tobera, hacia la zona de inicio de la avalancha que se quiere controlar. El confinamiento se obtiene por efecto de un llenado rápido, seguido inmediatamente por la ignición, que se logra por intermedio de una bujía.

Como método de protecciones pasivas se propone el uso más efectivo para el control de las avalanchas como son los *postes telescópicos*, que permiten adaptarse fácilmente a la topografía del terreno en la zona de inicio de la avalancha; son estructuras preensambladas de 4 m de ancho pueden ser transportadas por helicóptero directamente al lugar de construcción. Ver Figura 4.25.

Figura 4.25: Protección avalanchas. Postes telescópicos



Fuente: www.geobrugg.com

En Anexo N° 3 se ilustran postes telescópicos usados en Camino Industrial de Andina.

Otro método de estructuras de prevención de avalanchas y nieve en lugar de barreras de nieve es el uso en base a mallas de alambre de acero que han demostrado su idoneidad cuando se toman en cuenta consideraciones estéticas y peso ligero para transporte, el cual permite transportarla por aire en paños de hasta 12 metros de largo.

Figura 4.26: Protección avalanchas. Malla de alambre de acero



Fuente: www.geobrugg.com

Se propone a lo largo del trazado el uso de cobertizos de hormigón armado ubicado en las sendas de avalanchas, según Plano N° 8, Anexo N° 4.

Figura 4.27: Cobertizo



4.4.2.2 Sector Colina – Loma el Caballo

Para sectores donde existan propensos deslizamientos de rocas, una vez limpia, nivelada y perfilada la superficie, cubrir con un enrejado de alambre de acero, pretensado generalmente con una fuerza predefinida, mediante anclajes para tierra o roca previamente posicionados, y placas de fijación. En pocas palabras: el enrejado se adapta a la topografía, impidiendo, de esta forma, no sólo deslizamientos (y deformaciones), sino también agrietamientos.

Figura 4.28: Protección desprendimientos de rocas



www.geobrugg.com

4.4.3 Diseño Lechos de Frenado o Pistas de Emergencias

De lo referido en 2.2.2 por el Manual de Carreteras se considerará la información entregada por el Sr. René León, Consultor experto en Avalanchas, titulado “*Criterios Básicos para rampas de escape de camiones*”, el cual estima lo siguiente:

Para que una rampa de salvamento tenga un buen efecto, ello depende de dos factores fundamentales:

- Angulo de inclinación o pendiente de la rampa
- Calidad del agregado pétreo utilizado en la cama de salvamento

Agregado Pétreo

Estudios desarrollados en EE.UU. con materiales de granulometría ¾” a 1/4” y de 3/8” a malla Nº 10 (gravilla fina y arena). Se pudo concluir que:

- La penetración de la rueda es muy similar con materiales limpios y secos.
- Se comprobó que el material grueso es de mejor comportamiento al congelamiento, no habrá absorción de energía en la cama de detención si hay congelamiento superficial.
- Las principales causas del congelamiento de las rampas de salvamento, son:
 - Mayor % de agregado fino en la granulometría.
 - La temperatura ambiente.
 - La humedad del agregado pétreo.
- Un buen sistema de drenaje es fundamental para el diseño de la cama de detención. La mantención adecuada y más recomendada, es en base a la escarificación y mezcla de los agregados pétreos, una vez al año, y/o cada vez que sea usada.

Ecuación de diseño

Básicamente, se establece la longitud de la cama de detención la que puede ser combinada, con muros de impacto, tambores rellenos de arena y/o muros de arena.

Se recomienda para el diseño de la longitud de la cama de detención, la fórmula siguiente:

$$L = A \cdot V + B \cdot V^2 + C \cdot V^3$$

Donde; L = Longitud mínima o distancia de detención de la cama (ft = 0,3048 m).

V = Velocidad de entrada a la cama. (MI/h) (1 MI/h = 1,609 km/h).

A, B, C = Constantes

Tabla 4.43: Constantes largo detención de la cama

Constante	Grado de inclinación de la cama					
	-5	0	5	10	15	20
A	2,6820	0,6	0,448	0,387	0,330	0,292
B	0,1190	0,0210	0,0149	0,0148	0,0143	0,0138
C	0,000661	0,00092	0,000314	0,000205	0,000153	0,000122

Fuente: Criterios Básicos para rampas de escape de camiones. Sr. René León G. (2006)

Criterio de diseño propuesto

En base a la información manejada se establece como criterio propuesto un promedio entre las dos metodologías, de esta manera se tiene la siguiente tabla:

Tabla 4.44: Criterio diseño propuesto largo salida emergencia

	-5	+0	+5	+10
Manual de Carreteras	58	52	47	43
Criterio Sr. René León	155	59	30	25
Criterio diseño propuesto (m)	107	56	38	34

Fuente: Elaboración propia

Si bien dichos valores responden a un análisis teórico, el diseño de dichas pistas estarán en mayor medida determinadas en lugares estratégicos que deberán ser estudiadas mayormente en terreno, de acuerdo a esto el Manual de Carreteras propone distancias teóricas entre pistas de emergencias, el cual supone de acuerdo al análisis señalado anteriormente en el 2.2.2, un factor de retención r_f , el cual está relacionado con la retención que el vehículo le impone a la marcha en gradiente de bajada. En relación a esto la Asociación Chilena de Seguridad (ACHS) y los profesionales que han tenido conocimiento de los accidentes en alta montaña, señalan que un gran porcentaje de los accidentes son ocasionados por conducir en “neutro”, o por que los vehículos han tomado mucha velocidad en bajada lo que trae como consecuencias que los cambios se salgan de su posición. De acuerdo a éste antecedente se proponen nuevas distancias entre pistas de emergencias, considerando el criterio del Manual de Carreteras disminuyendo dicho factor de retención del vehículo r_f a 0,026.

Tabla 4.45: Distancias teóricas entre pistas de emergencia propuesta

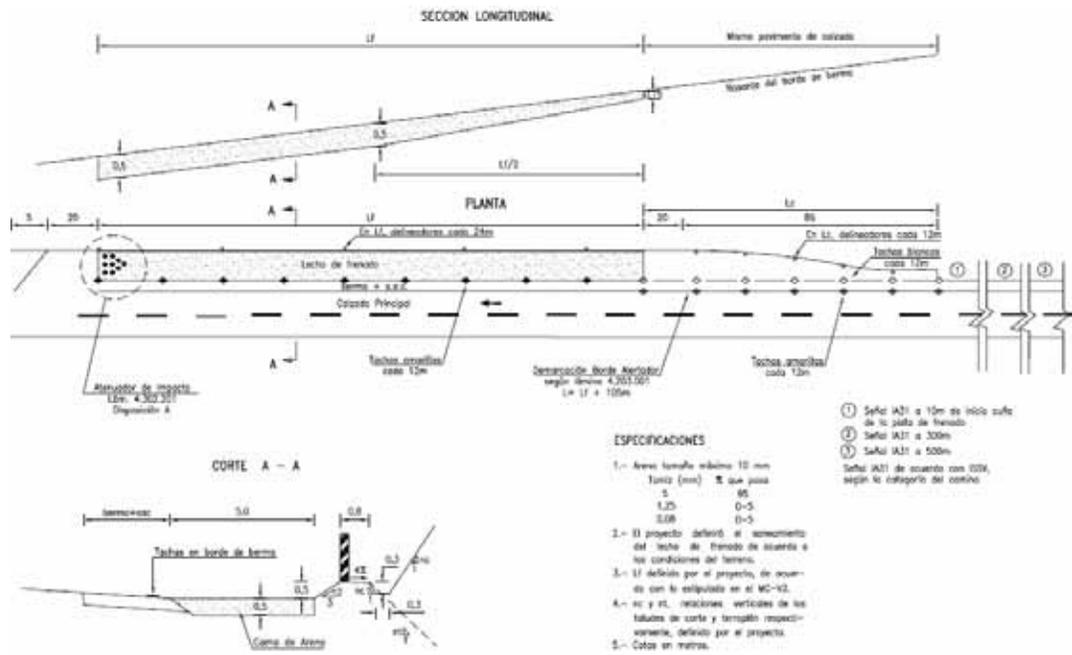
i (m/m)	D
0,04	1095,55092
0,05	639,071368
0,06	451,109201
0,07	348,584383
0,08	284,031719
0,09	239,651763
0,1	207,26639
0,11	182,59182
0,12	163,167158

Fuente: Elaboración propia

En el Anexo N° 3 se ilustran fotografías de unas de las pistas de emergencias que presenta el camino industrial de División Andina, fotografías que fueron extraídas durante la visita realizada en Julio del 2006.

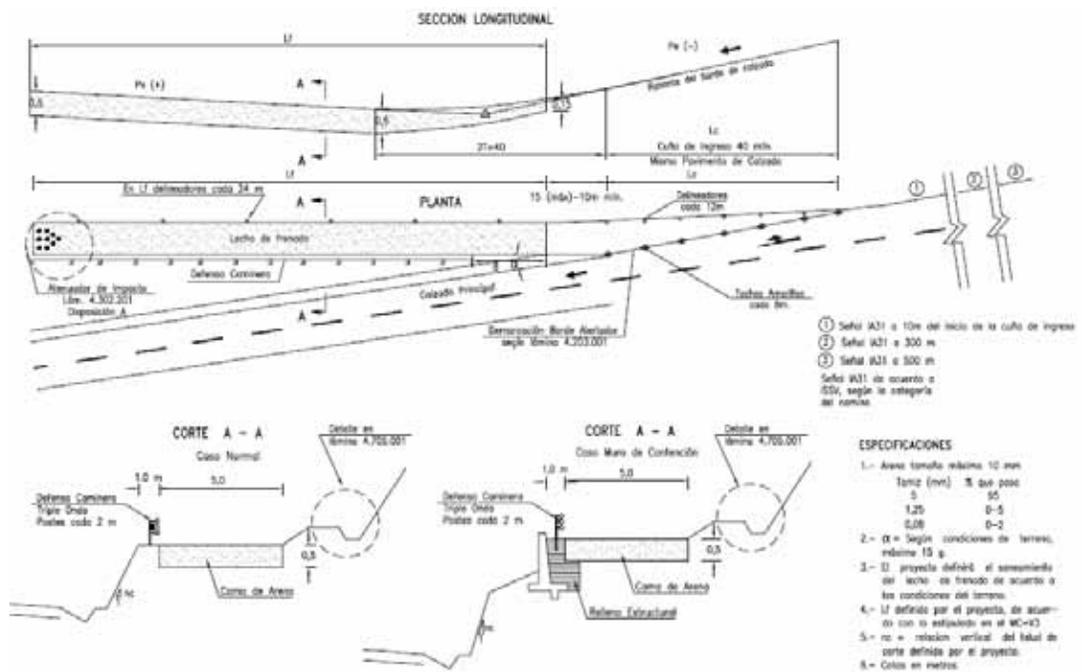
A continuación se establecen las figuras de diseño propuesto por el Manual de Carreteras, Volumen N° 4, Planos de Obras Tipo.

Figura 4.29: Lecho de frenado en pendiente fuerte pista pasarela a la calzada



Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°4.

Figura 4.30: Lecho de frenado en pendiente fuerte pista divergente a la calzada



Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°4.

4.5 SANEAMIENTO HIDRÁULICO Y DRENAJE DE LA PLATAFORMA

4.5.1 Criterios al Diseño

El presente análisis tiene por objetivo determinar, sobre las bases de antecedentes hidrológicos señalados anteriormente en 3.1.2 los caudales de diseño para definir un predimensionamiento de las obras de drenaje y saneamiento requeridas por el camino.

La alternativa a considerar, está conformada principalmente por la colocación de obras de arte transversales y cunetas con la complementación de fosos y contrafosos longitudinales en los sectores en que la pendiente transversal lo permita.

La metodología utilizada en el *Sector Ortiga – Arrayán y Colina – Loma el Caballo*, consistió en el análisis de los antecedentes antes mencionados y observar el escenario más desfavorable, vale decir, caudales que según dichos antecedentes pueden predecir un caudal mayor. Como norma para la aplicación de la información se emplearon sólo rendimientos específicos de caudales instantáneos de crecidas expresadas en $\text{m}^3/\text{s}/\text{Km}^2$. Los rendimientos específicos se aplicarán tanto a cursos principales como a quebradas de cualquier naturaleza.

El área aportante en el punto a calcular se determina en función de la escala cartográfica 1:50.000, para ello se utiliza el programa computacional Autocad 2006.

Para el *Sector Los Bronces*, por ser un área principalmente de tipo nival, se consideró un caudal máximo instantáneo de acuerdo al “*Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales mínimos en cuencas sin información pluviométrica*”, de la Dirección General de Aguas, del Ministerio de Obras Públicas.

4.5.2 Caudales y Soluciones Adoptadas

4.5.2.1 Sector Colina – Loma el Caballo

Según Tabla 3.27, el caudal medio mensual máximo anual considerando una probabilidad de excedencia de 5%, o un periodo de retorno de 20 años, es de $8,93 \text{ m}^3/\text{s}$, con área de drenaje aproximada calculada de 257 Km^2 , lo que da un rendimiento específico de $0,04 \text{ m}^3/\text{s}/\text{Km}^2$.

Según el “Informe Geotécnico Final. Proyecto expansión Los Bronces - Sistema transporte de pulpa” (1989), se emplea el rendimiento específico no probabilística, donde el punto de control se realiza en el puente de cruce de la ruta con el río Colina con un área aportante de 115 Km^2 para una línea nival entre los 2000 y 2500 m.s.n.m, siendo el rendimiento específico para un periodo de retorno de 50 años y 100 años de $2,6 \text{ m}^3/\text{s}/\text{Km}^2$, es decir, existe un caudal instantáneo en el río Colina en el sector de cruce de $300 \text{ m}^3/\text{seg}$.

Conforme a lo anterior, y de acuerdo a los antecedentes manejados con distintos niveles de precisión de caudales y periodos de retorno, el rendimiento específico para un prediseño será de $2,6 \text{ m}^3/\text{s}/\text{Km}^2$.

De acuerdo al criterio tomado, en referencia al área de drenaje de 115 Km^2 con una línea de nieve de 2500 m.s.n.m., se establecen dentro de ella tres subcuencas que son de mayor relevancia

dentro del área de proyecto, calculando de manera aproximada su área aportante y estableciendo su caudal. Ver Tabla 4.46.

Tabla 4.46: Cuencas Sector Colina

Nº Cuenca	Area aport. Aprox. Km ²	Rend. Espec. m ³ /s/Km ²	Caudal Aportante m ³ /s
1	18,42	2,6	47,892
2	2,27	2,6	5,902
3	10,1	2,6	26,26

Fuente: Elaboración propia

Utilizando el mismo criterio de cálculo de caudales anteriormente, se procedió a subdividir subcuencas por donde es solicitado el trazado, calculando su área aportante y su respectivo caudal, lo que se señala en la Tabla 4.47:

Tabla 4.47: Caudales obras de arte

Kilometraje	Cuenca y/o Subcuenca	Area aport.aprox Km ²	Caudal m ³ /s
9,35	1	18,42	47,892
10,7	2	2,4	6,24
19,9	1-1	8	20,8
21,25	1-2	2,6	6,76
22,3	1-2	2,6	6,76
23,7	1-3	1,13	2,938
24,45	1-4	4,85	12,61
27	3-1	1	2,6
29,2	3-2	0,6	1,56
30,3	1-5	0,6	1,56
31,3	1-6	0,35	0,91
36	4	3,5	3,43

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los caudales adoptados se aplica sólo un método simple de área solicitante de dicho cauce, donde el caudal está definido por $Q = V \cdot A$, donde V es la velocidad y A es el área de escurrimiento.

La velocidad de escurrimiento se asumirá de acuerdo a lo especificado en la Tabla 2.19 del Manual de Carreteras donde se indican los valores de velocidades máximas admisibles de escurrimiento en canales no revestidos de acuerdo al tipo de suelo, donde se asumirá un valor medio de 2 m/s, lo que corresponde a un material graduado desde arcilla a grava.

De esta forma a partir del área solicitante se obtiene el diámetro de la tubería y en el caso que dicho valor supere a las tuberías utilizadas según Manual de Carreteras se consulta el uso de Puentes Losa o badén con escurrimiento permanente. El primero tiene como objetivo de garantizar la transitabilidad de la vía, para ello se considera la colocación de losa de hormigón de

luz libre 10 metros en los sectores singulares de descargas importantes, que no reciban aporte aluvional, descartando el uso de tubos de hormigón para no alterar el cauce natural existente, dichos puentes deberán ser diseñados para una capacidad máxima de 100 ton. La segunda alternativa de uso de badén de escurrimiento permanente se justifica en caso de existir quebradas con arrastre de material y comportamiento aluvional; de tal manera que una vez pasado el evento aluvional, permitan su mantención y un flujo permanente bajo la calzada mediante tubo de hormigón liso.

En la Tabla 4.48 se hace un resumen de lo antes expuesto, con la respectiva solución adoptada.

Tabla 4.48: Obras de arte

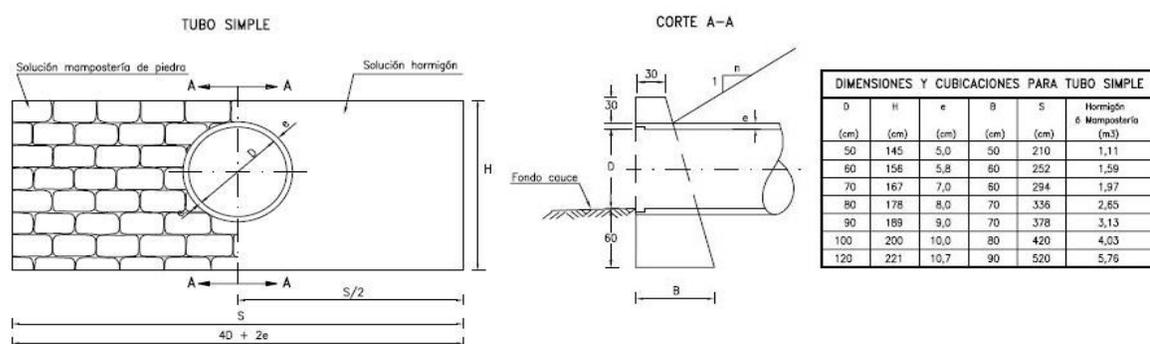
Km.	Cuenca y/o Subcuenca	Área aport. aprox Km ²	Caudal m ³ /s	Sección Requerida m ²	Solución Adoptada
9.35	1	18,42	47.892	23.946	Puente Losa
10.7	2	2,4	6.24	3.12	Puente Losa o badén
19.9	1-1	8	20.8	10.4	Puente Losa
21.25	1-2	2,6	6.76	3.38	Puente Losa o badén
22.3	1-2	2,6	6.76	3.38	Puente Losa o badén
23.7	1-3	1,13	2.938	1.469	Tubo H.A. D=180 cm
24.45	1-4	4,85	12.61	6.305	Puente Losa
27	3-1	1	2.6	1.3	Tubo H.A. D=180 cm
29.2	3-2	0,6	1.56	0.78	Tubo Horm. Simple D=120 cm
30.3	1-5	0,6	1.56	0.78	Tubo Horm. Simple D=120 cm
31.3	1-6	0,35	0.91	0.455	Tubo Horm. Simple D=120 cm
36	4	3,5	3.43	1.715	Tubo H.A. D=180 cm

Fuente: Elaboración propia

Además de las tuberías de drenaje consideradas se adicionarán tres tuberías de hormigón simple por Kilómetro de 100 cm. de diámetro, para una correcta evacuación de las aguas, esto según la experiencia de profesionales del rubro vial, donde según lo consultado por el autor resulta una buena aproximación al estudio que se realiza.

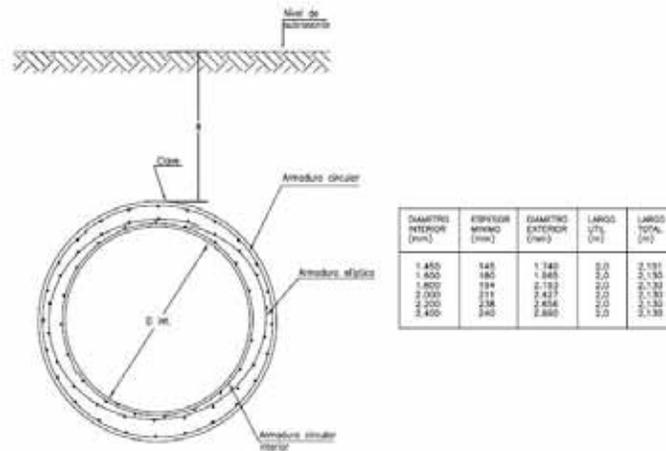
A continuación se establecen los perfiles tipos de las diferentes obras de arte a considerar, de acuerdo a lo especificado por el Manual de Carreteras Volumen N°4:

Figura 4.31: Muro de boca para tubos de hormigón simple D<1,2 m



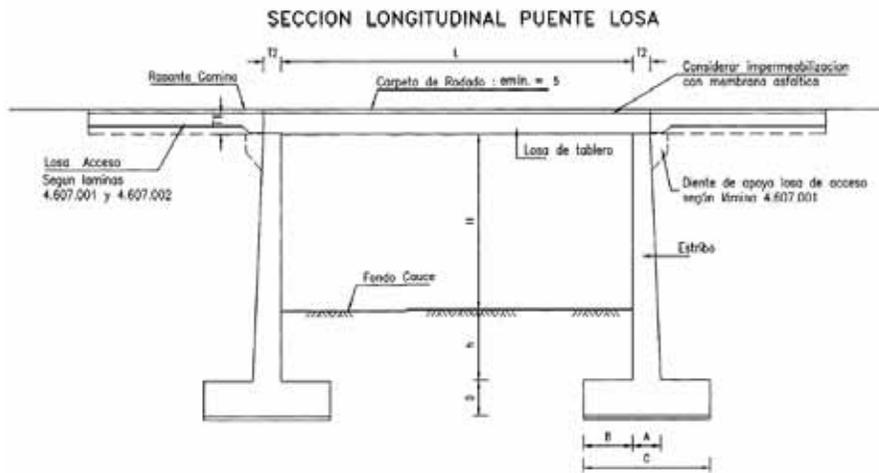
Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°4

Figura 4.32: Tubo Hormigón Armado prefabricado $1,45\text{ m} < D < 2,4\text{ m}$



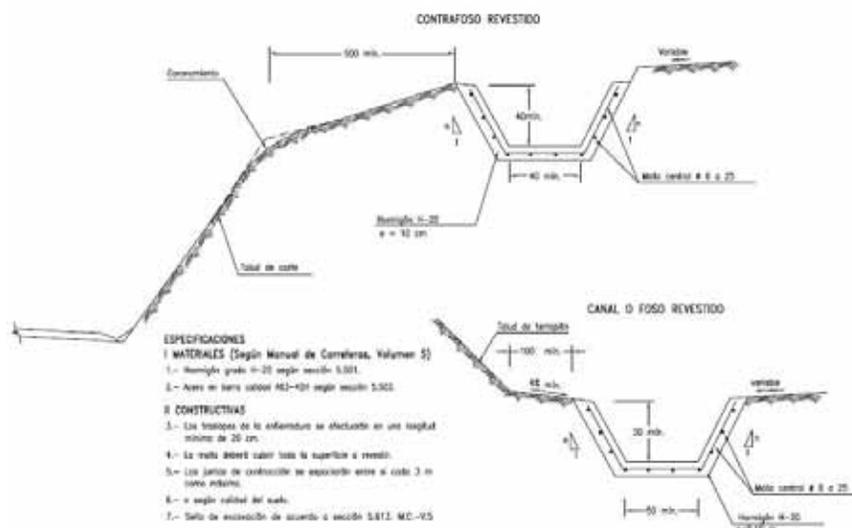
Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°4

Figura 4.33: Puente losa hormigón



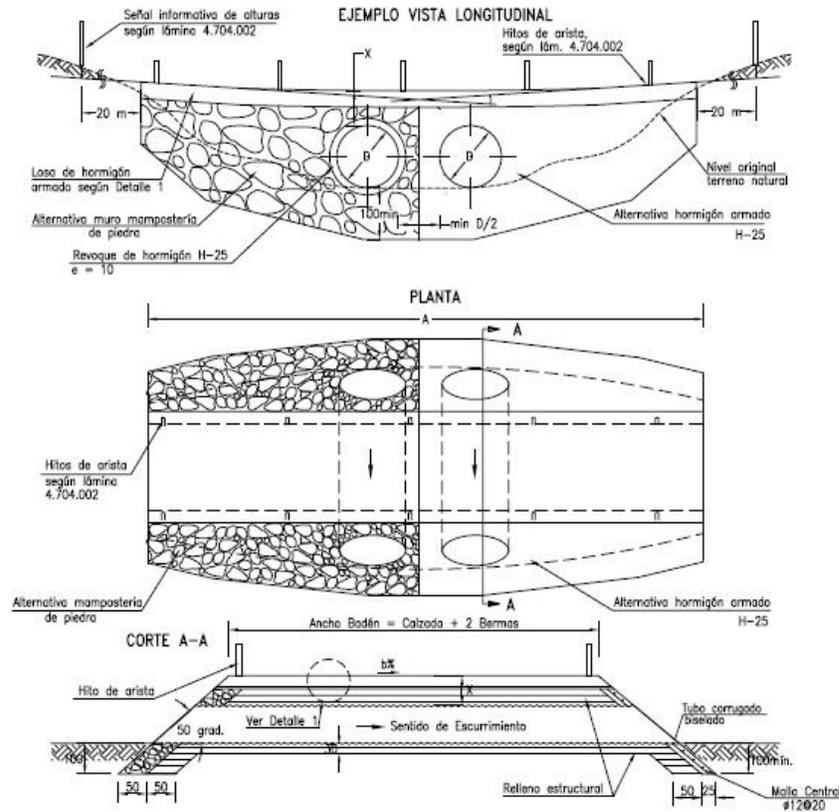
Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°4

Figura 4.34: Revestimientos de canales fosos y contrafosos



Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°4

Figura 4.35: Badén con escurrimiento permanente



Fuente: Manual de Carreteras, Volumen N°4

4.5.2.2 Sector Los Bronces

Esta área es mayormente de régimen nival por lo que se debe estimar el caudal máximo debido a las crecidas de deshielo o derretimiento potencial de la nieve, para ello se usará el “*Método DGA-AC para crecidas de deshielo*”. Corresponde a un análisis regional de crecidas del período de deshielo desarrollado en base a los análisis de frecuencias efectuados a las series de excedencia para el período nival de caudales medios diarios máximos y caudales instantáneos máximos, correspondientes a 234 estaciones de control existente en el país. Dicho método es aplicable en cuencas nivales o nivopluviales sin control fluviométrico, ubicadas entre la IIIª y la VIIIª región del país. Es utilizable para estimar crecidas de deshielo de período de retorno no mayor a 100 años.

A continuación se procede a estimar el caudal instantáneo máximo de deshielo de la siguiente forma:

Determinación del caudal medio diario máximo de periodo de retorno 10 años

Se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_{10} = 1,81 \cdot 10^{-4} \cdot A_n (\text{Lat} - 26,2)^{3,392}$$

Donde:

Q_{10} : Caudal medio diario de período de retorno 10 años, en m^3/s

A_n : Area nival de la cuenca, en Km^2

Lat : Latitud media de la cuenca, en grados

La zona de emplazamiento del camino se ubica a una latitud media de 33,14°, y tiene un área nival aportante de 4 Km², así se tiene:

$$Q_{10} = 1,81 \cdot 10^{-4} \cdot 4(33,14 - 26,2)^{3,392}$$

$$Q_{10} = 0,52 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

Determinación de curva de frecuencia regional

De acuerdo a la clasificación de la cuenca en estudio, ésta se ubica entre latitudes 32° 45' y 33° 15' y le corresponde el factor V_n (Factor que se explica más adelante)

Una vez conocida la zona homogénea, a la que pertenece la cuenca, se selecciona la curva de frecuencias adimensional de caudal medio diario máximo, referida al valor de período de retorno de 10 años, Q_T/Q_{10} , el cual para un periodo de retorno de 100 años el valor máximo es 1,77.

Pues bien, se procede a obtener el caudal medio diario máximo de deshielo multiplicando el valor de Q_T/Q_{10} por el caudal medio diario máximo de período de retorno 10 años, calculado anteriormente, de esta forma:

$$Q_{\text{MDM}} = 1,77 \cdot 0,52 = 0,9204 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

Determinación de la curva de frecuencia del Caudal Instantáneo Máximo

El factor de conversión que permite pasar del caudal medio diario máximo al caudal instantáneo máximo es variable según la zona homogénea en que se ubique la cuenca, dicho factor V_n es 1.17, de esta forma:

$$Q_{\text{inst. max}} = 0,9204 \cdot 1,17 = 1,08 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

De acuerdo al valor obtenido se procede a calcular el área requerida asumiendo, una velocidad de escurrimiento de 2 m/s, así:

$$A_{\text{requerida}} = \frac{1,08}{2} = 0,54 \left[\text{m}^2 \right]$$

De esta forma de acuerdo al Manual de Carreteras se propone un Tubo de Hormigón Simple de 100 cm de diámetro, que se ubicará entre los primeros 200 metros del trazado propuesto. Para canalizar las aguas hasta dicha obra de arte se propone fosos y cunetas no revestidos a lo largo del camino.

La realidad mostrada en División Andina, y según el testimonio de profesionales de Arcadis Geotécnica, quienes realizaron en invierno del 2006 una evaluación del camino industrial, señalan que es conveniente aumentar el diámetro de las tuberías y sus pendientes (del orden del 5%), esto debido a la gran cantidad de sedimentos provocados por aluviones en las entradas de dichas obras de arte.

4.6 PREDISEÑO TÚNELES

4.6.1 Diseño Geométrico

Los túneles propuestos son para tránsito bidireccional con dos pistas (una en cada sentido) de 3,5 m, bermas de 1 m y un sobre ancho de 0,5 m a cada costado, lo que resulta una calzada de 10 m. Con ello es posible permitir mantener un flujo bidireccional aún en caso de un vehículo en panne en una pista.

La pendiente longitudinal de los túneles se ha procurado mantener entorno al 2% como máximo, fundamentalmente por consideraciones operacionales de los vehículos pesados y demandas de ventilación (para mayores pendientes las necesidades de aire fresco crecen considerablemente).

Se asume una pendiente transversal de la calzada de 3 %, para escurrimiento de aguas.

4.6.2 Criterios Generales de diseño

4.6.2.1 Portales y Bóvedas de Acceso

Los accesos a los túneles estarán en general constituidos por bóvedas de hormigón cerradas y eventualmente articuladas por tramos, a fin de acomodarse a deformaciones de los depósitos no consolidados donde estos accesos serán construidos, en los casos que correspondan.

Estas bóvedas o portales de acceso, se construirán excavando primero los depósitos no consolidados y luego rellenando los espacios entre taludes de excavación y la bóveda.

Una vez que se cuente con suficiente cobertura de material sobre la clave de la bóveda, se podrá considerar la excavación como túnel propiamente tal.

Para estudios futuros se podrá considerar los siguientes parámetros preliminares:

4.6.2.2 Suelo Natural

Tabla 4.49: Criterio de diseño túneles - suelo natural

Angulo fricción interna	35°
Cohesión c	0 Kg./cm ²
Densidad húmeda natural	2 T/m ³
Talud de excavación temporal	1:1 (H:V)

Fuente: Informe Geotécnico Final. Proyecto Expansión Los Bronces – Sistema de transporte de pulpa. (1989)

4.6.2.3 Suelo de relleno compactado

Tabla 4.50: Criterio diseño túneles - suelo de relleno compactado

Angulo fricción interna	37°
Cohesión c	0
Densidad húmeda natural	2,2 T/m
Grado de compactación, respecto de la densidad máxima del ensayo Proctor Modificado	95%
Espesor capas compactación	0,3 m

Fuente: Informe Geotécnico Final. Proyecto Expansión Los Bronces – Sistema de transporte de pulpa. (1989)

4.6.2.4 Estructuras de hormigón en general

Considerando que es posible que existan filtraciones de agua en alguno de los túneles considerados y tomando en cuenta que las mismas pueden ser de carácter ácido, debería considerarse en algunos la protección de la bóveda con una capa impermeable.

El diseño estructural de estas obras se basará en un análisis elástico, con un diseño en tensiones máximas admisibles.

4.6.2.5 Diseño General de los túneles en roca y soporte

El enfoque general a ser aplicado en el diseño de los túneles en roca y los sistemas de soporte respectivos, responde a los principios asociados al método de construcción de túneles conocido como método austriaco (NATM).

Este método considera como elemento principal de fortificación la propia roca, para lo cual deben adoptarse procedimientos constructivos cuidadosos (tronadura, tiempo de colocación de la fortificación, etc.) así como el uso predominante de elementos de refuerzo de la roca como pernos, malla y shotcrete principalmente.

Debido a que no es posible recolectar suficiente información geológica – geotécnica de detalle que permita establecer en forma rigurosa un sistema de clasificación de rocas, se propone utilizar un sistema simplificado de caracterización geotécnica de rocas, utilizando eso si el concepto general involucrado en éstos métodos, así como las recomendaciones correspondientes de tipo de soporte para cada clase de roca.

Tabla 4.51: Tipo de soportes en túneles

Tipo	Descripción
I	Sin soporte o con apernado ocasional
II	Apernado sistemático según malla regular
III	Apernado sistemático según malla regular y 5 cm de shotcrete
IV	Apernado sistemático según malla regular 10 cm de shotcrete con malla soldada
V	Soporte metálico, shotcrete y malla de acero soldada

Fuente: Informe Geotécnico Final. Proyecto Expansión Los Bronces – Sistema de transporte de pulpa. (1989)

Se propone usar estas definiciones en forma preliminar aunque las mismas podrían variar una vez conocidos los detalles del proyecto definitivo.

La caracterización geotécnica debiera considerar fundamentalmente los siguientes aspectos:

- Litología
- RQD y densidad de fracturas de testigos
- Fracturamiento
- Tipos de fracturas
- Tipos de rellenos
- Fallas

- Presencia de agua

Uno de los aspectos ya observados, es que el uso de pernos y malla metálica en general no es satisfactorio, en el caso de la presencia de aguas ácidas, como las existentes en el sector de Los Bronces.

Debido a esta consideración la malla soldada deberá ser especificada probablemente galvanizada y recubierta por shotcrete, en los sectores que corresponda.

Para el estudio de los procedimientos constructivos y plan de construcción se deberán tomar en cuenta los siguientes factores:

- Condicionantes operacionales
- Número de frentes posibles de construcción
- Equipos de construcción eventualmente disponibles
- Sección mínima recomendada para el túnel
- Geometría recomendada
- Intensidad, distribución y tipo de fortificación necesarios
- Necesidades de ventilación durante la construcción
- Necesidades de drenaje durante la construcción
- Eventuales restricciones en la construcción (tránsito, tronaduras, etc.)
- Áreas para instalación de faenas, patio de maniobras, abastecimiento de energía, etc.

4.6.2.6 Instalaciones Auxiliares

El diseño de los túneles deberá considerar las siguientes instalaciones auxiliares:

- Ventilación
- Iluminación
- Líneas de energía eléctrica
- Líneas para sistemas de comunicación e instrumentación
- Canaletas de drenaje

Además durante el desarrollo del proyecto deberá analizar la conveniencia de disponer de estocadas laterales para almacenar temporalmente equipos de reparación y otros.

4.6.3 Características particulares de cada túnel

4.6.3.1 Loma el Caballo

Se proyecta un túnel aproximado de 3,8 Kilómetros, con altura de 2.394 m.s.n.m en portal Colina ubicado en coordenadas (N 6325495.6901 / E 361395.95) y portal Arrayán a 2.465 m.s.n.m. ubicado en coordenadas (N 6325205.06 / E 365192.20), con tres pendientes longitudinales de 2,19%, 1% y 2,14% esto para respetar el criterio asumido de longitudes críticas en pendiente.

Según Mapa Geológico Regional, el túnel se encuentra en gran parte de su longitud en presencia de formación abanico miembro superior, es decir, brechas piroclásticas finas, tobas, conglomerados, etc.

De acuerdo a los antecedentes bibliográficos recabados, a pocos metros se ubica el Túnel Vizcachas de 3.451 m, que pertenece a minera Anglo American Chile y que sirve para el transporte de pulpa. En el “Informe Final Túnel Vizcachas Geología y Geotecnia. Tomo 2” (Julio 1991), señala en el perfil Geológico portal Ventana Oriente (que se encuentra a pocos metros del portal Arrayán proyectado), se está en presencia de escombros de falda, coluvios, etc, presentando alteración en roca, deslizamientos y escombreras arcillosas (montmorillonita). Además según ficha técnica preparada por Arcadis Geotécnica al túnel señala que, con respecto a la hidrogeología, en general presenta condición seca a levemente con infiltraciones (82% con condición seca a goteos aislados, 10% de túnel condición mojada a goteos y 8% túnel con lluvia y vías preferenciales). Con respecto a la geotecnia, se establece la clasificación geomecánica Q, estableciendo los siguientes porcentajes de tipos de roca.

Tabla 4.52: Clasificación geomecánica Túnel Vizcachas

I	II	III	IV	V
Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala
0%	0%	54%	41%	5%

Fuente: Arcadis Geotécnica (2006)

En base a la prospección realizada se establece un valor representativo de clasificación geomecánica al túnel proyectado, que se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 4.53: Porcentaje estimado tipo de roca - Túnel Loma el Caballo

I	II	III	IV	V
1%	3%	50%	43%	3%

Fuente: Elaboración propia

4.6.3.2 Ortiga – San Francisco

Se proyecta un túnel aproximado de 2,1 Kilómetros, con altura de 2.649 m.s.n.m en portal Ortiga ubicado en coordenadas (N 6327449.92 / E 373301.15) y portal San Francisco a 2665 m.s.n.m. ubicado en coordenadas (N 6327575.51 / E 375459.70), dando una pendiente longitudinal de 0,79%. Ver Plano N° 3, Anexo N° 4.

Aproximadamente 184 metros al Norte se ubica el túnel Ortiga, terminado de construir en septiembre de 1989 con una extensión de 2.397 m, que sirve para el transporte de pulpa de minera Anglo American Chile. De acuerdo a la información proporcionada por Sr. José Blondel, Geólogo Senior de ARCADIS Geotécnica, se puede señalar que desde el punto de vista geológico dicho túnel en el portal ortiga se aprecia un macizo rocoso parcialmente alterado y fisurado con

potencialidad de favorecer la circulación y alumbramientos de agua subterránea en tramos continuos.

En la Figura 4.36 se aprecia el fracturamiento intrusivo granodiorítico medio figurado favorable para circulación de agua, además se ve cierta acumulación de agua que es captada y retirada por labor anexa.

Figura 4.36: Portal Ortiga y fracturamiento, transporte de pulpa



Fuente: Sr. José Blondel, Geólogo Senior de Arcadis Geotécnica. (2006)

Del informe preparado por Geoestudios Ltda. “Geología y Geotecnia Túnel Ortiga. Informe, anexos y planos” (1988), se obtiene una clasificación de tipo de roca de acuerdo al tipo de diseño proyectado y/o fortificación de la roca. Conforme a lo anterior, se asume para el túnel proyectado los siguientes porcentajes a lo largo del túnel:

Tabla 4.54: Porcentaje estimado tipo de roca - Túnel Ortiga - San Francisco

I	II	III	IV	V
62%	2%	8%	22%	6%

Fuente: Elaboración propia

4.6.3.3 Los Bronces - Sur Sur

Se proyecta un túnel aproximado de 2,4 Kilómetros, con altura de 3.555 m.s.n.m en portal Los Bronces ubicado en coordenadas (N 6333003.96 / E 380331.47) y portal Sur Sur a 3540 m.s.n.m. ubicado en coordenadas (N 6333776.46 / E 382295.71), con dos pendientes longitudinales de un 2 y 1,5%. Se propone dicho túnel con una determinada curva en planta, esto debido a las faenas de minera Los Bronces el cual según las ortofotos y curvas de nivel disponibles correspondería a la mejor alternativa.

Según lo señalado en 3.1.4.1, como medida de mitigación a los posibles desprendimientos de rocas en el farellón rocoso, considerar en portal un túnel falso de aproximadamente 60 metros.

Sólo utilizando el Mapa Geológico Regional preparado por ARCADIS Geotécnica, se puede decir que el túnel se verá solicitado por formaciones rocosas correspondientes a intruvisos del período Mioceno cuyas litologías son granodioritas, tonalitas, granitos. Además se identifican tobas y megabrechas de colapso en los últimos 900 metros del túnel.

De acuerdo a un “Itemizado de presupuesto del túnel conducción Río Blanco – Los Bronces” realizado por ARCADIS Geotécnica, se logra obtener un porcentaje estimado de tipo de roca, que será referencial para el proyecto.

Tabla 4.55: Porcentaje estimado tipo de roca - Túnel Los Bronces - Sur Sur

I	II	III	IV	V
34%	39%	19%	6%	2%

Fuente: Elaboración propia

4.7 DISEÑO ESTRUCTURA DE ACERO CORRUGADO

Se proyecta un tubo de acero corrugado en *Sector Los Bronces* como método de mitigación a los riesgos de avalanchas a lo largo de 240 metros, del kilómetro 1,51 hasta el 1,75.

Se propone dicha estructura ya que tiene ventajas tales como:

- Es de mejor alternativa técnico – económica a las estructuras de hormigón
- Economía entre un 20% y 50% dependiendo de las dimensiones
- Diversidad de secciones y dimensiones (desde 0,3 mts. hasta 12 mts.)
- Rapidez de instalación en los proyectos donde el tiempo es fundamental
- Facilidad de transporte
- Flexibilidad y versatilidad de uso
- Durabilidad

Tiene aplicaciones en infraestructura vial y minería, tales como, pasos subterráneos, túneles superficiales, colectores de aguas lluvias, colectores de aguas servidas desagüe en carreteras, drenaje, canales de riego, etc.

4.7.1 Criterios de Diseño

Para el diseño de túneles de acero corrugado, se deben considerar los siguientes criterios:

- Resistencia de la unión
- Factor de flexibilidad
- Área del muro
- Pandeo

4.7.2 Fórmulas

Resistencia de la unión

La resistencia de la unión debe ser suficiente para desarrollar el empuje de compresión en las paredes del túnel. El empuje de compresión (T) en Newton por metro lineal de la estructura es:

$$T = (LL + DL) \cdot \frac{s}{2}$$

$C = T \cdot FS$ = Empuje de compresión con el factor de seguridad

Donde:

LL = Sobrecarga de diseño.

DL = Carga permanente

s = longitud del vano

FS = Factor de seguridad = 3

El valor de C no debe exceder los valores indicados en la Tabla 4.56

Tabla 4.56: Resistencia mínima de la unión longitudinal

espesor (mm)	Resistencia mínima de la unión longitudinal (KPa/m)		
	corrugación 152,4 x 50,8 mm		
	4 pernos por pie	6 pernos por pie	8 pernos por pie
2,77	88264		
3,51	130295		
4,27	170224		
4,78	195443		
5,54	235372		
6,32	277403		
7,11	303621	378276	407698

Fuente: Bases técnicas complementarias de diseño y construcción de soluciones peatonales bajo nivel en la red de EFE.

Resistencia de manipulación e instalación

La rigidez de manipulación e instalación es medida por un Factor de Flexibilidad (FF) determinado por la fórmula:

$$FF = \frac{s^2}{EI}$$

Donde:

FF = Factor de flexibilidad [m/Kg]

s = longitud del vano máxima [m]

E = Módulo de elasticidad del acero [Pa]

I = Momento de Inercia por unidad de longitud de la sección transversal del túnel.

El factor de flexibilidad no debe exceder los valores indicados en la Tabla 4.57.

Tabla 4.57: Factor de flexibilidad admisible

Profundidad corrugación (mm)	FF (m/N)
6,35	0,0236
12,7	0,0236
25,4	0,0181
50,8	0,0165
139,7	0,0165

Fuente: Bases técnicas complementarias de diseño y construcción de soluciones peatonales bajo nivel en la red de EFE.

Área de Muro

El área mínima del muro se debe determinar con la siguiente fórmula:

$$A = \frac{T}{f_a}$$

Donde:

A = Área de muro requerida $[m^2 / m]$

T = empuje $[N / m]$

f_a = tensión admisible del muro, determinada a partir de la siguiente relación:

$$f_a = \frac{f_y}{FS}$$

f_y = Tensión de fluencia del acero

$FS = 2$

Pandeo

Una vez determinada el área requerida, se debe verificar el posible pandeo. Si la tensión admisible de pandeo f_{cr}/FS , es menor que f_a , se debe recalcular el área de muro requerida usando f_{cr}/FS en lugar de f_a . Las formulas para pandeo son las siguientes:

$$\text{Si } s < \frac{r}{k} \sqrt{\frac{24E}{f_u}} \text{ entonces } f_{cr} = f_u - \frac{f_u^2}{48E} \left(\frac{ks}{r} \right)^2$$

$$\text{Si } s > \frac{r}{k} \sqrt{\frac{24E}{f_u}} \text{ entonces } f_{cr} = \frac{12E}{\left(\frac{ks}{r} \right)^2}$$

Donde:

f_{cr} = tensión de pandeo crítica $[MPa]$

s = longitud máxima del vano $[m]$

r = radio de giro $[m]$

E = módulo de elasticidad $[MPa]$

FS = Factor de seguridad = 2

f_u = resistencia mínima a la tracción [MPa]

k = factor de rigidez del suelo = 0,22 para un 95% de compactación

0,33 para un 90% de compactación

0,44 para un 85% de compactación

4.7.3 Diseño

4.7.3.1 Datos para el diseño

De acuerdo a lo especificado por el Manual de Carreteras las dimensiones geométricas de la sección transversal serán:

Altura Máxima: 7,6 m.

Ancho Máximo: 10 m

Resistencia a la tracción mínima del acero: $314[\text{MPa}] = 3,14 \cdot 10^7 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right]$

Tensión de Fluencia: $230[\text{MPa}] = 2,3 \cdot 10^7 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right]$

Módulo de Elasticidad: $210000[\text{MPa}] = 2,1 \cdot 10^{10} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right]$

4.7.3.2 Cálculos

Se calcula la carga permanente considerando una densidad del suelo compactado de $2,1[\text{Ton} / \text{m}^3]$ y una profundidad de recubrimiento de $2,4 [\text{m}]$:

$$DL = 2100 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right] \cdot 2,4[\text{m}] = 5040 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right]$$

De acuerdo a lo observado en camino industrial de División Andina y de acuerdo a testimonios de operarios de limpieza de camino, se han llegado a extraer hasta 14 metros de nieve, valor el cual será un referente a un cálculo preliminar al cálculo de la sobrecarga.

$$LL = 700 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right] \cdot 14[\text{m}] = 9800 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Reemplazando:

$$T = (5040 + 9800) \cdot \frac{10}{2} = 74200 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}} \right]$$

Se calcula el empuje de compresión:

$$C = T \cdot FS = 74200 \cdot 3 = 222600 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}} \right] = 2226 \left[\frac{\text{KPa}}{\text{m}} \right]$$

El valor obtenido se ajusta de acuerdo a Tabla 4.56 para cualquier espesor asumido.

Área Muro:

$$f_a = \frac{f_y}{FS} = \frac{2,3 \cdot 10^7}{2} = 1,15 \cdot 10^7 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right]$$

$$A_{\text{requerida}} = \frac{74200}{1,15 \cdot 10^7} = 0,00645 \left[\frac{\text{m}^2}{\text{m}} \right] = 0,645 \left[\frac{\text{cm}^2}{\text{cm}} \right]$$

Para comenzar a iterar en búsqueda del perfil adecuado se considera el T150 con las siguientes características.

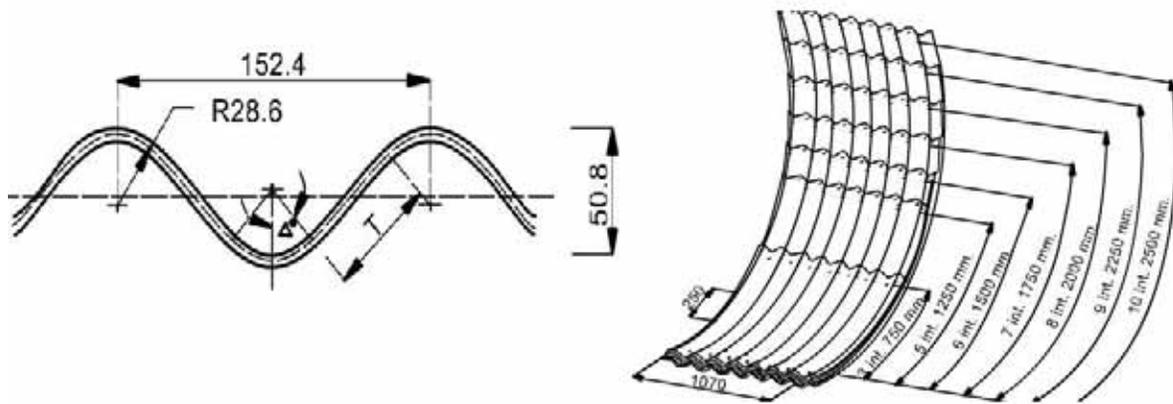
Tabla 4.58: Propiedades perfil T150

Espesor mm	Tangente mm	Angulo °	Momento de Inercia cm ⁴ *	Módulo resistente cm ³ *	Radio de Giro cm	Área cm ² *
2,7	48,9	44,02	1,0005	0,374	1,731	0,334
3,5	48,06	44,28	1,3052	0,4807	1,736	0,433
4,2	47,31	44,52	1,5756	0,5729	1,741	0,52
4,7	46,77	44,7	1,771	0,6382	1,745	0,582
5,5	45,89	44,99	2,088	0,7418	1,751	0,681
6,2	45,11	45,25	2,3701	0,6316	1,756	0,769
7	44,2	46,55	2,6981	0,9336	1,763	0,9

* Por cm de proyección horizontal sobre el eje neutro

Fuente: www.tubosider.cl (2006)

Figura 4.37: Características perfil T150



Fuente: www.tubosider.cl (2006)

De acuerdo al área requerida se asume un perfil de 6,2 mm.

El Factor de Flexibilidad será:

$$FF = \frac{10^2}{(2,1 \cdot 10^{10}) \cdot (2,3701 \cdot 10^{-6})} = 0,0020084 \left[\frac{\text{m}}{\text{Kg}} \right] = 0,000205 \left[\frac{\text{m}}{\text{N}} \right]$$

Se compara el valor obtenido con Tabla 4.57 con profundidad de corrugación de 50,8 mm, obteniéndose menor a lo señalado a dicha tabla por lo que el perfil cumple por flexibilidad.

Pandeo:

$$\frac{r}{k} \sqrt{\frac{24 \cdot E}{f_u}} = \frac{0,01756}{0,22} \sqrt{\frac{24 \cdot 2,1 \cdot 10^{10}}{3,14 \cdot 10^7}} = 10,14[\text{m}]$$

Por lo tanto: $f_{cr} = f_u - \frac{f_u^2}{48E} \left(\frac{ks}{r} \right)^2$

$$f_{cr} = 3,14 \cdot 10^7 - \frac{(3,14 \cdot 10^7)^2}{48(2,1 \cdot 10^{10})} \left(\frac{0,22 \cdot 10}{0,01756} \right)^2$$

$$f_{cr} = 16046934 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right]$$

$$\frac{f_{cr}}{\text{FS}} = \frac{16046934}{2} = 8023467,25 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right] = 8,02 \cdot 10^6 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right]$$

Como $\frac{f_{cr}}{\text{FS}} < f_a$, se recalcula el área de muro usando $\frac{f_{cr}}{\text{FS}}$ en lugar de f_a , de éste modo:

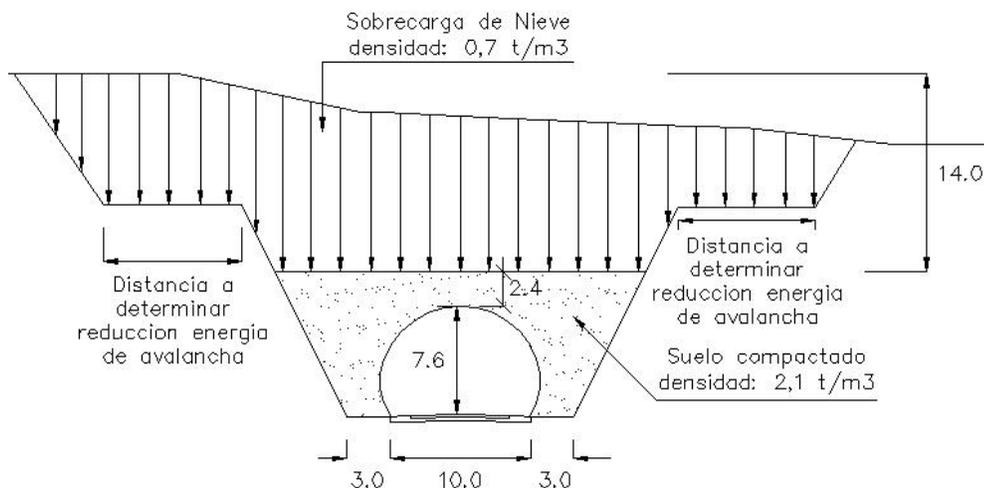
$$A = \frac{74200}{8023467} = 0,0092 \left[\frac{\text{m}^2}{\text{m}} \right]$$

De acuerdo al área nueva requerida se procede a elegir según un espesor de 7 mm para cumplir lo antes mencionado.

Para que el diseño tenga efecto, es necesario sobre el nivel de suelo compactado disminuir en corte una distancia que tendrá que ser estimada para la reducción de energía de la avalancha, vale decir, por método de corte en terrazas, esto es necesario ya que pueden solicitar al tubo cargas dinámicas muy elevadas.

En la Figura 4.38 se detalla el perfil tipo del tubo corrugado.

Figura 4.38: Perfil tipo tubo acero corrugado



4.8 EVALUACIÓN AMBIENTAL

A continuación se muestra el análisis de pertinencia de ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), según lo descrito en 2.5 del Capítulo II.

Tabla 4.59: Análisis de pertinencia de ingreso al SEIA

Art 10 Ley 19300, Art 3 DS /01Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.	Proyecto	
	Considera	No Considera
a) Acueductos, embalses o tranques y sifones que deban someterse a la autorización establecida en el artículo 294 del Código de Aguas, presas, drenaje, desecación, dragado, defensa o alteración, significativos, de cuerpos o cursos naturales de aguas.		X
b) Líneas de transmisión eléctrica de alto voltaje y sus subestaciones		X
c) Centrales generadoras de energía mayores a 3 MW		X
d) Reactores y establecimientos nucleares e instalaciones relacionadas		X
e) Aeropuertos, terminales de buses, camiones y ferrocarriles, vías férreas, estaciones de servicio, autopistas y los caminos públicos que puedan afectar áreas protegidas		X
f) Puertos, vías de navegación, astilleros y terminales marítimos		X
g) Proyectos de desarrollo urbano o turístico, en zonas no comprendidas en alguno de los planes a que alude la letra siguiente		X
h) Planes regionales de desarrollo urbano, planes intercomunales, planes reguladores Comisión Nacional del Medio Ambiente 4 comunales, planes seccionales, proyectos industriales o inmobiliarios que los modifiquen o que se ejecuten en zonas declaradas latentes o saturadas		X
i) Proyectos de desarrollo minero, incluidos los de carbón, petróleo y gas, comprendiendo las prospecciones, explotaciones, plantas procesadoras y disposición de residuos y estériles, así como la extracción industrial de áridos, turba o greda		X
j) Oleoductos, gasoductos, ductos mineros u otros análogos		X
k) Instalaciones fabriles, tales como metalúrgicas, químicas, textiles, productoras de materiales para la construcción, de equipos y productos metálicos y curtiembres, de dimensiones industriales		X
l) Agroindustrias, mataderos, planteles y establos de crianza, lechería y engorda de animales, de dimensiones industriales		X
m) Proyectos de desarrollo o explotación forestales en suelos frágiles, en terrenos cubiertos de bosque nativo, industrias de celulosa, pasta de papel y papel, plantas astilladoras, elaboradoras de madera y aserraderos, todos de dimensiones industriales		X
n) Proyectos de explotación intensiva, cultivo, y plantas procesadoras de recursos hidrobiológicos		X
ñ) Producción, almacenamiento, transporte, disposición o reutilización habituales de sustancias tóxicas, explosivas, radioactivas, inflamables, corrosivas o reactivas		X
o) Proyectos de saneamiento ambiental, tales como sistemas de alcantarillado y agua potable, plantas de tratamiento de aguas o de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios, emisarios submarinos, sistemas de tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos o sólidos		X
p) Ejecución de obras, programas o actividades en parques nacionales, reservas nacionales, monumentos naturales, reservas de zonas vírgenes, santuarios de la naturaleza, parques marinos, reservas marinas o en cualesquiera otras áreas colocadas bajo protección oficial, en los casos en que la legislación respectiva lo permita.		X

Art 10 Ley 19300, Art 3 DS /01Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.	Proyecto	
	Considera	No Considera
q) Aplicación masiva de productos químicos en áreas urbanas o zonas rurales próximas a centros poblados o a cursos o masas de agua que puedan ser afectadas.		X
r) Cotos de caza		X
s) Obras que se concesionen para construir y explorar el subsuelo de los bienes nacionales de uso publico		X
t) Ingreso voluntario	X	

Fuente: “Ley 19.300: Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República”.

De acuerdo a lo establecido por el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental SEIA, y el artículo 10 de la ley 19.300, el presente proyecto *“Ingeniería de Perfil Camino Industrial en alta montaña: Peldehue - Los Bronces - Sur Sur”* no amerita ingresar al SEIA, no obstante se deberá evaluar en conjunto con la Ingeniería conceptual, la alternativa de ingreso voluntario.

Cabe mencionar, que al realizar la búsqueda de información de Áreas Protegidas cercanas al emplazamiento de proyecto, se encontró un estudio realizado por la Universidad de Chile Departamento de Investigación y Desarrollo, llamado *“Proyecto bases para el ordenamiento territorial ambientalmente sustentable de la región metropolitana”*, donde hace alusión en la página 55, una “ficha de área propuesta para proteger en la Región Metropolitana”, donde señala con coordenadas UTM (N 6.331.000 / E 366.000) una superficie de 31.314 ha. Donde se recomienda que los usos del área debieran orientarse a la conservación de los recursos naturales de la zona, siendo prioritario privilegiar:

- Necesidad de desarrollar investigación
- Prohibición de caza y corte de vegetación
- Protección ambiental frente a actividades mineras
- Limitación actividades humanas (recursos hídricos)

Se propone hacer un estudio más recabado ya que no es menor la superficie señalada por el informe, además que no se tiene la forma de propagación de dicha área. Lo anterior puede resultar predominante antes de realizar una ingeniería mas detallada del proyecto.

4.9 MEMORIA DE CUBICACIONES

4.9.1 Caminos

4.9.1.1 Sector Colina – Loma el Caballo

A continuación se analiza de manera estimativa las cubicaciones, que son reflejadas en las siguientes tablas:

Volúmenes de Corte en Roca y suelo Natural estimada				
Pendientes	Longitud (m)	Ancho Calzada (m)	Sección estimada de Corte (m ²)	Volumen de Corte (m ³)
Menores a 8%	17344	13	39	676416
Mayores a 8%	7266	16	48	348768
Volumen Total (m3)				1025184
Volumen de Corte en Roca (50%)				512592
Volumen de Corte en Suelo Natural (50%)				512592

Cubicaciones lineales sobre la subrasante				
Pendientes	Longitud (m)	Ancho Calzada (m)	Preparación subrasante (m ²)	Carpeta Granular (m ³)
Menores a 8%	17344	7	121408	24281,6
Mayores a 8%	7266	10	72660	14532
Totales			194068	38813,6

Muro Gavión para sostenimiento de taludes		
Km.	Km.	Longitud (m)
19,9	21	1100
22,3	24,4	2100
27	29,1	2100
Total		5300

Cubicación Obras de Saneamiento y Drenaje			
Ítem	Cantidad	Largo Estimado	Largo Total
Tubo Circular de Hormigón Armado D=1,8 m	3	13	39
Tubo Circular de Hormigón Simple D=1,0 m	77	13	1001
Fosos y contrafosos sin revestir	Sin estimar		
Fosos y contrafosos a revestir con hormigón	Sin estimar		

Ítem	Cantidad	Excav. Drenaje (m ³)	Relleno Estructural (m ³)	Hormigón H-5 (m ³)	Hormigón H-20 (m ³)	Hormigón H-30 (m ³)	Acero Armaduras Kg.
O.A. D=1,8	3	257,4	190,71		29,55		
O.A. D=1,0	77	3230,636	2461,13		335,1		
Puente Losa	6	453		27		573	60564
Total		3941,1	2651,844	27	364,65	573	60564

Elementos de Control y Seguridad		
Ítem	Unidad	Km.
Señalización Vertical Lateral	62	
Demarcación del pavimento, línea central continua		12,31
Demarcación del pavimento, línea central segmentada		12,31
Tachas reflectantes	492	
Defensas Camineras Simples		5

Camino con Asfalto		
Ítem	Unidad	Cantidad
Base Granular Chancada >60% e=0,2 m	m ³	38813,6
Sub base Granular Chancada CBR >40% e=0,2 m	m ³	38813,6
Imprimación Bituminosa	m ²	194068
Concreto Asfáltico e=0,07 m	m ³	13585

Camino en base a cloruro de sodio		
Longitud (Km)	Carpeta Granular (m3)	Sal Estabilizadora (Ton)
24,6	38813	2328,78

4.9.1.2 Sector Los Bronces

De acuerdo a la modelación realizada del camino en el software Autocad Land Desktop 2006, se establece en el Anexo N° 2 el cuadro de movimientos de tierra.

A continuación se presentan algunas tablas de cubicaciones, otros valores fueron obtenidos manualmente con la ayuda de los perfiles transversales, dichos valores son presentados en el itemizado de costos del camino.

Porcentaje Estimado de Cortes	
Corte Roca (70%) (m3)	473721,86
Corte Terreno Común (30%) (m3)	203023,65

Km.	Km.	Distancia (m)	Ancho Carpeta (m)	Escarpe (m3)
1,84	1,92	80	10	192

m	m	Longitud (m)	Ancho Calzada (m)	Preparación Subrasante (m2)	Carpeta Granular (m3)	Sal estabilizadora (Dosif. 60 Kg/m3) (Ton)
0	400	400	10	4.000	800	48
400	1.380	980	10	9.800	1.960	118
1.380	1.510	130	7	910	182	11
1.510	1.790	280	7	1.960	392	24
1.790	2.038	248	10	2.480	496	30
Totales				19.150	3.830	230

4.9.2 Túneles

Para las cubicaciones de los túneles se procederá a hacer un itemizado de los elementos considerando *solamente* la excavación en roca de acuerdo al porcentaje estimado para cada uno y considerando la fortificación mínima que debe presentar; dichos parámetros son los siguientes:

Tabla 4.60: Fortificación mínima para los diferentes tipos de roca

Tipo de Roca	Descripción
I	Apernado ocasional 1 perno cada 12.5 m ² de bóveda
II	Apernado eventual 1 perno cada 7 m ² de bóveda shotcrete eventual de 2.5 cm en el 25% de la bóveda

Tipo de Roca	Descripción
III	Apernado sistemático 1 perno cada 3.3 m ² de bóveda shotcrete de 5 cm en 75% de la bóveda shotcrete de 2.5 cm en 35% de las cajas malla en 35% de la bóveda
IV	Apernado sistemático 1 perno cada 2 m ² de bóveda shotcrete de 7.5 cm en 100% de la bóveda shotcrete de 5 cm en 50% de las cajas malla en 100% de la bóveda y en 50% de las cajas
V	Marcos de 40 Kg/m cada 1 metro de túnel shotcrete de 25 cm en 100% tramo

4.9.2.1 Loma el Caballo

Tipo de Roca	Largo (m)
Tipo Roca 1	38
Tipo Roca 2	114
Tipo Roca 3	1900
Tipo Roca 4	1634
Tipo Roca 5	114
Total	3800

Tipo de Roca	Nº Pernos	Shotcrete 2.5 cm (m ²)	Shotcrete 5 cm (m ²)	Shotcrete 7.5 cm (m ²)	Shotcrete 25 cm (m ²)	Malla (m ²)	Marcos (Kg)
Tipo Roca 1	36						
Tipo Roca 2	195	342					
Tipo Roca 3	6909	6982,5	17100			7980	
Tipo Roca 4	9804		8578,5	19608		28186,5	
Tipo Roca 5					2565		102600
TOTAL		7325	25679	19608	2565	36167	102600

4.9.2.2 Ortiga – San Francisco

Tipo de Roca	Largo (m)
Tipo Roca 1	1302
Tipo Roca 2	42
Tipo Roca 3	168
Tipo Roca 4	462
Tipo Roca 5	126
Total	2100

Tipo de Roca	Nº Pernos	Shotcrete 2.5 cm (m ²)	Shotcrete 5 cm (m ²)	Shotcrete 7.5 cm (m ²)	Shotcrete 25 cm (m ²)	Malla (m ²)	Marcos (Kg)
Tipo Roca 1	1250						
Tipo Roca 2	72	126					
Tipo Roca 3	611	617,4	1512			705,6	
Tipo Roca 4	2772		2425,5	5544		7969,5	
Tipo Roca 5					2835		113400
TOTAL		743	3938	5544	2835	8675	113400

4.9.2.3 Los Bronces – Sur Sur

Tipo de Roca	Largo (m)
Tipo Roca 1	816
Tipo Roca 2	936
Tipo Roca 3	456
Tipo Roca 4	144
Tipo Roca 5	48
Total	2400

Tipo de Roca	N° Pernos	Shotcrete 2.5 cm (m ²)	Shotcrete 5 cm (m ²)	Shotcrete 7.5 cm (m ²)	Shotcrete 25 cm (m ²)	Malla (m ²)	Marcos (Kg)
Tipo Roca 1	783						
Tipo Roca 2	1605	2808					
Tipo Roca 3	1658	1675,8	4104			1915,2	
Tipo Roca 4	864		756	1728		2484	
Tipo Roca 5					1080		43200
TOTAL		4484	4860	1728	1080	4399	43200

4.10 COSTOS

4.10.1 Caminos

A continuación se presenta una estimación de costos por kilómetro de camino, según la alternativa de carpeta de rodado considerada.

Los precios unitarios fueron obtenidos de acuerdo a variados presupuestos realizados a caminos y carreteras, de esta manera, dichos precios son sólo referenciales. Estos consideran la mano de obra, materiales, uso de equipos y maquinarias, que representa el costo directo, adicionándole a éste un porcentaje de gastos generales y utilidades, obteniendo el precio unitario neto para cada partida. Luego al precio total neto, se considera un 40% de gastos generales y utilidades, y una contingencia del 30%. El valor final obtenido corresponde al costo de inversión inicial del camino.

El costo de operación o mantención, es un tanto difícil predecirlo con la escasa información manejada, pero de acuerdo a lo consultado al Área de Caminos y Nieve de División Andina, según las estimaciones para el presente año y conforme a los costos de mantención en años anteriores se presupuestan alrededor de US\$2.990.636; dicho valor representa la apertura de camino por volumen de nieve, uso de estabilizado, reparación del camino y trabajos a clientes esporádicos, donde considerando una red vial aproximada de 25 kilómetros se tienen US\$119.625 por kilómetro.

4.10.1.1 Sector Colina – Loma el Caballo. Alternativa Asfalto (L=24,6 Km.)

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario (\$)	Total (\$)
5.200	MOVIMIENTOS DE TIERRA				
201-3	Excavación de Corte en Terreno de Cualquier Naturaleza	m3	512.592	1.250	640.740.000
201-4	Excavación de Corte en Roca	m3	512.592	7.438	3.812.659.296
202-1	Exc.en terreno de cualquier naturaleza para obras de drenaje	m3	3.941	1.976	7.787.527
206-1	Relleno Estructural	m3	2.652	5.302	14.060.077
209-1	Preparación de la Subrasante	m2	194.068	436	84.613.648
5.300	CAPAS GRANULARES				
408-1	Concreto Asfáltico de Rodadura	m3	13585	88.758	1.205.777.430
	Base Granular Chancada >60% e=0,2 m	m3	38.814	5.010	194.456.136
	Sub base Granular Chancada CBR >40% e=0,2 m	m3	38.814	4.776	185.373.754
	Imprimación Bituminosa	m2	194.068	313	60.743.284
5.500	PUENTES Y ESTRUCTURAS				
501-1	Hormigón H-5	m3	27	75.790	2.046.330
501-4	Hormigón H-20	m3	364	103.710	37.750.440
501-14	Hormigón H-30	m3	573	104.777	60.037.221
503-2	Acero para armaduras A63-42H	Kg.	60.564	757	45.846.948
	Muro Gavión para sostenimiento de talud	ml	5.300	13.166	69.779.800
5.600	DRENAJE Y PROTECCIÓN DE LA PLATAFORMA				
601-1	Tubo Circular de Hormigón Simple D=1,0 m	ml	1.001	70.745	70.815.520
601-3	Tubo Circular de Hormigón Armado D=1,8 m	ml	39	65.122	2.539.776
5.700	ELEMENTOS DE CONTROL Y SEGURIDAD				
702-1	Señalización Vertical Lateral	Un	62	47.916	2.970.761
704-1	Demarcación del pavimento, línea central continua	Km.	12	154.186	1.898.025
704-2	Demarcación del pavimento, línea central segmentada	Km.	12	132.820	1.635.014
705-1	Tachas reflectantes	Un	492	2.937	1.445.162
	Defensas Camineras Simples	ml	5.000	17.066	85.330.000
				Total Neto	6.588.306.149
				G.G. Util. 40%	2.635.322.460
				Sub total	9.223.628.609
				Contingencia 30%	2.767.088.583
				TOTAL (\$)	11.990.717.191
				TOTAL (US\$)	22.326.172
				Costo Por Km (US\$)	907.568

Costo Inversión Inicial: US\$ 22.326.172

4.10.1.2 Sector Colina – Loma el Caballo. Alternativa Cloruro de Sodio (L=24,6 Km.)

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario (\$)	Total (\$)
5.200	MOVIMIENTOS DE TIERRA				
201-3	Excavación de Corte en Terreno de Cualquier Naturaleza	m3	512.592	1.250	640.740.000
201-4	Excavación de Corte en Roca	m3	512.592	7.438	3.812.659.296
202-1	Excavación en terreno de cualquier naturaleza para obras de drenaje	m3	3.941	1.976	7.787.527
206-1	Relleno Estructural	m3	2.652	5.302	14.060.077
209-1	Preparación de la Subrasante	m2	194.068	436	84.613.648
5.300	CAPAS GRANULARES				
303-1	Capa Granular de Rodadura	m3	38.813	8.014	311.047.382
	Sal estabilizadora (25 Km.)			102.253.290	102.253.290
5.500	PUENTES Y ESTRUCTURAS				
501-1	Hormigón H-5	m3	27	75.790	2.046.330
501-4	Hormigón H-20	m3	364	103.710	37.750.440
501-14	Hormigón H-30	m3	573	104.777	60.037.221
503-2	Acero para armaduras A63-42H	Kg.	60.564	757	45.846.948
	Muro Gavión para sostenimiento de talud	ml	5.300	13.166	69.779.800
5.600	DRENAJE Y PROTECCIÓN DE LA PLATAFORMA				
601-1	Tubo Circular de Hormigón Simple D=1,0 m	ml	1.001	70.745	70.815.520
601-3	Tubo Circular de Hormigón Armado D=1,8 m	ml	39	65.122	2.539.776

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario (\$)	Total (\$)
5.700	ELEMENTOS DE CONTROL Y SEGURIDAD				
702-1	Señalización Vertical Lateral	Un	62	47.916	2.970.761
704-1	Demarcación del pavimento, línea central continua	Km.	12	154.186	1.898.025
704-2	Demarcación del pavimento, línea central segmentada	Km.	12	132.820	1.635.014
705-1	Tachas reflectantes	Un	492	2.937	1.445.162
	Defensas Camineras Simples	ml	5.000	17.066	85.330.000
Total Neto					5.355.256.218
G.G. Util. 40%					2.142.102.487
Sub total					7.497.358.705
Contingencia 30%					2.249.207.611
TOTAL (\$)					9.746.566.316
TOTAL (US\$)					18.147.665
Costo Por Km (US\$)					737.710

Costo Inversión Inicial: US\$ 18.147.665

Costo Operación estimada anual: US\$ 2.942.775

4.10.1.3 Sector Colina – Loma el Caballo. Alternativa con Estabilizante PennzSupress`D (L=24,6 Km.)

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario (\$)	Total (\$)
5.200	MOVIMIENTOS DE TIERRA				
201-3	Excavación de Corte en Terreno de Cualquier Naturaleza	m3	512.592	1.250	640.740.000
201-4	Excavación de Corte en Roca	m3	512.592	7.438	3.812.659.296
202-1	Excavación en terreno de cualquier naturaleza para obras de drenaje	m3	3.941	1.976	7.787.527
206-1	Relleno Estructural	m3	2.652	5.302	14.060.077
209-1	Preparación de la Subrasante	m2	194.068	436	84.613.648
5.300	CAPAS GRANULARES				
303-1	Capa Granular de Rodadura	m3	36.881	8.014	295.564.334
	Producto estabilizador PennzSupress`D (PSD)			102.253.290	192.278.170
5.500	PUNTES Y ESTRUCTURAS				
501-1	Hormigón H-5	m3	27	75.790	2.046.330
501-4	Hormigón H-20	m3	364	103.710	37.750.440
501-14	Hormigón H-30	m3	573	104.777	60.037.221
503-2	Acero para armaduras A63-42H	kg	60.564	757	45.846.948
	Muro Gavión para sostenimiento de talud	ml	5.300	13.166	69.779.800
5.600	DRENAJE Y PROTECCIÓN DE LA PLATAFORMA				
601-1	Tubo Circular de Hormigón Simple D=1,0 m	ml	1.001	70.745	70.815.520
601-3	Tubo Circular de Hormigón Armado D=1,8 m	ml	39	65.122	2.539.776
5.700	ELEMENTOS DE CONTROL Y SEGURIDAD				
702-1	Señalización Vertical Lateral	Un	62	47.916	2.970.761
704-1	Demarcación del pavimento, línea central continua	km	12	154.186	1.898.025
704-2	Demarcación del pavimento, línea central segmentada	km	12	132.820	1.635.014
705-1	Tachas reflectantes	Un	492	2.937	1.445.162
	Defensas Camineras Simples	ml	5.000	17.066	85.330.000
Total Neto					5.429.798.050
G.G. Util. 40%					2.171.919.220
Sub total					7.601.717.269
Contingencia 30%					2.280.515.181
TOTAL (\$)					9.882.232.450
TOTAL (US\$)					18.400.269
Costo Por Km (US\$)					747.978

Costo Inversión Inicial: US\$ 18.400.269

4.10.1.4 Sector Los Bronces. Alternativa Cloruro de Sodio (L=2,03 Km.)

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario (\$)	Total (\$)
5.200	MOVIMIENTOS DE TIERRA				
201-1	Excavación de escarpe	m3	192	1.450	278.400
201-3	Excavación de Corte en Terreno de Cualquier Naturaleza	m3	203023,65	1.250	253.779.563
201-4	Excavación de Corte en Roca	m3	473721,86	7.438	3.523.543.195
202-1	Excavación en terreno de cualquier naturaleza para obras de drenaje	m3	1.029	1.976	2.032.593
205-1	Formación y compactación de terraplenes	m3	18725,93	2.601	48.706.144
206-1	Relleno Estructural	m3	275	5.302	1.458.050
209-1	Preparación de la Subrasante	m3	19.150	216	4.139.354
5.300	CAPAS GRANULARES				
303-1	Capa Granular de Rodadura	m3	3.830	8.014	30.693.620
	Sal Estabilizadora	Ton	230	40.000	9.200.000
5.500	PUNTES Y ESTRUCTURAS				
508-1	Revestimiento de Mampostería de Piedra	m2	1.192	12.063	14.379.096
	Tubo Acero Corrugado	ml	240	2.337.390	560.973.600
5.600	DRENAJE Y PROTECCIÓN DE LA PLATAFORMA				
602-1.2	Tubo de Acero Corrugado D=1,0 e=3 mm	ml	112	49.889	5.587.517
613-1	Construcción de canales, fosos y contrafosos sin revestir	ml	1.650	2.553	4.212.450
613-2	Construcción de canales, fosos y contrafosos a revestir con hormigón	ml	820	4.238	3.475.160
5.700	ELEMENTOS DE CONTROL Y SEGURIDAD				
702-1	Señalización Vertical Lateral	Un	15	47.916	718.733
	Delineador, varilla de colihue	Un	35	4.000	140.000
				Total Neto	4.463.317.473
				G.G. Util. 40%	1.785.326.989
				Sub total	6.248.644.462
				Contingencia 30%	1.874.593.339
				TOTAL (\$)	8.123.237.801
				TOTAL (US\$)	15.125.101
				Costo Por Km (US\$)	7.562.550

Costo Inversión Inicial: US\$ 15.125.101

Costo Operación estimada anual: US\$ 242.839

4.10.2 Túneles

4.10.2.1 Loma el Caballo (L=3,8 Km)

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (US\$)	Total
1	Excavación Subterránea				
1.1	Excavación en Tipo Roca 1	m	38	3170	120443,66
1.2	Excavación en Tipo Roca 2	m	114	3280	373971,3
1.3	Excavación en Tipo Roca 3	m	1900	3518	6684580
1.4	Excavación en Tipo Roca 4	m	1634	3867	6318383,88
1.5	Excavación en Tipo Roca 5	m	114	6712	765142,35
2	Fortificación de la Roca				
2.1	Pernos de anclaje con diámetro de 24 mm:				
	Largo de 1,5 m	Un	36	35	1260
	Largo de 2,5 m	Un	195	54,5	10627,5
	Largo de 3,5 m	Un	6909	69,4	479484,6
	Largo de 4,5 m	Un	9804	80,3	787261,2
2.2	Hormigón proyectado (shotcrete):				
	Shotcrete 2.5 cm	m ²	7325	13,75	100718,75
	Shotcrete 5 cm	m ²	25679	19,97	512809,63
	Shotcrete 7.5 cm	m ²	19608	26,2	513729,6
	Shotcrete 25 cm	m ²	2565	69,76	178934,4

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (US\$)	Total
2.3	Malla de acero electro soldada	Kg.	78843	3,1	244413,207
2.4	Marcos de acero y relativos accesorios	Kg.	102600	2	205200
				TOTAL (US\$):	17.296.960

4.10.2.2 Ortiga – San Francisco (L=2,1 Km)

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (US\$)	Total
1	Excavación Subterránea				
1.1	Excavación en Tipo Roca 1	m	1302	3170	4126780,14
1.2	Excavación en Tipo Roca 2	m	42	3280	137778,9
1.3	Excavación en Tipo Roca 3	m	168	3518	591057,6
1.4	Excavación en Tipo Roca 4	m	462	3867	1786470,84
1.5	Excavación en Tipo Roca 5	m	126	6712	845683,65
2	Fortificación de la Roca				
2.1	Pernos de anclaje con diámetro de 24 mm:				
	Largo de 1,5 m	Un	1250	35	43750
	Largo de 2,5 m	Un	72	54,5	3924
	Largo de 3,5 m	Un	611	69,4	42403,4
	Largo de 4,5 m	Un	2772	80,3	222591,6
2.2	Hormigón proyectado (shotcrete):				
	Shotcrete 2.5 cm	m ²	743	13,75	10216,25
	Shotcrete 5 cm	m ²	3938	19,97	78641,86
	Shotcrete 7.5 cm	m ²	5544	26,2	145252,8
	Shotcrete 25 cm	m ²	2835	69,76	197769,6
2.3	Malla de acero electro soldada	Kg.	18912	3,1	58627,2
2.4	Marcos de acero y relativos accesorios	Kg.	113400	2	226800
				TOTAL (US\$):	8.517.748

4.10.2.3 Los Bronces – Sur Sur (L=2,4 Km)

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (US\$)	Total
1	Excavación Subterránea				
1.1	Excavación en Tipo Roca 1	m	816	3170	2586369,12
1.2	Excavación en Tipo Roca 2	m	936	3280	3070501,2
1.3	Excavación en Tipo Roca 3	m	456	3518	1604299,2
1.4	Excavación en Tipo Roca 4	m	144	3867	556822,08
1.5	Excavación en Tipo Roca 5	m	48	6712	322165,2
2	Fortificación de la Roca				
2.1	Pernos de anclaje con diámetro de 24 mm:				
	Largo de 1,5 m	Un	783	35	27405
	Largo de 2,5 m	Un	1605	54,5	87472,5
	Largo de 3,5 m	Un	1658	69,4	115065,2
	Largo de 4,5 m	Un	864	80,3	69379,2
2.2	Hormigón proyectado (shotcrete):				
	Shotcrete 2.5 cm	m ²	4484	13,75	61655
	Shotcrete 5 cm	m ²	4860	19,97	97054,2
	Shotcrete 7.5 cm	m ²	1728	26,2	45273,6
	Shotcrete 25 cm	m ²	1080	69,76	75340,8
2.3	Malla de acero electro soldada	Kg.	9590	3,1	29729
2.4	Marcos de acero y relativos accesorios	Kg.	43200	2	86400
				TOTAL (US\$):	8.834.931

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

5.1 CONCLUSIONES GENERALES

Tanto en trazados nuevos como en obras existentes el punto inicial y final de un proyecto vial están determinados, en gran medida, por el tipo de problema que se desea resolver y por el condicionamiento que les impone el resto de la red al camino. Estos tipos de condicionamientos se denominan controles primarios obligados y el proyectista debe aceptarlos como un precepto que no puede ser modificado.

Del mismo modo, tanto en los proyectos de nuevos trazados como en los de recuperación o de cambio de estándar, los controles de diseño se asocian a parámetros tan importantes como: velocidad de proyecto, pendientes máximas, sección transversal, etc. Su determinación resulta de un proceso de aproximaciones sucesivas destinado a establecer la categoría de la vía en estudio; la que, en definitiva, dependerá de los controles primarios obligados.

Una vez establecidos los aspectos antes mencionados, la acción del proyectista se centra en torno a la consideración de puntos de control de tipo *topográfico, geológico, hidrológico, obras existentes y aspectos de impacto social y ambiental de tipo local*, que puedan afectar, positiva o negativamente, la localización o rectificación del trazado del eje del camino, ya que cada una de sus decisiones en cuanto a emplazamientos alternativos de trazado, diseño geométrico y obras complementarias, estará influenciada por los antecedentes provenientes de las áreas antes enumeradas.

Es éste el criterio que debe considerar el proyectista al momento de hacer un estudio vial, haciéndose en un camino de alta montaña mayor la complejidad de los puntos de control, ya que los trazados de los caminos cordilleranos presentan formas irregulares ubicándose en lugares con alto riesgo de avalanchas y en ocasiones de rasantes con hielo.

En base a éstos puntos de control y a los objetivos que se plantean en una ingeniería de perfil se puede señalar que el camino de acuerdo al emplazamiento solicitado resulta de gran complejidad, de acuerdo a la topografía existente, con gran cantidad de curvas de retorno, y con pendientes altas, pese a aquello se puede afirmar que es posible realizar el trazado, aumentando sí los costos de protección a la carpeta de rodado frente a desprendimientos de rocas principalmente en sector de Colina – Loma el Caballo y a la protección en sector Los Bronces de los riesgos de avalanchas; adicionándole una buena señalización al camino, como también correctas medidas de seguridad tanto de barreras de protección como pistas de emergencias, a distancias no prolongadas se puede lograr un buen estándar al camino.

5.2 CONCLUSIONES PARTICULARES

Basados en el supuesto de que la planta concentradora se ubicará en las cercanías de Loma el Caballo, el tránsito medio diario anual mencionado es sólo referencial, dado que a la fecha de este estudio la localización exacta no está aún definida. Bajo otro supuesto el trazado solicitado podría representar un tráfico vehicular mucho más bajo. De esta forma es que se deberá tener un claro objetivo del camino y el tráfico que se espera llegar a tener en el futuro; estudio que deberá ser aún analizado y estudiado estratégicamente por parte del Proyecto Nueva Andina

Sin perjuicio de lo anterior, se llevó a cabo un estudio o análisis del proyecto, resultado del cual se procede a mencionar los siguientes aspectos los que se consideran más relevantes.

Se puede estimar que los valores de longitudes críticas propuestas para la velocidad de proyecto de 60 Km/hr obtenidas podrían resultar una buena alternativa de diseño, esto para no esperar reducciones de velocidad en pendientes menores a un 8%, lo que generaría congestiones en el camino. Dichas longitudes críticas fueron establecidas en los perfiles longitudinales que pueden ser vistos en el Anexo N° 4.

Como se ha mencionado en otras oportunidades resulta de vital importancia el análisis de suelo y/o roca presente, y los posibles riesgos geológicos al momento de establecer la posible ruta, no obstante esto, en algunas oportunidades y en especial en éste estudio no se tiene otra alternativa que enfrentar esos eventuales riesgos declarados, esto debido a la topografía de la zona; por esta razón será necesario estimar mediante estudios más avanzados los métodos de mitigación. Dichos riesgos potenciales están presentes en el sector Colina – Loma el Caballo donde se ve solicitado el trazado por depósitos coluviales y remociones en masa; en sector Los Bronces los riesgos declarados son principalmente las avalanchas.

Aunque no fueron evaluados en cuanto a costos, se hace alusión en el estudio de posibles soluciones para evitar desprendimientos de rocas el uso de mallas en taludes apernadas; para la protección frente a avalanchas el uso de la tecnología de inducción de avalanchas llamado Gaz - Ex, y protecciones pasivas como el uso de postes telescópicos.

Como método de mitigación a la gran cantidad de sendas de avalanchas en Sector Los Bronces (Ver Plano de Avalanchas, Anexo N° 4), se propone el uso de cobertizos de hormigón armado y en un sector de 240 metros aproximadamente, el uso de una estructura de acero corrugado, un túnel falso, para que no se produzca una acumulación de nieve entre los taludes. Dicha estructura fue calculada, diseñada y cotizada a la empresa Tubosider.

En cuanto a las pistas de frenado o Lechos de frenado cabe señalar que no existen en Chile normativas oficiales al respecto, sólo circulan algunas especificaciones técnicas que se han incluido aisladamente y en especial en el Manual de Carreteras, como copia de normativas extranjeras, según lo consultado a profesionales del rubro vial, una copia de las normativas extranjeras. La realidad observada y manifestada en el camino industrial de División Andina por parte de operarios a cargo del mantenimiento, señalan que las pistas de emergencias han operado

con un muy buen desempeño, logrando en varias oportunidades evitar accidentes. Si bien dichas pistas logran buenos resultados, éstas se ven inviables en periodos de invierno donde dichas pistas son cubiertas completamente por nieve, situación que se puede apreciar en fotografía del Anexo N° 3 donde se estaba en proceso de extracción de la nieve. En consideración a esto es que se proponen como medida de protección a accidentes una correcta señalización a lo largo del camino.

Otro aspecto a considerar es el saneamiento y drenaje de la plataforma las que fueron evaluadas en los sectores estudiados en atención al régimen existente en la zona de estudio. Por un lado se tiene una zona que es de régimen pluvial, que corresponde al Sector Colina – Loma el Caballo, el cual se analizó de acuerdo a los rendimientos específicos de las cuencas hidrográficas, tomando en consideración las quebradas aparentemente más importantes que son mapeados en cartografía del Instituto Geográfico Militar. Por otro lado se analizó el Sector Los Bronces que es una zona de régimen nival donde se analizó por método DGA para crecidas de deshielo. Junto con esto se estimaron las obras de arte, y se especificó el uso de fosos y contrafosos a lo largo del trazado, pero éstas fueron sólo consideradas en sector Los Bronces en términos cuantitativos ya que se cuenta con una buena topografía.

Parte importante del proyecto son los túneles los que fueron diseñados geoméricamente de acuerdo a los estándares mínimos señalados por el Manual de Carreteras, adicionándole a éstos, parámetros geotécnicos y construcción de las obras auxiliares, adjuntando además para cada uno de ellos antecedentes geotécnicos recabados.

Según lo establecido por el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental SEIA, y el artículo 10 de la ley 19.300, el proyecto en estudio no amerita ingresar al SEIA, no obstante se deberá evaluar en conjunto con la Ingeniería conceptual, la alternativa de ingreso voluntario. Cabe mencionar eso sí, que al realizar la búsqueda de información de Áreas Protegidas cercanas al emplazamiento de proyecto se encontró un estudio realizado por la Universidad de Chile Departamento de Investigación y Desarrollo, llamado *“Proyecto bases para el ordenamiento territorial ambientalmente sustentable de la región metropolitana”*, donde hace alusión en la página 55, una “ficha de área propuesta para proteger en la Región Metropolitana”, donde señala con coordenadas UTM (N 6.331.000 / E 366.000) una superficie de 31.314 ha. Donde se recomienda que los usos del área debieran orientarse a la conservación de los recursos naturales de la zona. De esta manera se propone hacer un estudio mas recabado ya que no es menor la superficie señalada por el informe, además que no se tiene la forma de propagación de dicha área. Lo anterior puede resultar predominante antes de realizar una ingeniería mas detallada del proyecto.

Al hacer la evaluación de costos de los caminos en estudios se obtienen como conclusión de alternativas de carpeta de rodado los siguientes valores en sector Colina – Loma el Caballo:

Alternativa Carpeta de Rodado	US\$
Asfalto	22.326.172
Estabilizado con sal	18.147.665
Estabilizante PennzSupress (PSD)	18.400.269

Según éstos valores se obtiene como mejor oferta económica la alternativa de estabilizado con sal, pero cabe señalar que no existe una gran diferencia con respecto al estabilizante PSD, por lo que para futuros estudios se debiera considerar como alternativa de carpeta de rodado, ya que como se señaló en su oportunidad trae consigo bastantes ventajas.

En sector Los Bronces, se opta por una evaluación económica de alternativa con cloruro de sodio, siguiendo con la experiencia de División Andina y Los Bronces, dicho valor ascendería aun valor de: US\$ 15.125.101.

Con respecto a los costos estimados de los túneles, estos sólo fueron evaluados según su excavación en diferentes tipos de calidad de roca y con sus respectivas consideraciones mínimas de fortificación, excluyendo otras partidas, por lo que los valores que se mencionan son sólo referenciales. Dichos valores son:

Túneles	US\$
Loma el Caballo	17.296.960
Ortiga - San Francisco	8.517.748
Los Bronces - Sur Sur	8.834.931

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

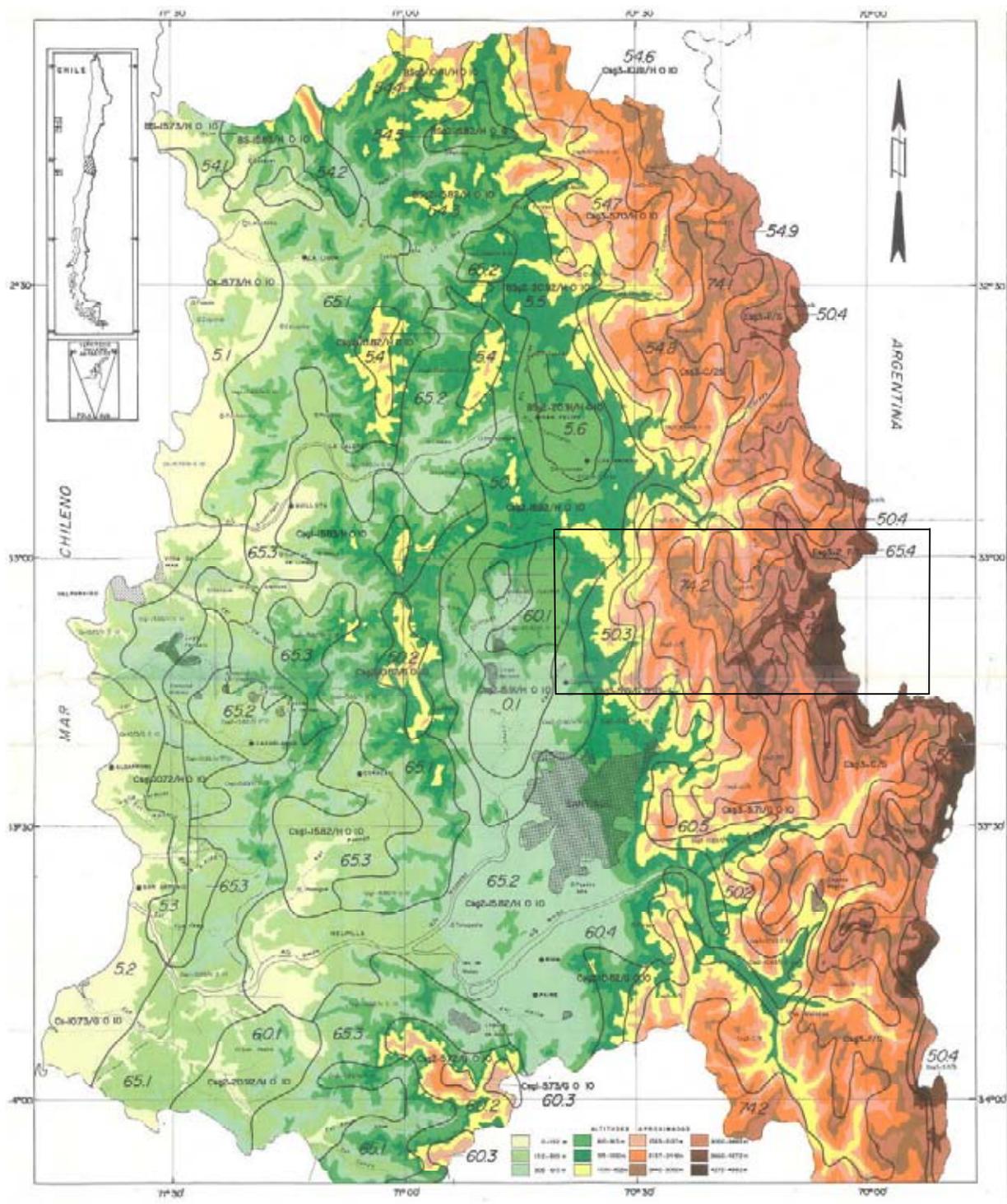
- ABDEL – SABED, G.; B. BAKHT.; L. JAEGER. 1994. Soil – steel bridges. United States of America. McGraw – Hill, Inc. Pp: 158 – 68.
- ACHS. Los Riesgos del Trabajo en Alta Montaña. (Disponible en: www.achs.cl. Consultado el: 17 de Mayo de 2006).
- ARCADIS GEOTÉCNICA. 2005. Captura Información Geológica – Geotécnica para Proyecto Nueva Andina. Geología Regional. 115p.
- ARCADIS GEOTÉCNICA. 2006. EIA Proyecto Desarrollo Los Bronces Línea Base Revisión C.
- AYALA, F.; DURÁN, J.; 1988. Riesgos Geológicos. Madrid, Etimsa. 333 p.
- BLONDEL, J. 2006. Geología y Geotecnia túneles ruta Loma el Caballo, eventuales problemas. Arcadis Geotécnica, Santiago. (Comunicación Personal).
- BRÜGGEN, J.; 1929. Texto de Geología. Santiago, Nascimento. 459 p.
- CODELCO DIVISIÓN ANDINA. 2006. Manual de Inducción (Estudiantes). 42p.
- CONAMA. 1994. Ley 19.300: Bases Generales del Medio Ambiente. (Disponible en: <http://www.conama.cl/portal/1255/fo-article-26087.pdf>. Consultado el: 31 de Julio de 2006).
- DGA. 1995. Análisis de eventos hidrometeorológicos extremos en el país. Caudales máximos y mínimos. Volumen III.
- DGA. 1995. Manual de Cálculo de crecidas y caudales mínimos en cuencas sin información fluviométrica.
- DGA. 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del Río Maipo. 201 p.
- Bases técnicas complementarias de diseño y construcción de soluciones peatonales bajo nivel en la red de EFE. (Disponible en: http://www.efe.cl/html/noticias/doc/lic_23agosto05/3_Bases_Tecnicas.pdf. Consultado el: 12 de julio de 2006).
- FIGUEROA, M. 1983. Consideraciones al diseño y trazado de caminos de alta montaña. Tesis Pregrado. Esp. Santiago, Pontificia Universidad Católica de Chile, Fac. Ing. 184p.
- GEOEXPLORACIONES S.A.; ARCADIS GEOTÉCNICA. 2006. Sistema de Levantamiento Topográfico Láser Aerotransportado.
- GEOBRUGG. (Disponible en: www.geobrugg.com. Consultado el: 31 de julio de 2006).
- GEOESTUDIOS LTDA. 1988. Geología y Geotecnia Túnel Ortiga. Informe, Anexos y Planos.

- GEOTÉCNICA CONSULTORES. 1989. Informe Geotécnico Final. Compañía Minera Disputada de Las Condes S.A. Proyecto Expansión Los Bronces – Sistema Transporte de Pulpa.
- GEOTÉCNICA CONSULTORES. 1991. Informe Final Túnel Vizcachas Geología y Geotecnia. Tomo 2. Compañía Minera Disputada de las Condes S.A.
- GUZMÁN, D.; L. CAVIERES. 2006. Bases Técnicas Ingeniería de Perfil Conjunta Andina – Sur Andes. Revisión A. Codelco Chile División Andina, Anglo American Chile. 14p.
- LEÓN, R. 2006. Informe sobre riesgos de invierno y avalanchas en el área del portal del túnel Río Blanco – Los Bronces, instalación de faenas y camino de acceso en el mismo sector de Los Bronces. Codelco Chile División Andina. Proyecto Nueva Andina, Santiago. (Comunicación Personal).16p.
- LEÓN, R. 2006. Diseños básicos para rampas de escape de camiones. Codelco Chile División Andina. Proyecto Nueva Andina, Santiago. (Comunicación Personal).
- MOP. 2001. MANUAL DE CARRETERAS Volumen N° 2 Procedimientos de Estudios Viales. 581p.
- MOP. 2001. MANUAL DE CARRETERAS Volumen N° 3 Instrucciones y Criterios de Diseño.
- MOP. 2001. MANUAL DE CARRETERAS Volumen N° 4 Planos de Obras Tipo. 326p.
- MOP. 2001. MANUAL DE CARRETERAS Volumen N° 5 Especificaciones Técnicas Generales de Construcción. 636p.
- SANTIAGO, J. Geomorfología. (Disponible en: <http://www.solociencia.com/geologia/geomorfologia.htm>. Consultado el: 6 de abril de 2006)
- SANTIBÁÑEZ, F.; URIBE. 1990. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Laboratorio de Ingeniería y Suelos.
- SANZANA, E. 2006. JRI Viajes e insumos principales. Codelco Chile División Andina. Proyecto Nueva Andina, Santiago. (Comunicación Personal).
- SCETAURROUTE.; CONSULTORÍA OSCAR G. GRIMAUX Y ASOCIADOS S.A.T.; GEOTÉCNICA CONSULTORES S.A.; VARDÉ Y ASOCIADOS S.A. 1998. Estudio Técnico Complementario del corredor alternativo al paso del Cristo Redentor entre Chile y Argentina. Informe Final, Volumen 3. 369p.
- UNIVERSIDAD DE CHILE. (Sin Fecha). Proyecto bases para el ordenamiento territorial ambientalmente sustentable de la Región Metropolitana. Cuarta Etapa Requerimientos a los usos del territorio. (Disponible en: http://www.gobiernosantiago.cl/medios/prodOT_etapas/etapa_IV/informe_e4.doc. Consultado el: 31 de Julio de 2006).

- VERGARA, J.; A. ELLENA; R. LEÓN; W. MORAGA. (Sin fecha). La meteorología en la ingeniería vial de alta montaña. (Disponible en: <http://www2.ing.puc.cl/~iing/ed433/anales/meteorologia.htm>. Consultado el: 27 de Julio de 2006).
- ZAPATA, A. 2004. Análisis de Alternativas de estabilizantes de suelo para el camino industrial de Codelco Chile División Andina. Tesis Pregrado. Esp. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. Cien. Ing. 250p.

ANEXO N° 1: DISTRITOS AGROCLIMÁTICOS

Figura A1.39: Distritos agroclimáticos



Fuente: Santibáñez, F. y Uribe. 1990. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Laboratorio de Ingeniería y Suelos.

ANEXO N° 2: CUADRO DE MOVIMIENTOS DE TIERRA SECTOR LOS BRONCES

Estación	Corte Área (m2)	Relleno Área (m2)	Corte Volumen (m3)	Relleno Volumen (m3)	Corte Total Volumen (m3)	Relleno Total Volumen (m3)
0+000.0	5.45	0.41				
			88.03	15.09	88.03	15.09
0+020.0	3.35	1.10				
			1749.98	11.02	1838.01	26.11
0+040.0	171.65	0.00				
			4402.05	0.00	6240.06	26.11
0+060.0	268.56	0.00				
			1616.46	0.00	7856.52	26.11
0+066.1	262.07	0.00				
			970.57	0.00	8827.10	26.11
0+070.0	275.72	0.00				
			1234.74	0.00	10061.84	26.11
0+074.6	297.43	0.00				
			1670.14	0.00	11731.98	26.11
0+080.0	319.19	0.00				
			7436.31	0.00	19168.29	26.11
0+100.0	424.44	0.00				
			8518.21	0.00	27686.50	26.11
0+120.0	427.38	0.00				
			8556.49	0.00	36242.99	26.11
0+140.0	428.27	0.00				
			7817.69	0.00	44060.69	26.11
0+160.0	353.50	0.00				
			1987.78	0.00	46048.47	26.11
0+165.6	352.50	0.00				
			1428.87	0.00	47477.34	26.11
0+170.0	347.00	0.00				
			529.49	0.00	48006.83	26.11
0+171.7	337.71	0.00				
			2723.14	0.00	50729.97	26.11
0+180.0	314.90	0.00				
			6080.37	0.00	56810.34	26.11
0+200.0	293.14	0.00				
			3672.05	0.00	60482.39	26.11
0+212.0	319.57	0.00				
			3071.95	0.00	63554.34	26.11
0+220.0	402.96	0.00				
			4601.43	0.00	68155.77	26.11
0+230.0	449.22	0.00				
			413.80	0.00	68569.57	26.11
0+230.8	451.29	0.00				
			4358.49	0.00	72928.06	26.11
0+240.0	500.87	0.00				
			10050.71	0.00	82978.77	26.11
0+260.0	504.21	0.00				
			9079.49	0.00	92058.26	26.11
0+280.0	403.74	0.00				
			4973.60	0.00	97031.86	26.11
0+293.0	359.80	0.00				
			911.16	0.00	97943.03	26.11
0+295.8	352.89	0.00				
			1467.92	0.00	99410.94	26.11
0+300.0	344.29	0.00				
			6451.56	0.00	105862.50	26.11
0+320.0	300.87	0.00				
			5364.75	0.00	111227.25	26.11
0+340.0	235.61	0.00				
			4010.18	0.00	115237.43	26.11
0+360.0	165.41	0.00				
			1539.49	0.00	116776.92	26.11
0+370.3	133.11	0.00				
			1113.61	0.00	117890.53	26.11
0+380.0	109.20	0.00				
			2059.24	0.00	119949.77	26.11
0+400.0	96.72	0.00				
			2072.68	0.00	122022.45	26.11
0+420.0	110.54	0.00				
			2313.11	1.32	124335.56	27.42
0+440.0	120.77	0.13				
			2600.34	1.32	126935.90	28.74
0+460.0	139.27	0.00				
			632.13	0.00	127568.03	28.74
0+464.5	144.35	0.00				
			809.41	0.00	128377.44	28.74
0+470.0	134.84	0.00				
			1358.98	0.00	129736.42	28.74
0+480.0	120.52	0.00				

Estación	Corte Área (m2)	Relleno Área (m2)	Corte Volumen (m3)	Relleno Volumen (m3)	Corte Total Volumen (m3)	Relleno Total Volumen (m3)
			1102.86	0.39	130839.28	29.13
0+488.8	111.81	0.09				
			1082.11	19.98	131921.40	49.10
0+500.0	81.30	3.47				
			1533.51	45.41	133454.91	94.51
0+520.0	72.05	1.07				
			1119.18	17.73	134574.09	112.24
0+531.8	117.01	1.93				
			1285.41	24.09	135859.50	136.33
0+540.0	158.94	4.71				
			2134.60	53.91	137994.10	190.24
0+550.0	205.80	7.46				
			2361.84	53.78	140355.94	244.02
0+560.0	197.38	4.74				
			2562.98	22.28	142918.92	266.30
0+570.0	254.54	0.00				
			3458.43	0.00	146377.35	266.30
0+580.0	368.22	0.00				
			4594.06	0.00	150971.41	266.30
0+590.0	453.63	0.00				
			229.58	0.00	151200.99	266.30
0+590.4	456.84	0.00				
			4629.47	0.00	155830.46	266.30
0+600.0	512.56	0.00				
			10762.85	0.00	166593.31	266.30
0+620.0	563.73	0.00				
			10635.48	0.00	177228.79	266.30
0+640.0	499.82	0.00				
			7996.12	0.00	185224.91	266.30
0+657.9	394.22	0.00				
			712.96	0.00	185937.87	266.30
0+660.0	383.08	0.00				
			3154.90	0.00	189092.77	266.30
0+670.0	342.94	0.00				
			2402.40	0.00	191495.18	266.30
0+678.3	324.02	0.00				
			565.58	0.00	192060.76	266.30
0+680.0	324.60	0.00				
			6273.10	0.00	198333.86	266.30
0+700.0	302.71	0.00				
			6077.94	0.00	204411.80	266.30
0+720.0	305.08	0.00				
			6583.34	0.00	210995.14	266.30
0+740.0	353.25	0.00				
			7701.07	0.00	218696.21	266.30
0+760.0	417.87	0.00				
			9.56	0.00	218705.77	266.30
0+760.0	417.88	0.00				
			3744.08	0.00	222449.85	266.30
0+770.0	442.06	0.00				
			2728.58	0.00	225178.43	266.30
0+776.8	477.34	0.00				
			1571.74	0.00	226750.17	266.30
0+780.0	497.85	0.00				
			10961.16	0.00	237711.33	266.30
0+800.0	598.27	0.00				
			11633.81	0.00	249345.14	266.30
0+820.0	565.12	0.00				
			10045.73	0.00	259390.88	266.30
0+840.0	439.46	0.00				
			8213.78	0.00	267604.66	266.30
0+860.0	381.92	0.00				
			414.56	0.00	268019.22	266.30
0+861.1	381.36	0.00				
			2007.61	0.00	270026.83	266.30
0+865.8	372.11	0.00				
			4932.98	0.00	274959.81	266.30
0+880.0	322.14	0.00				
			6432.76	0.00	281392.57	266.30
0+900.0	321.14	0.00				
			6767.82	0.00	288160.39	266.30
0+920.0	355.65	0.00				
			7317.95	0.00	295478.34	266.30
0+940.0	376.15	0.00				
			7593.46	0.00	303071.80	266.30
0+960.0	383.20	0.00				
			273.98	0.00	303345.78	266.30
0+960.7	384.75	0.00				
			3265.79	0.00	306611.58	266.30
0+970.0	403.85	0.00				

Estación	Corte Área (m2)	Relleno Área (m2)	Corte Volumen (m3)	Relleno Volumen (m3)	Corte Total Volumen (m3)	Relleno Total Volumen (m3)
			2155.52	0.00	308767.10	266.30
0+975.8	426.41	0.00				
			1819.83	0.00	310586.93	266.30
0+980.0	437.74	0.00				
			8606.35	0.00	319193.27	266.30
1+000.0	422.90	0.00				
			4121.14	0.00	323314.41	266.30
1+010.4	367.92	0.00				
			3125.88	0.00	326440.29	266.30
1+020.0	355.26	0.00				
			2134.93	0.00	328575.21	266.30
1+026.8	338.90	0.00				
			4368.25	0.00	332943.46	266.30
1+040.0	323.18	0.00				
			6291.13	0.00	339234.58	266.30
1+060.0	305.93	0.00				
			6072.12	0.00	345306.71	266.30
1+080.0	301.28	0.00				
			6133.88	0.00	351440.59	266.30
1+100.0	312.11	0.00				
			1673.39	0.00	353113.97	266.30
1+105.3	318.12	0.00				
			1519.35	0.00	354633.32	266.30
1+110.0	315.31	0.00				
			3059.06	0.00	357692.39	266.30
1+120.0	286.03	0.00				
			2620.45	0.00	360312.83	266.30
1+130.0	228.72	0.00				
			883.10	0.00	361195.93	266.30
1+133.9	212.71	0.00				
			1268.90	0.00	362464.83	266.30
1+140.0	204.23	0.00				
			3292.74	461.01	365757.57	727.31
1+160.0	125.04	46.10				
			2301.25	656.94	368058.81	1384.24
1+180.0	105.08	19.59				
			2322.51	195.92	370381.32	1580.17
1+200.0	127.17	0.00				
			133.76	0.00	370515.08	1580.17
1+201.0	129.53	0.00				
			1195.22	0.00	371710.30	1580.17
1+210.0	142.24	0.00				
			1506.80	0.00	373217.09	1580.17
1+220.0	168.73	0.00				
			1807.26	0.00	375024.35	1580.17
1+230.0	211.55	0.00				
			688.26	0.00	375712.61	1580.17
1+233.4	214.64	0.00				
			1375.39	0.00	377088.00	1580.17
1+240.0	204.62	0.00				
			3613.01	0.00	380701.01	1580.17
1+258.5	186.64	0.00				
			298.07	0.00	380999.08	1580.17
1+260.0	182.33	0.00				
			1655.97	0.00	382655.05	1580.17
1+270.0	133.04	0.00				
			1197.55	0.00	383852.59	1580.17
1+280.0	95.77	0.00				
			1037.19	0.00	384889.79	1580.17
1+290.0	103.22	0.00				
			1117.89	0.00	386007.67	1580.17
1+298.9	139.81	0.00				
			150.37	0.00	386158.04	1580.17
1+300.0	146.14	0.00				
			3516.30	0.00	389674.34	1580.17
1+320.0	205.49	0.00				
			4130.68	0.00	393805.02	1580.17
1+340.0	207.58	0.00				
			3354.56	0.00	397159.58	1580.17
1+356.5	198.49	0.00				
			680.80	0.00	397840.37	1580.17
1+360.0	187.63	0.00				
			1683.38	0.00	399523.75	1580.17
1+370.0	150.22	0.00				
			1360.29	0.00	400884.04	1580.17
1+380.0	127.65	0.00				
			427.81	0.00	401311.85	1580.17
1+383.5	121.27	0.00				
			2160.29	0.00	403472.14	1580.17
1+400.0	141.00	0.00				

Estación	Corte Área (m2)	Relleno Área (m2)	Corte Volumen (m3)	Relleno Volumen (m3)	Corte Total Volumen (m3)	Relleno Total Volumen (m3)
			1589.48	0.00	405061.62	1580.17
1+411.2	142.86	0.00				
			1283.37	0.00	406344.99	1580.17
1+420.0	151.72	0.00				
			1779.12	0.00	408124.11	1580.17
1+430.0	203.28	0.00				
			2279.91	0.00	410404.02	1580.17
1+440.0	248.35	0.00				
			189.64	0.00	410593.66	1580.17
1+440.8	246.99	0.00				
			4408.30	0.00	415001.96	1580.17
1+460.0	211.24	0.00				
			4255.10	0.00	419257.07	1580.17
1+480.0	214.27	0.00				
			7266.00	0.00	426523.07	1580.17
1+500.0	512.33	0.00				
			12408.73	0.00	438931.80	1580.17
1+520.0	728.54	0.00				
			16764.89	0.00	455696.69	1580.17
1+540.0	947.95	0.00				
			9314.86	0.00	465011.55	1580.17
1+549.7	976.56	0.00				
			302.37	0.00	465313.92	1580.17
1+550.0	976.53	0.00				
			9909.71	0.00	475223.63	1580.17
1+560.0	1049.15	0.00				
			10814.68	0.00	486038.31	1580.17
1+570.0	1119.98	0.00				
			5627.98	0.00	491666.29	1580.17
1+575.0	1113.23	0.00				
			5554.31	0.00	497220.60	1580.17
1+580.0	1111.84	0.00				
			14090.99	0.00	511311.59	1580.17
1+592.6	1119.79	0.00				
			8333.35	0.00	519644.94	1580.17
1+600.0	1119.14	0.00				
			11246.42	0.00	530891.36	1580.17
1+610.0	1107.29	0.00				
			11070.96	0.00	541962.32	1580.17
1+620.0	1083.68	0.00				
			10736.04	0.00	552698.36	1580.17
1+630.0	1041.63	0.00				
			10167.99	0.00	562866.36	1580.17
1+640.0	975.65	0.00				
			9438.29	0.00	572304.65	1580.17
1+650.0	902.61	0.00				
			8678.05	0.00	580982.70	1580.17
1+660.0	828.19	0.00				
			5024.90	0.00	586007.60	1580.17
1+666.2	784.05	0.00				
			10348.80	0.00	596356.40	1580.17
1+680.0	718.53	0.00				
			13034.72	0.00	609391.11	1580.17
1+700.0	584.94	0.00				
			10377.76	0.00	619768.88	1580.17
1+720.0	452.83	0.00				
			7813.82	0.00	627582.69	1580.17
1+740.0	328.55	0.00				
			5567.16	0.00	633149.86	1580.17
1+760.0	228.17	0.00				
			3713.24	0.00	636863.10	1580.17
1+780.0	143.16	0.00				
			2222.65	0.00	639085.75	1580.17
1+800.0	79.11	0.00				
			791.12	50.55	639876.87	1630.72
1+820.0	0.00	5.06				
			0.04	1052.39	639876.91	2683.11
1+840.0	0.00	100.18				
			0.00	700.29	639876.91	3383.40
1+845.3	0.00	164.78				
			0.00	864.27	639876.91	4247.67
1+850.0	0.00	202.09				
			0.00	2324.51	639876.91	6572.18
1+860.0	0.00	255.44				
			0.00	2757.12	639876.91	9329.30
1+870.0	0.00	276.82				
			0.00	871.68	639876.91	10200.98
1+873.0	0.00	279.33				
			0.00	1920.19	639876.91	12121.17
1+880.0	0.00	269.43				

Estación	Corte Área (m2)	Relleno Área (m2)	Corte Volumen (m3)	Relleno Volumen (m3)	Corte Total Volumen (m3)	Relleno Total Volumen (m3)
			0.00	4300.29	639876.91	16421.46
1+900.0	0.00	160.60				
			0.00	1955.22	639876.91	18376.68
1+920.0	0.00	34.93				
			330.64	349.25	640207.55	18725.93
1+940.0	33.06	0.00				
			1601.11	0.00	641808.66	18725.93
1+960.0	127.05	0.00				
			4392.12	0.00	646200.78	18725.93
1+980.0	312.16	0.00				
			9023.52	0.00	655224.30	18725.93
2+000.0	590.19	0.00				
			13798.61	0.00	669022.92	18725.93
2+020.0	789.67	0.00				
			7722.60	0.00	676745.51	18725.93
2+028.3	1064.81	0.00				

ANEXO N° 3: FOTOGRAFÍAS

Figura A3.40: Camino Peldehue - puente Colina



Fotografías: Rodrigo Sandoval V. (Marzo 2006)

Figura A3.41: Camino tramo esteros Arrayán y Colina. Plataforma tuberías de transporte de pulpa Los Bronces



Fotografías: Sr. René León G. (Mayo 2006)

Figura A3.42: Puente Ortiga mirando hacia el oeste



Fotografía: Sr. René León G. (Mayo 2006)

Figura A3.43: Camino a pocos metros del portal ortiga del túnel de transporte de pulpa



Fotografía: Sr. René León G. (Mayo 2006)

**Figura A3.44: Inicio de faenas de limpieza (etapa de búsqueda de camino) en camino industrial
División Andina**



Fotografías: Caminos de Nieve (División Andina)

Figura A3.45: Camino después de terminadas las faenas de limpieza camino industrial División Andina



Fotografías: Rodrigo Sandoval, Julio de 2006.

Figura A3.46: Protección pasiva de avalanchas en camino industrial de División Andina



Fotografía: Rodrigo Sandoval, Julio de 2006.

Figura A3.47: Pistas de emergencias utilizadas en camino industrial de División Andina



Fotografías: Rodrigo Sandoval, Julio de 2006.



Fotografías: Sr. Ismael Toledo, Arcadis Geotécnica (2006)

Figura A3.48: Riesgo de caída de placa de nieve



Fotografía: Rodrigo Sandoval, Julio de 2006.

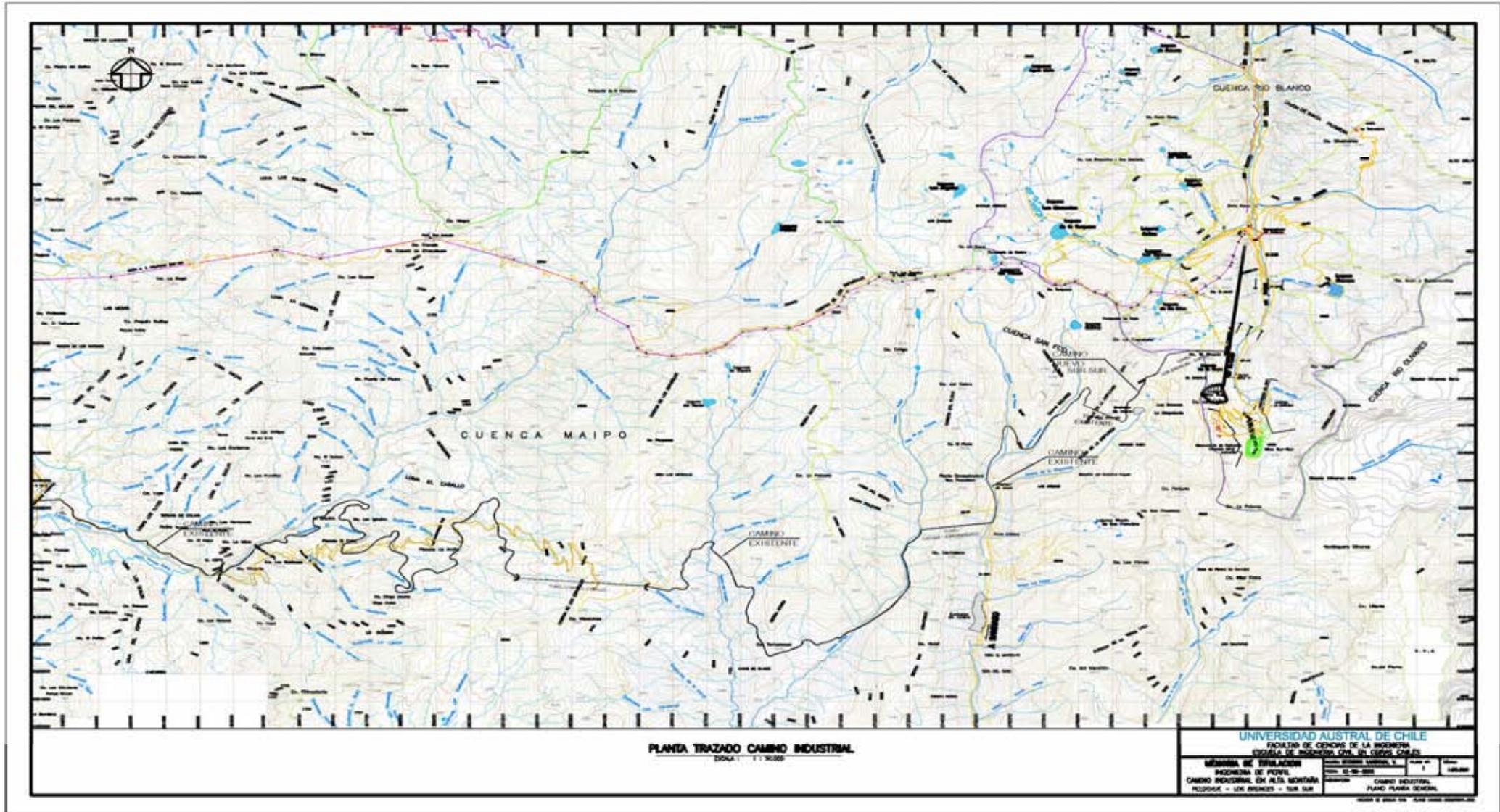
Figura A3.49: Medidas de seguridad vial en camino industrial División Andina

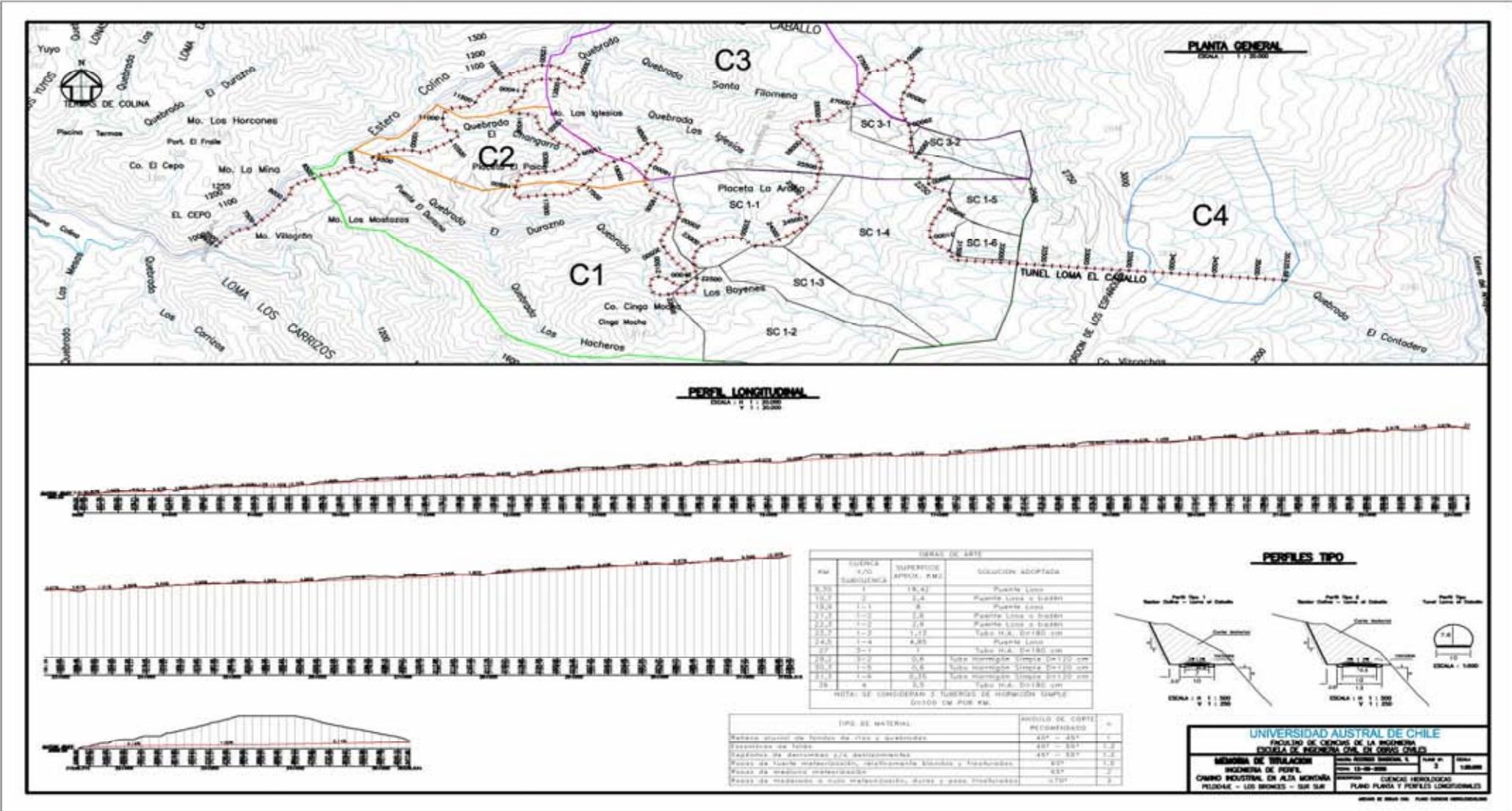


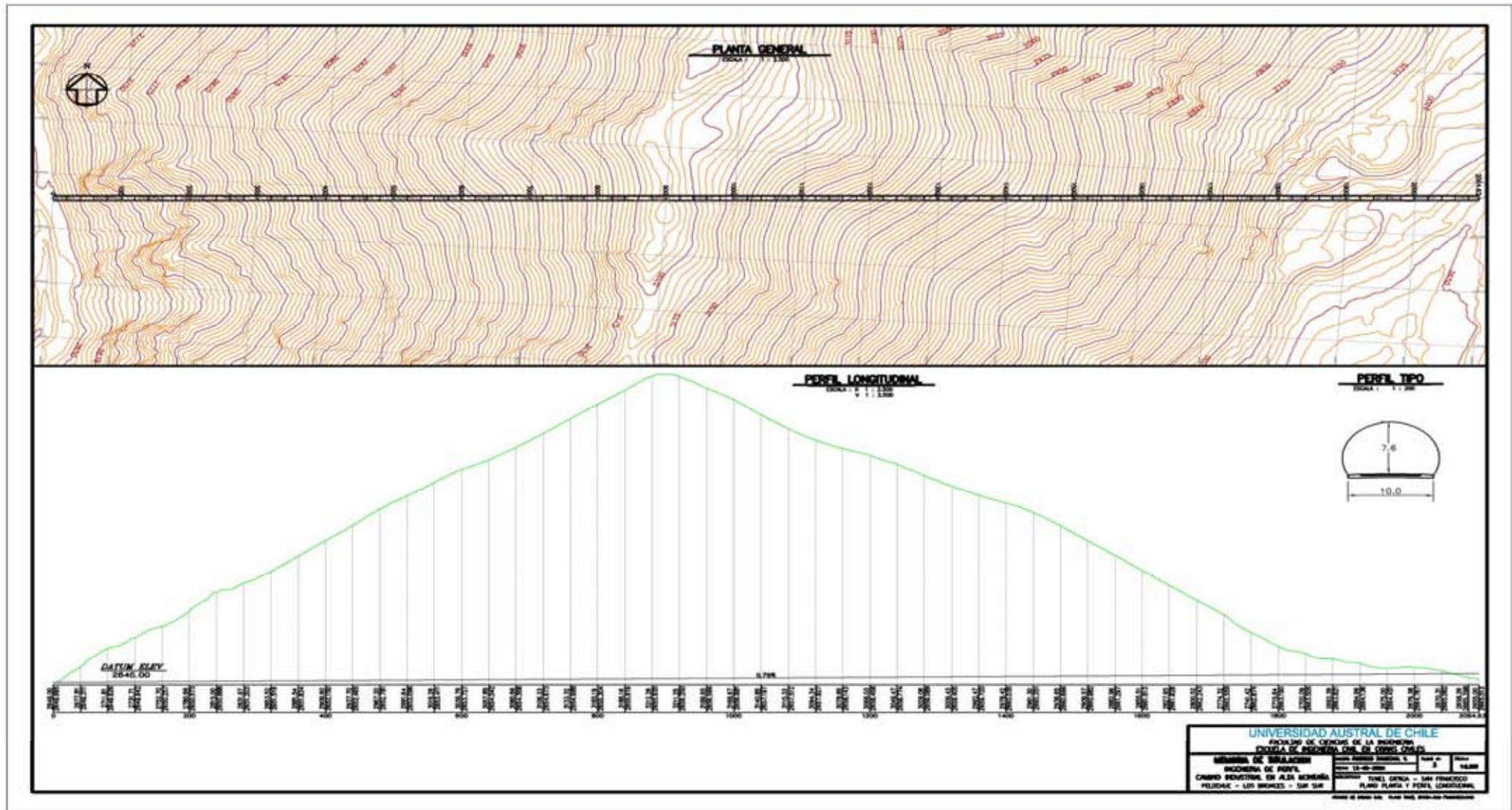
Fotografías: Sr. Ismael Toledo, Arcadis Geotécnica (2006)

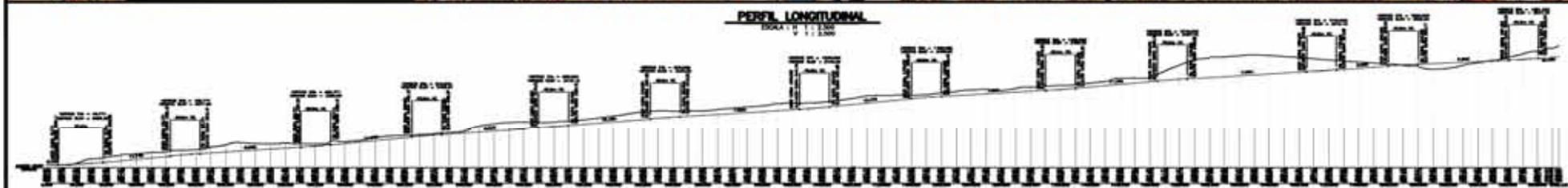
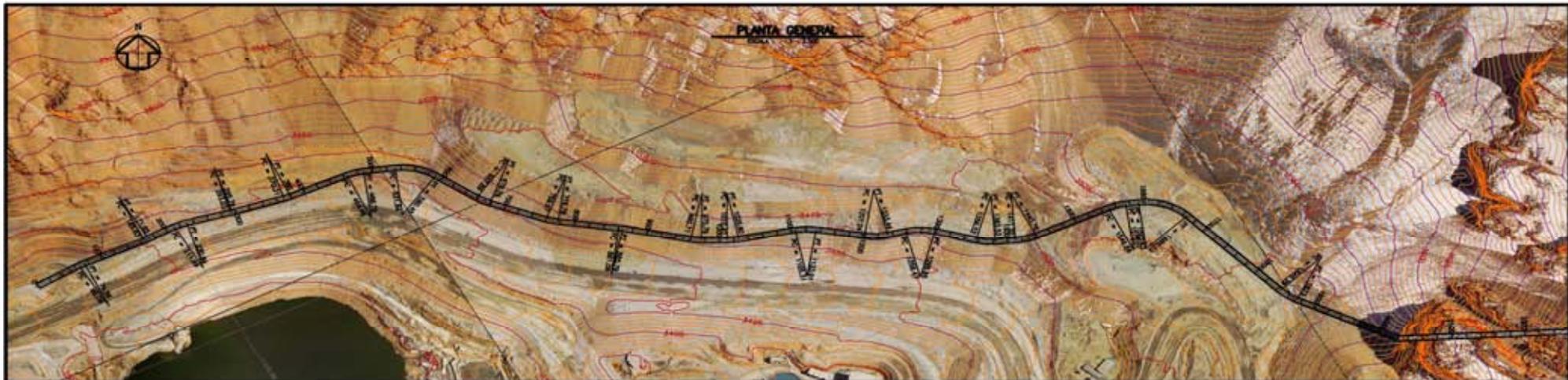
ANEXO N° 4

PLANOS

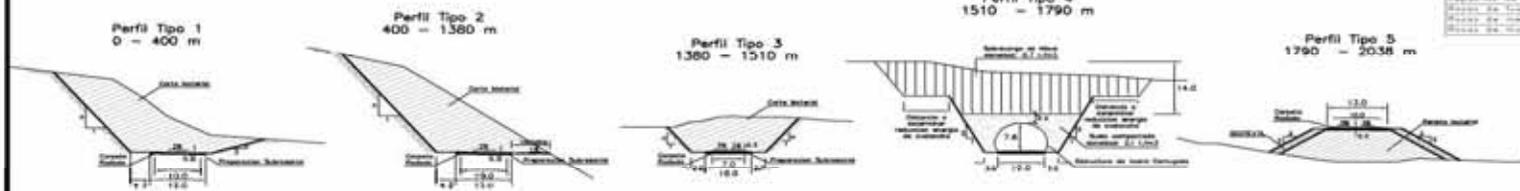








PERFILES TIPO
ESCALA: 1:500

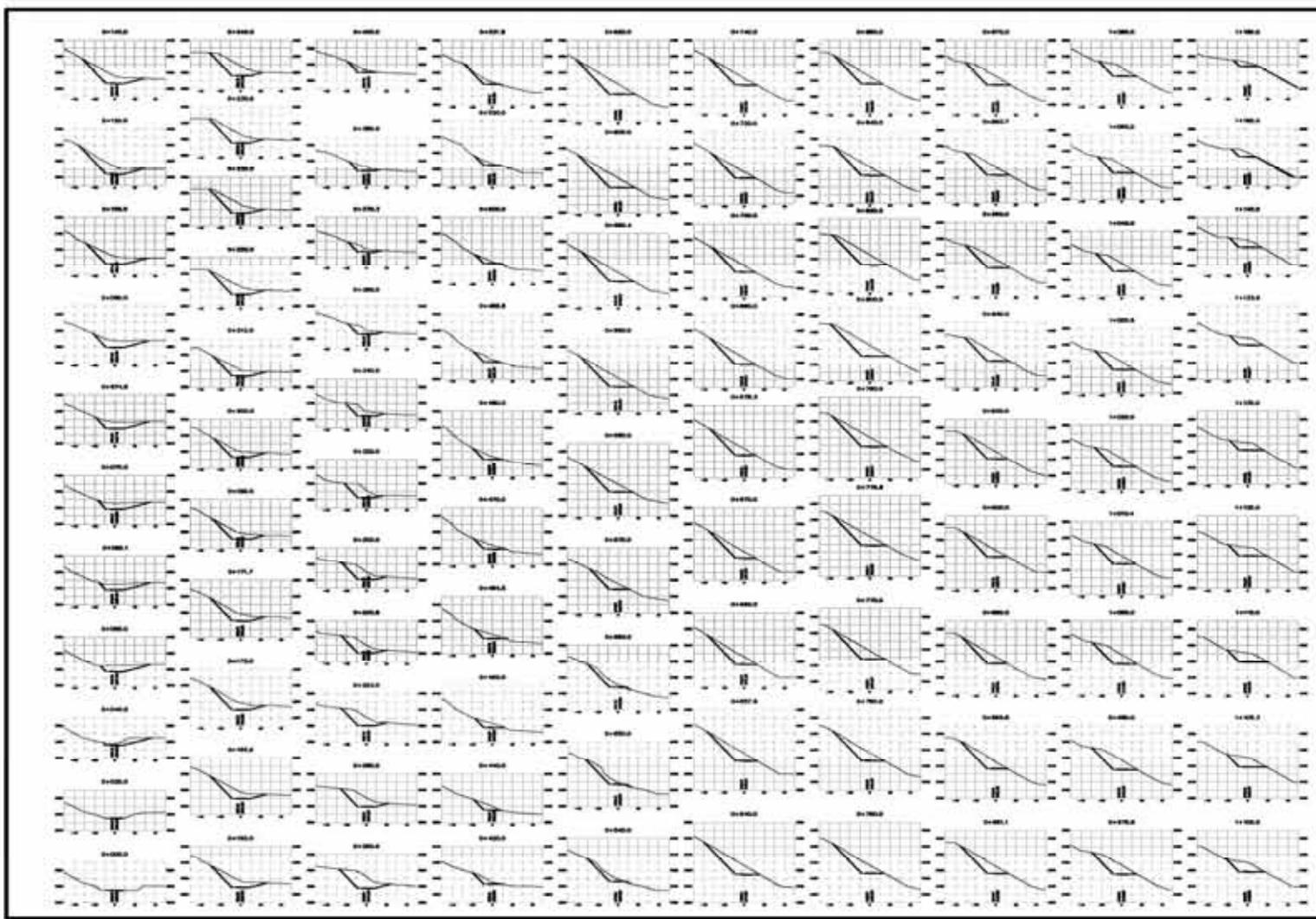


TIPO DE MATERIAL	APORTE DE CANTAS	RECOMENDADO
CONCRETO	100%	100%
ACERO	0%	0%
ALUMINIO	0%	0%
WOOD	0%	0%
STEEL	0%	0%
BRICK	0%	0%
STONE	0%	0%
OTHER	0%	0%

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DE CHILE

MEMORIA DE DIMENSIONES
RECONSTRUCCION DE PUENTE
CAMINO AUSTRAL EN ALTA MONTAÑA
PELQUE - LOS BRINCHES - QUE SUR

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DE CHILE
MEMORIA DE DIMENSIONES
RECONSTRUCCION DE PUENTE
CAMINO AUSTRAL EN ALTA MONTAÑA
PELQUE - LOS BRINCHES - QUE SUR
PLANOS PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL
FECHA DE EMISION: 10/05/2010
FECHA DE REVISION: 10/05/2010

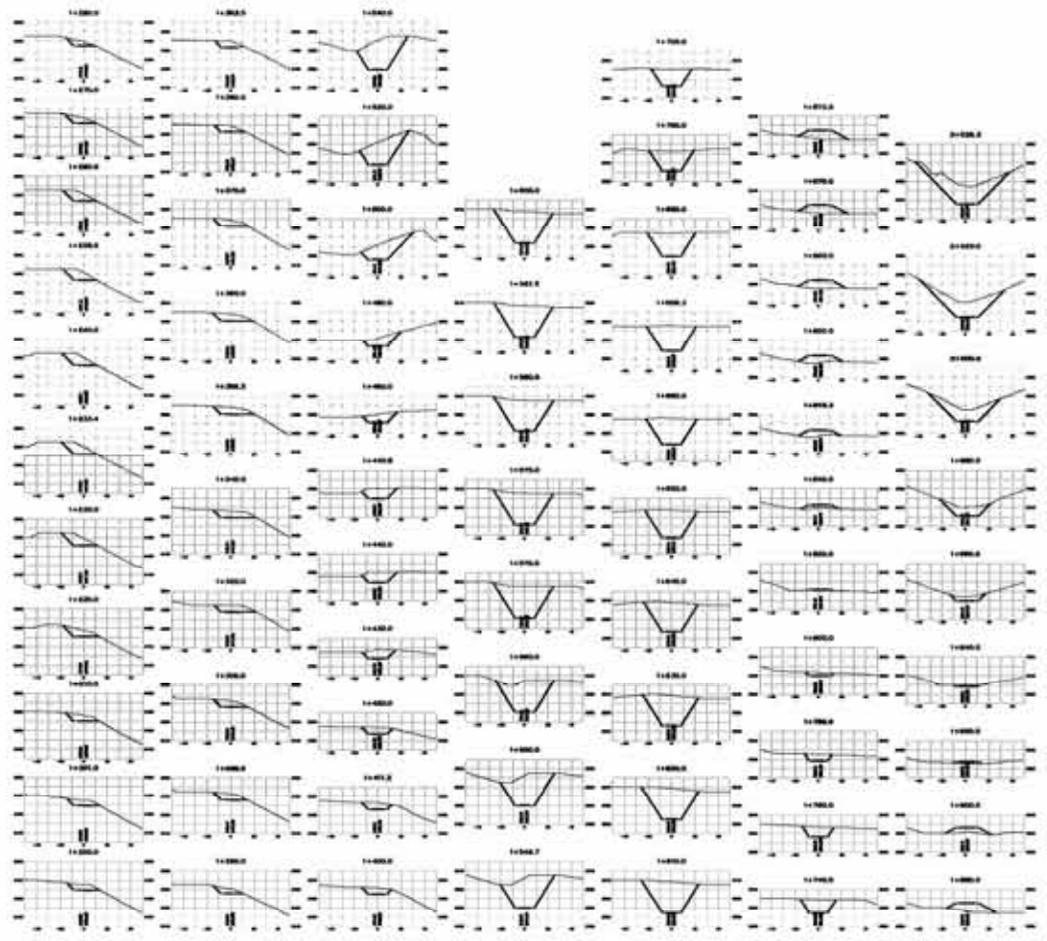


UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DE CONCRETO

MEMORIA DE TITULACION
 INGENIERIA DE PUESTO
 CAMINO INDUSTRIAL EN ALTA MONTAÑA
 PELDRAJE - LOS BRINCES - QUE SUR

Nombre del Proyecto	1	Fecha	14/08/2011
Nombre del Autor	1	Fecha	14/08/2011
Nombre del Profesor	1	Fecha	14/08/2011

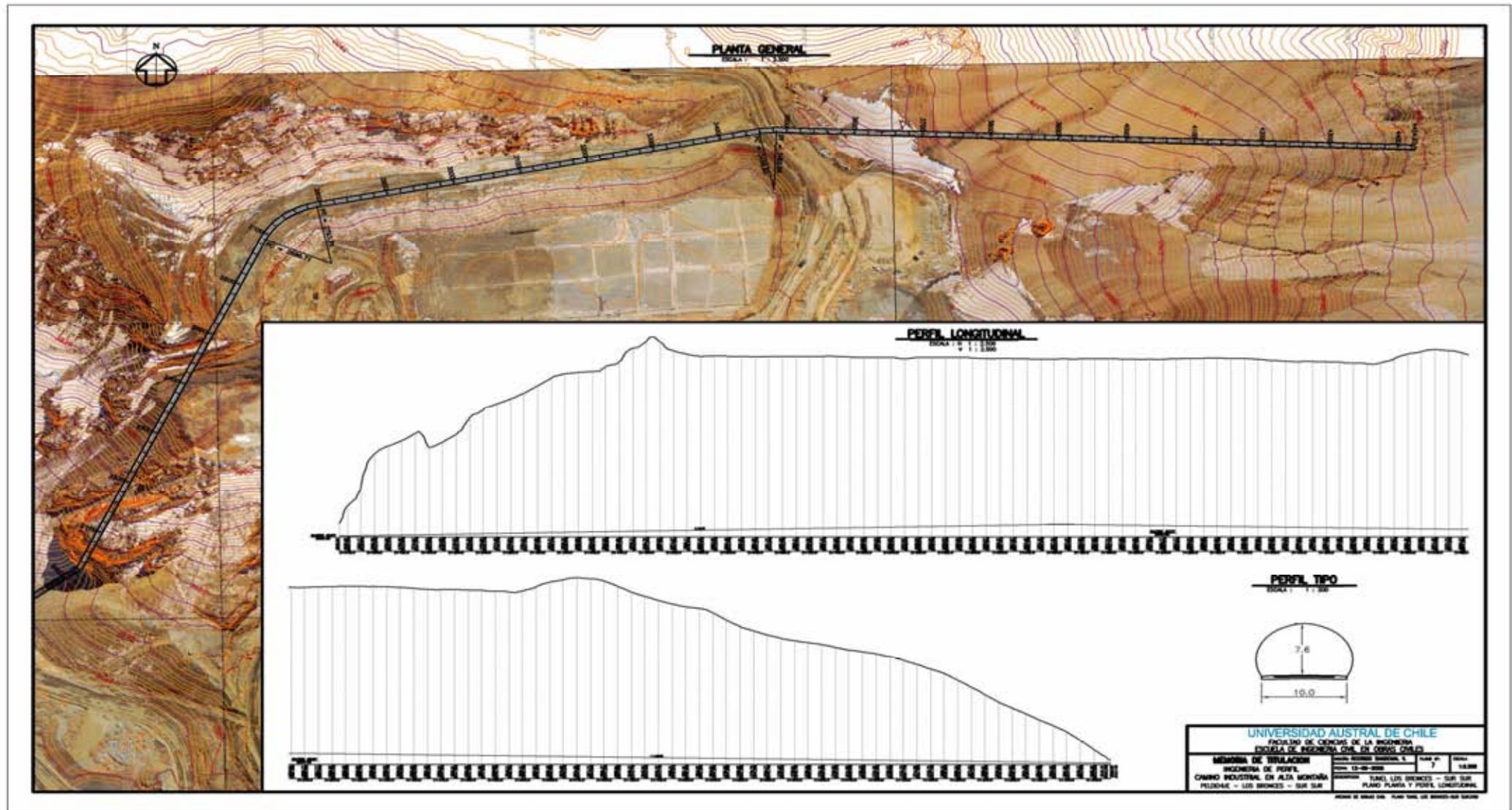
MEMORIA DE TITULACION - PLAN PERFIL PARA TITULACION DEL CAMINO

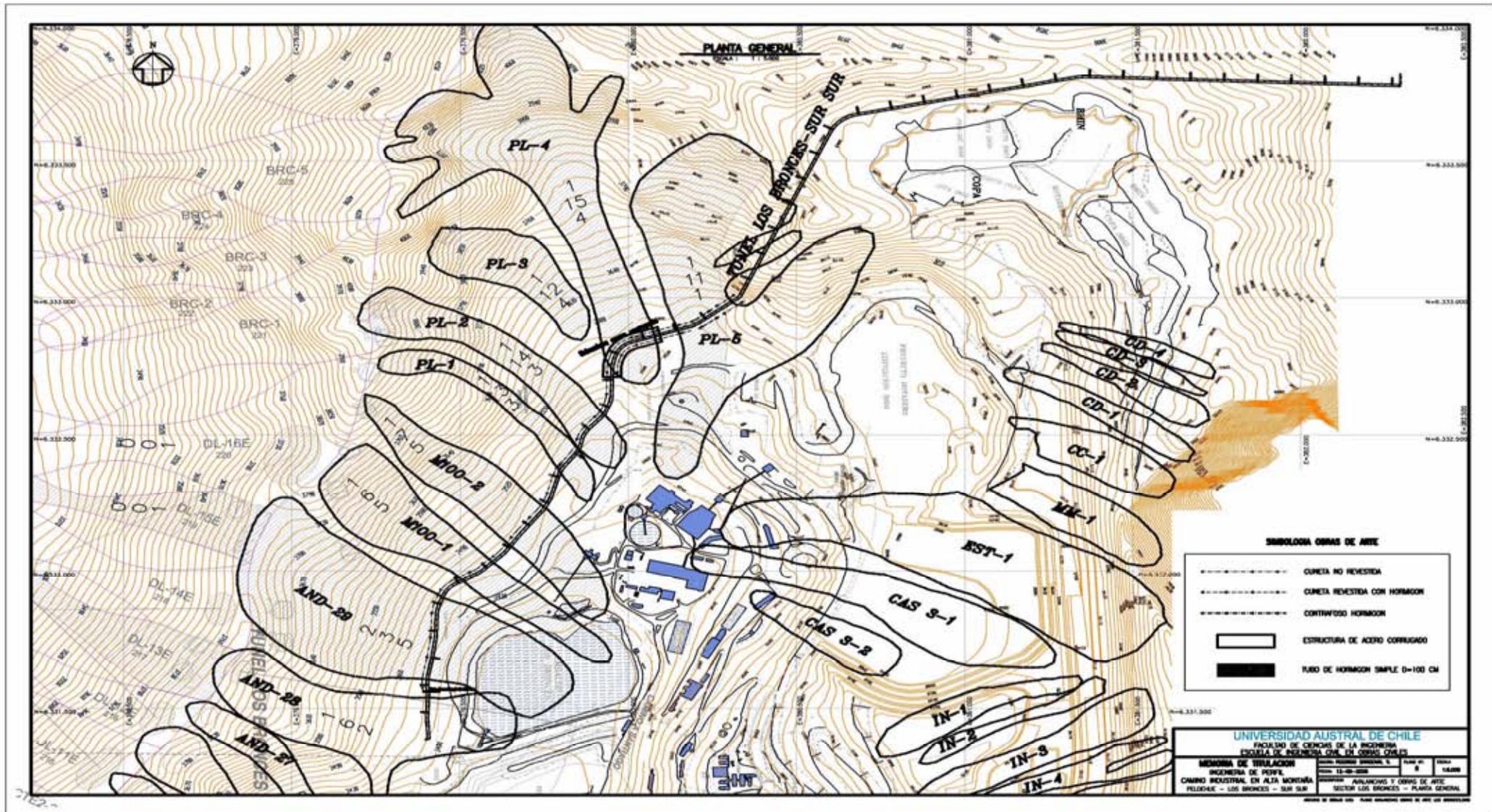


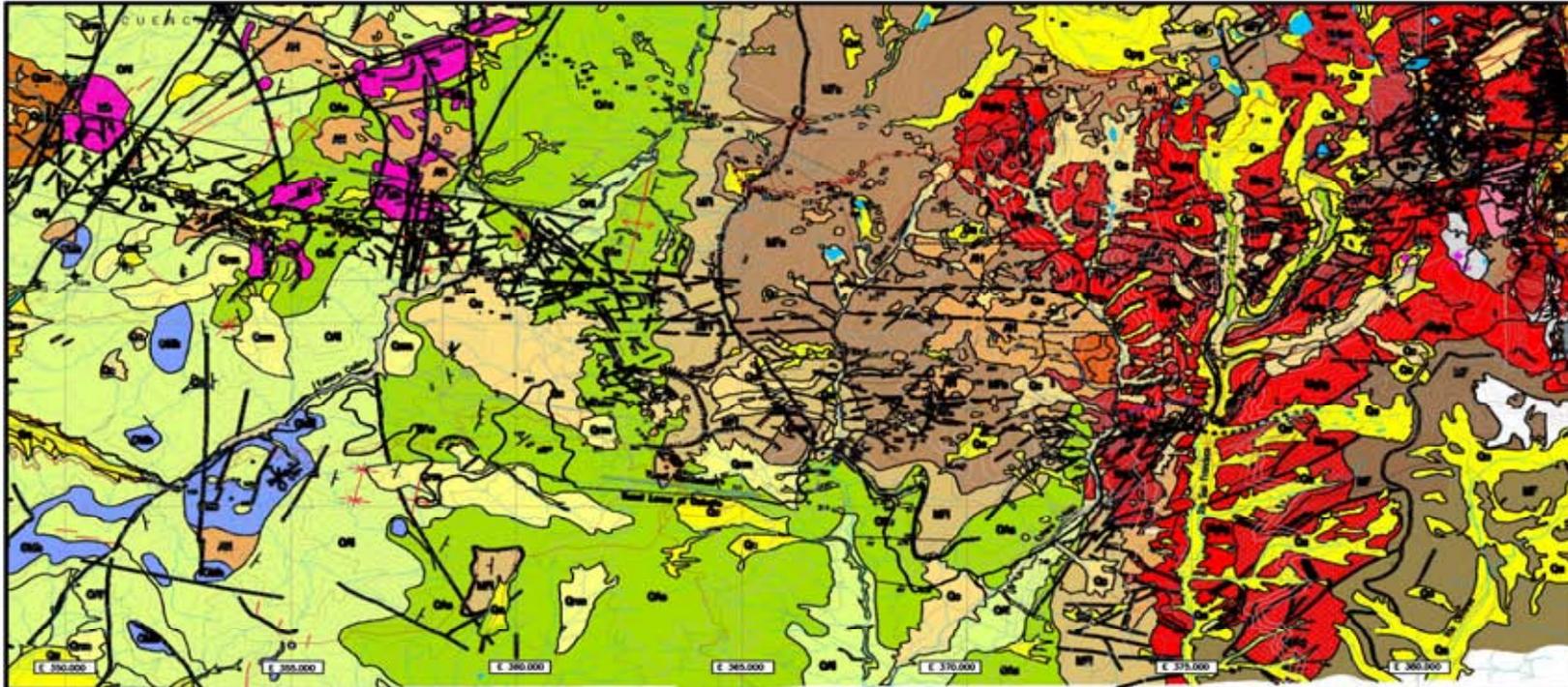
UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL EN OBRAS CIVILES

MEDICINA DE VIBRACION	CARRERA N°	10000
INGENIERIA DE PONTES	PLAN N°	8
CARRO INDUSTRIAL EN ALTA MONTAÑA	FECHA	12-08-2008
PELODICE - LOS BRANCO - SAN BERNARDINO	PROYECTO	CARRO SECTOR LOS BRANCO PLANO PERFILES TRANSVERSALES

MADE IN CHILE - PLAN NOT TO BE USED SEPARATELY







LEYENDA

UNIDADES DE SUEÑOS (EXTRUCCIONES)

- 101** Basaltos extrusivos (bancos, lavas, domos, etc.)
- 102** Basaltos intrusivos (diques, etc.)
- 103** Basaltos intrusivos (diques, etc.)
- 104** Basaltos intrusivos (diques, etc.)
- 105** Basaltos intrusivos (diques, etc.)
- 106** Basaltos intrusivos (diques, etc.)
- 107** Basaltos intrusivos (diques, etc.)
- 108** Basaltos intrusivos (diques, etc.)
- 109** Basaltos intrusivos (diques, etc.)
- 110** Basaltos intrusivos (diques, etc.)

UNIDADES DE ROSA

ROSA METAMORFICAS

- 201** Pizarra verde-mediana (esqueleto de corales, etc.)
- 202** Pizarra verde-mediana (esqueleto de corales, etc.)
- 203** Pizarra verde-mediana (esqueleto de corales, etc.)
- 204** Pizarra verde-mediana (esqueleto de corales, etc.)
- 205** Pizarra verde-mediana (esqueleto de corales, etc.)
- 206** Pizarra verde-mediana (esqueleto de corales, etc.)
- 207** Pizarra verde-mediana (esqueleto de corales, etc.)
- 208** Pizarra verde-mediana (esqueleto de corales, etc.)
- 209** Pizarra verde-mediana (esqueleto de corales, etc.)
- 210** Pizarra verde-mediana (esqueleto de corales, etc.)

SIMBOLOGIA

	Falla normal (sin de sentido). Una separación lateral, vertical, de las rocas.		Pliegue anticlinal de tipo basico.
	Falla inversa.		Sinclinio.
	Falla de tipo lateral (de tipo strike) o de tipo transformante.		Anticlinio de tipo.
	Falla y/o fractura de cualquier sentido de ruptura.		Anticlinio de tipo.
	Falla y/o fractura de cualquier sentido de ruptura.		Anticlinio de tipo.
	Falla y/o fractura de cualquier sentido de ruptura.		Anticlinio de tipo.
	Falla y/o fractura de cualquier sentido de ruptura.		Anticlinio de tipo.
	Falla y/o fractura de cualquier sentido de ruptura.		Anticlinio de tipo.
	Falla y/o fractura de cualquier sentido de ruptura.		Anticlinio de tipo.
	Falla y/o fractura de cualquier sentido de ruptura.		Anticlinio de tipo.

ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL EN OSORNIO
 MEMORIA DE SITUACION
 INGENIERIA DE PUENTES
 OBRAS INDUSTRIALES EN ALTA MONTAÑA
 PELODEAZO - LOS BANCOS - SUR SUR
 PLANO PLANTA GENERAL