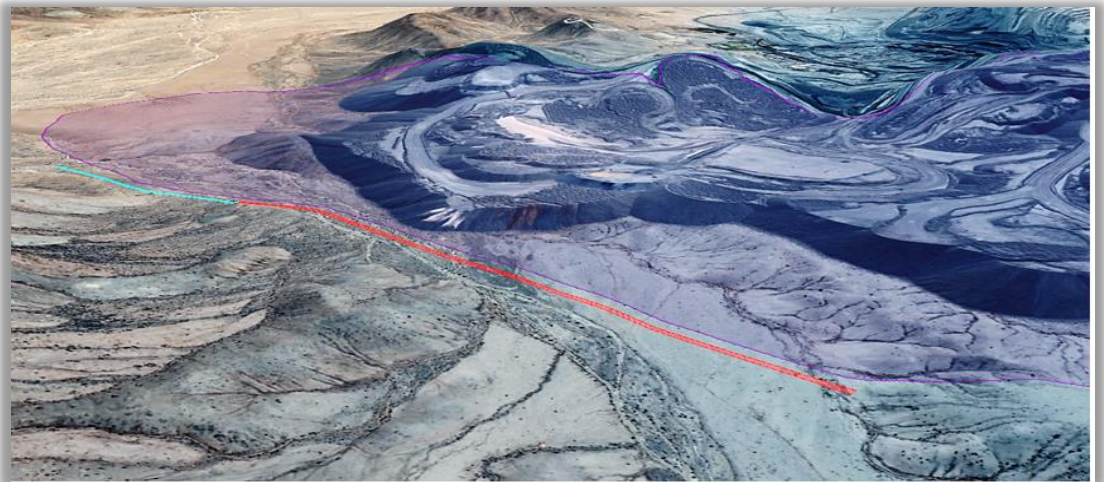


Memoria

Autorización de Regularización y Defensa de Cauces Naturales “Proyecto Ampliación y Mejoras Operacionales Mina Los Colorados”

Informe Preparado para

Compañía Minera del Pacífico S.A



Informe Preparado por



SRK Consulting (Chile) S.A.
01-2362-22
Abril, 2018

Memoria

Autorización de Regularización y Defensa de Cauces Naturales

Rev. A

Compañía Minera del Pacífico

SRK Consulting (Chile) S.A.

Av. Vitacura 2939, Piso 5

Las Condes - Santiago

Chile

e-mail: santiago@srk.cl

website: www.latam.srk.com

Tel: +(56-2) 2489 0800

Fax: +(56-2) 2489 0801

Número Proyecto SRK 01-2362-22

Abril, 2018

Compilado por:

María Inés Vidal

Jefe Área Medio Ambiente y Permisos

Email: mvidal@srk.cl

Revisado por:

Alvaro Huerta

Jefe Grupo Geotecnia Relaves

Autores:

Alvaro Huerta, José Luis Quiroga, Alvaro Chávez

Tabla de Contenidos

1	Introducción y Alcance del Informe	1
2	Antecedentes Generales	3
2.1	Individualización del Solicitante	3
2.2	Extracto de publicación	3
2.3	Antecedentes Legales que acompañan la solicitud.....	4
3	Ubicación del Proyecto	5
4	Descripción Proyecto	7
4.1	Canales de Contorno	8
4.1.1	Canal de Contorno Superior	9
4.1.2	Canal de Contorno Inferior	11
4.2	Muro de Protección	11
4.3	Canal de Desvío.....	13
5	Topografía	16
6	Cronograma.....	17
7	Criterios y Parámetros de Diseño	18
7.1	Periodo de Retorno de Diseño.....	18
7.2	Caudales a Transportar	18
7.2.1	Hidrología	18
7.2.2	Arrastre de Sedimentos.....	19
7.2.3	Caudales de Diseño y Verificación	20
7.2.4	Granulometría y parámetros partículas.....	20
7.2.5	Coeficientes de Rugosidad de Manning	22
8	Memoria de Cálculo Hidráulica.....	25
8.1	Canal de Contorno	25
8.1.1	Sección Transversal.....	25
8.1.2	Obra de Entrega (Disipador de Energía)	26
8.1.3	Modelos Hidráulicos	28
8.1.4	Perfiles Hidráulicos.....	30
8.2	Muro de Protección	34
8.2.1	Sección Transversal.....	34
8.2.2	Modelo Hidráulico.....	34
8.2.3	Perfiles Hidráulicos.....	35
8.2.4	Socavación	37
8.2.5	Enrocado de Protección	37

8.3	Canal de Desvío.....	39
8.3.1	Sección Transversal.....	39
8.3.2	Obras de Caída (Disipadores de Energía).....	40
8.3.3	Eje Hidráulico en Primer Tramo del Canal de Desvío	41
8.3.4	Eje Hidráulico en Segundo Tramo del Canal de Desvío.....	43
8.3.5	Eje Hidráulico en Tercer Tramo del Canal de Desvío.....	45
8.3.6	Protecciones de Enrocado en el Canal de Desvío	49
8.3.7	Cantidades	51
9	Anexos	52

Lista de Tablas

Tabla 2-1: Datos del Titular y Representación	3
Tabla 3-1: Coordenadas Vértices Propiedad Minera	7
Tabla 4-1: Granulometría Enrocado – Captación y Descarga Canales	10
Tabla 6-1: Cronograma Fase de Construcción	17
Tabla 7-1: Principales Indicadores Morfométricos de la Cuenca Aportantes.....	19
Tabla 7-2: Caudales Máximos Instantáneos en cada Cuenca (m^3/s)	19
Tabla 7-3: Potencial Arrastre de Sólidos, Duración Evento y Caudal Equivalente	20
Tabla 7-4: Caudales de Diseño y Verificación Obras de Protección	20
Tabla 7-5: Distribución granulométrica en Calicatas.....	21
Tabla 7-6: Diámetros característicos.....	22
Tabla 7-7: Componentes Coeficiente Manning – Método Cowan.....	23
Tabla 7-8: Estimación Coeficiente de Rugosidad de Manning.....	24
Tabla 8-1: Diseño/Verificación Canal – $T = 100$ años + Sedimentos.....	26
Tabla 8-2: Diseño de Obra de Entrega (Caída Disipadora)	27
Tabla 8-3: Verificación Socavación – Obra de Entrega Canal de Contorno	28
Tabla 8-4: Condiciones de Borde Modelos Hidráulicos	28
Tabla 8-5: Condiciones de Borde Modelo Hidráulico – Muro de Protección.....	34
Tabla 8-6: Socavación general estimada en Quebrada Principal Sector Muro de Protección ($T = 100$ años)	37
Tabla 8-7: Cálculo Enrocado de Protección	38
Tabla 8-8: Granulometría del Enrocado para el Muro de Protección.....	38
Tabla 8-9: Diseño/Verificación Canal de Desvío	40
Tabla 8-10: Diseño de Obras de Caída (Disipadores de Energía)	41
Tabla 8-11: Verificación Socavación – Obra de Caída Canal de Desvío.....	41
Tabla 8-12: Eje hidráulico en obra de captación del Canal de Desvío – Q Diseño = $1,11 \text{ m}^3/\text{s}$	42
Tabla 8-13: Eje hidráulico en obra de captación del Canal de Desvío – Q Verificación = $1,27 \text{ m}^3/\text{s}$	42
Tabla 8-14: Cálculo del nivel de escurrimiento en entrada a bocatoma Canal de Desvío	43
Tabla 8-15: Longitudes de subtramos del Canal de Desvío	44
Tabla 8-16: Eje hidráulico en obra de captación del Canal de Desvío – Q Diseño = $1,11 \text{ m}^3/\text{s}$	44
Tabla 8-17: Eje hidráulico en obra de captación del Canal de Desvío – Q Verificación = $1,27 \text{ m}^3/\text{s}$	44
Tabla 8-18: Condiciones de Borde en Modelo Hidráulico Tramo Final Canal de Desvío.....	46
Tabla 8-19: Cálculo de enrocados de protección en el Canal de Desvío ($T = 100$ años).....	49
Tabla 8-20: Socavación general máxima estimada en torno a protecciones de enrocado en el Canal de Desvío ($T = 100$ años)	50
Tabla 8-21: Resumen Cubicaciones	51
Tabla 9-1: Listado de Planos del Proyecto.....	52

Lista de Figuras

Figura 1-1: Obras de Drenaje y Protección Fluvial – Mina los Colorados	2
Figura 3-1: Ubicación General del Proyecto.....	6
Figura 4-1: Quebradas y subcuencas relacionadas con el Proyecto	8
Figura 4-2: Canal de Contorno Superior e Inferior – Mina los Colorados	9
Figura 4-3: Canal de Contorno Superior e Inferior – Sección Transversal Típica	10
Figura 4-4: Obra de Entrega (Caída Disipadora) Canal de Contorno Superior e Inferior – (a) Longitudinal – (b) Transversal.....	11
Figura 4-5: Muro de Protección – Sección Típica	12
Figura 4-6: Muro de Protección - Vista del Trazado en Planta	12
Figura 4-7: Canal de Desvío – Sección Transversal Típica	13
Figura 4-8: Canal de Desvío – Vista del Trazado en Planta	14
Figura 4-9: Obra de Caída en Canal de Desvío con $H = 1,8$ m	15
Figura 4-10: Obra de Caída en Canal de Desvío con $H = 1,6$ m	15
Figura 7-1: Cuencas aportantes a la zona del proyecto.....	18
Figura 7-2: Ubicación Calicatas.....	21
Figura 8-1: Modelo Hidráulico – Canal de Contorno Superior	29
Figura 8-2: Modelo Hidráulico – Canal de Contorno Inferior	30
Figura 8-3: Canal de Contorno Superior – Perfil Elevaciones ($T = 100$ y $T = 200$ años).....	31
Figura 8-4: Canal de Contorno Inferior – Perfil Elevaciones ($T=100$ y $T=200$ años)	31
Figura 8-5: Canal de Contorno Superior – Perfil Velocidades ($T=100$ y $T=200$ años).....	32
Figura 8-6: Canal de Contorno Inferior – Perfil Velocidades ($T=100$ y $T=200$ años)	32
Figura 8-7: Canal de Contorno Superior – Perfil Alturas de Flujo ($T=100$ y $T=200$ años)	33
Figura 8-8: Canal de Contorno Inferior – Perfil Alturas de Flujo ($T=100$ y $T=200$ años)	33
Figura 8-9: Modelo Hidráulico – Muro de Protección Mina Los Colorados	35
Figura 8-10: Quebrada Principal en sector Muro de Protección – Perfil Profundidades Hidráulicas de Flujo ($T=100$ y $T=200$ años)	36
Figura 8-11: Quebrada Principal en sector Muro de Protección – Perfil de Velocidades ($T=100$ y $T=200$ años)	36
Figura 8-12: Modelo Hidráulico – Canal de Contorno Superior	46
Figura 8-13: Canal de Desvío – Perfil Elevaciones de Flujo $T=100$ y $T=200$ años.....	47
Figura 8-14: Canal de Desvío – Perfil Velocidades de Flujo $T=100$ y $T=200$ años	48
Figura 8-15: Canal de Desvío – Perfil Profundidades de Flujo $T=100$ y $T=200$ años.....	48

Anexos

Anexo 1:	Antecedentes Legales
Anexo 2:	Extracto de Publicación
Anexo 3:	Informe Topográfico
Anexo 4:	Especificaciones Técnicas
Anexo 5:	Verificaciones
Anexo 6:	Resultados Modelos Hidráulicos
Anexo 7:	Estudio Hidrológico
Anexo 8:	Estudio de Arrastre de Sólidos
Anexo 9:	Planos

1 Introducción y Alcance del Informe

En base a lo estipulado en el artículo 41 y el inciso 1º del artículo 171 del Decreto con Fuerza de Ley N° 1.122, de 1981, del Ministerio de Justicia, Código de Aguas, el presente informe reúne todos los antecedentes requeridos por la Dirección General de Aguas, para la Autorización de la Regularización y Defensa de Cauces Naturales del Proyecto “Ampliación y Mejoras Operacionales Mina los Colorados”, el cual se ubica aproximadamente a 30 km en línea recta al noroeste de Vallenar, comuna de Huasco, Región de Atacama y fue aprobado ambientalmente mediante Resolución Exenta N° 246 del 28 de octubre de 201 por la Comisión Regional del Medio Ambiente de la Región de Atacama (RCA N° 246/210).

Cabe señalar que en el Anexo 2 de la Adenda 3 del proceso de evaluación ambiental del proyecto “Ampliación y Mejoras Operacionales Mina Los Colorados” se incorporan los antecedentes del PAS 106 (actualmente 157). En las conclusiones del Anexo 2, se señala que *“como consecuencia de no existir información fluviométrica de la zona en estudio, se consideró para el proceso de cálculo de crecidas, una superficie de la cuenca dos órdenes de magnitud mayores a lo real, por lo que los caudales estimados y por lo tanto la dimensión de la obra misma (canalón), se encuentra sobredimensionada respecto a la situación real aplicable a la cuenca Los Colorados....En trámite sectorial ante la Dirección General de Aguas Región de Atacama, se entregarán los antecedentes de la obra de encauzamiento que considere estas dimensiones menores de la cuenca aportante al área de los botaderos, así como también su escorrentía asociada”*.

Considerando lo anteriormente indicado, esta presentación redefine las obras de manejo de agua en función de un estudio hidrológico de detalle realizado para el diseño de la obra.

Las obras de protección hidráulica diseñadas en base al nuevo estudio hidrológico (el que se presenta en el **Anexo 7**), son las que se muestran en la Figura 1-1 siguiente, que presenta una imagen Google Earth que muestra la ubicación de las obras proyectadas (amarillo, rojo y celeste) y el contorno del proyecto (botaderos de estériles).

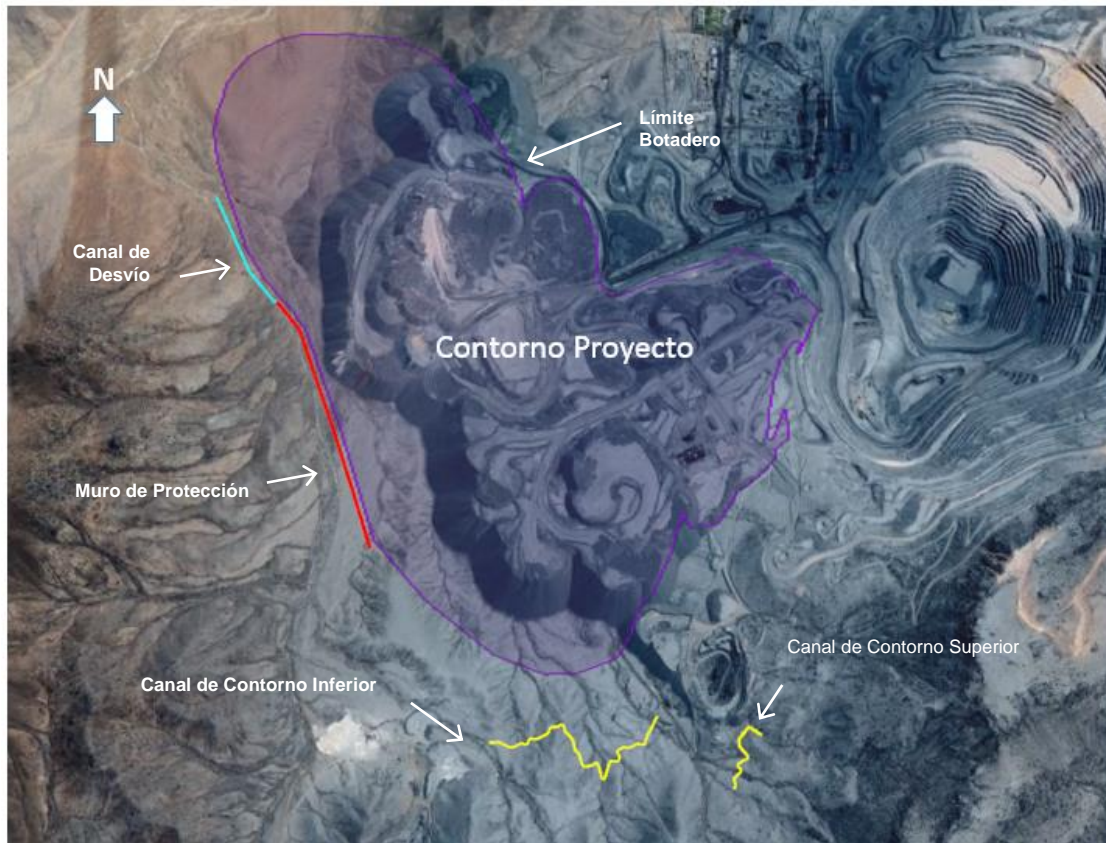


Figura 1-1: Obras de Drenaje y Protección Fluvial – Mina los Colorados

2 Antecedentes Generales

2.1 Individualización del Solicitante

La tabla siguiente, muestra los antecedentes del solicitante.

Tabla 2-1: Datos del Titular y Representación

Nombre o Razón Social del Solicitante:	CAP MINERIA
R.U.T:	94.638.000-8
Giro	Extracción de Minerales de Hierro
Dirección Comercial	Pedro Pablo Muñoz N° 675, La Serena, Comuna de Coquimbo IV Región.
Representante legal:	Carlos Rodrigo Pineda Westermeier
CI Representante Legal	6.767.028-0
Email:	cpineda@cmp.cl
Teléfono:	51-2668032

En **Anexo 1**, se adjuntan los antecedentes legales que acreditan la representación legal y las facultades del Señor Carlos Pineda para la tramitación del permiso.

2.2 Extracto de publicación

En **Anexo 2**, se adjunta el extracto de publicación y sus seis copias.

2.3 Antecedentes Legales que acompañan la solicitud

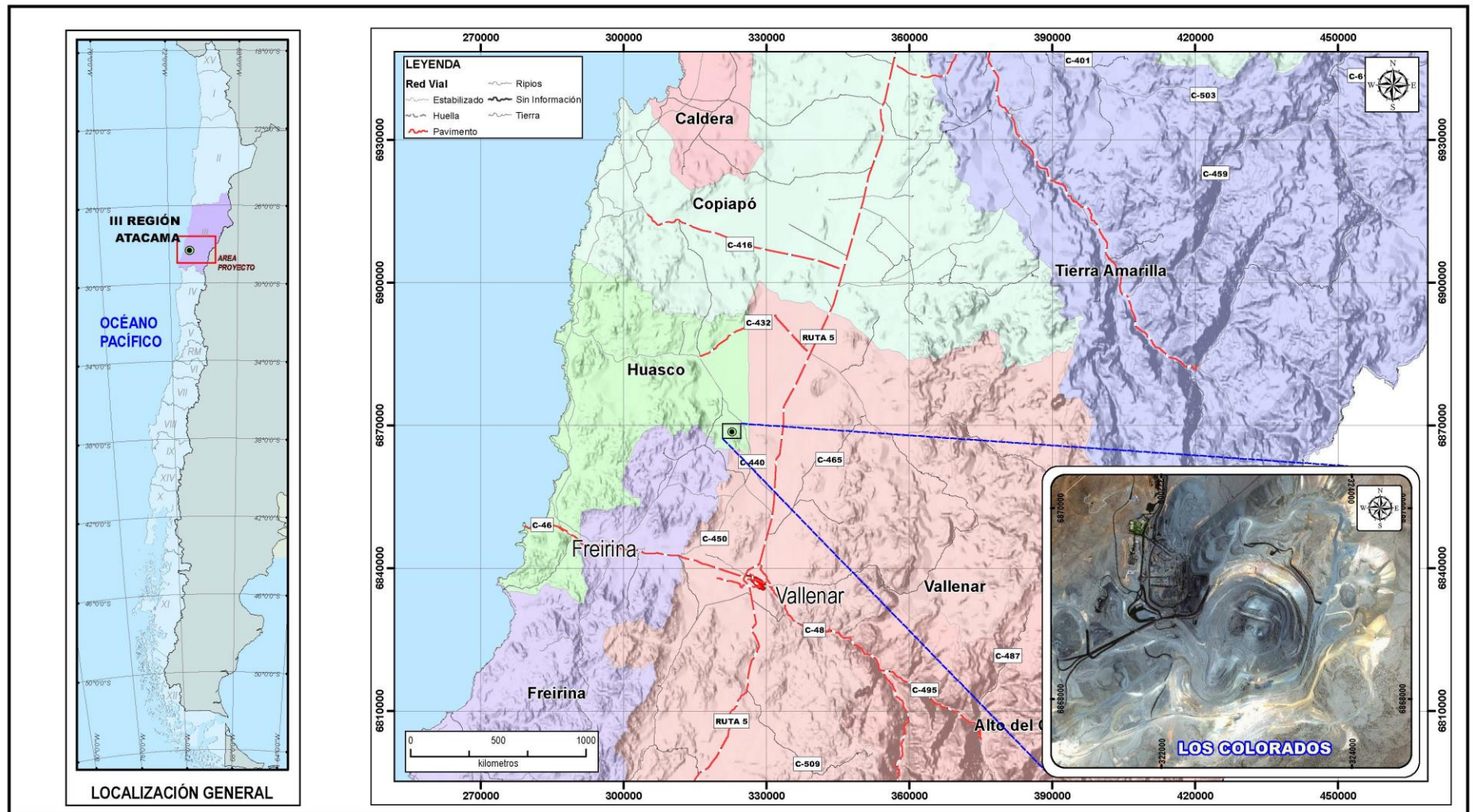
En **Anexo 1**, se adjuntan los antecedentes legales de la compañía.

3 Ubicación del Proyecto

Mina Los Colorados, de CAP Minería, se ubica en la Región de Atacama, Provincia de Huasco, Comuna de Huasco (Ver Figura 3-1). En la Tabla 3-1, se presentan los vértices del polígono que encierra la propiedad minera.

El Proyecto está localizado al norte del Río Huasco en la cuenca quebrada Carrizal, entre quebrada Chacritas y Desembocadura. En el área no existen escurrimientos de agua permanente, por lo que los drenajes o cauces existentes llevan agua en forma esporádica cuando las precipitaciones alcanzan un volumen relevante para lograr producir algún escurrimiento superficial.

En particular, en el área de emplazamiento del proyecto, no existen cauces, solo se evidencian drenajes (quebradas) producto de probables avenidas en periodos de retorno elevados.



Las coordenadas UTM de los vértices de la Propiedad Minera se presenta en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1: Coordenadas Vértices Propiedad Minera

Vértices	Coordenadas UTM - (Datum WGS-84 Huso 19s)	
	Este (m)	Norte (m)
1	326.098,8	6.874.072,9
2	326.098,8	6.864.873,2
3	324.848,8	6.864.873,2
4	324.848,8	6.866.373,2
5	319.849,0	6.866.373,2
6	319.849,0	6.872.503,0

4 Descripción Proyecto

Para la etapa de operación del proyecto “Ampliación y Mejoras Operacionales Mina los Colorados”, se considera el diseño de obras de protección que bordean el área del proyecto por las zonas Sur y Oeste de los Botaderos de la Mina Los Colorados.

Las obras proyectadas consisten en: dos canales de contorno en la zona al Sur de los Botaderos; un muro de protección a lo largo de la quebrada principal, al Oeste de los Botaderos; y, un canal de desvío que conduce los flujos de la quebrada principal, encauzados por el muro de protección, hasta un punto en el cual se pueden descargar sin peligro de entrar en contacto con los Botaderos.

El área de estudio corresponde a una zona sin control fluviométrico, por lo que cualquier estimación de caudal del mismo se debe realizar mediante la utilización de fórmulas empíricas de relación precipitación-escorrentía. La Figura 1-1 presento una imagen Google Earth que muestra la ubicación de las obras proyectadas (amarillo, rojo y celeste) y el contorno del proyecto, botaderos de estériles (morado).

Las quebradas y cuencas relacionadas con el Proyecto, se muestran en la Figura 4-1.

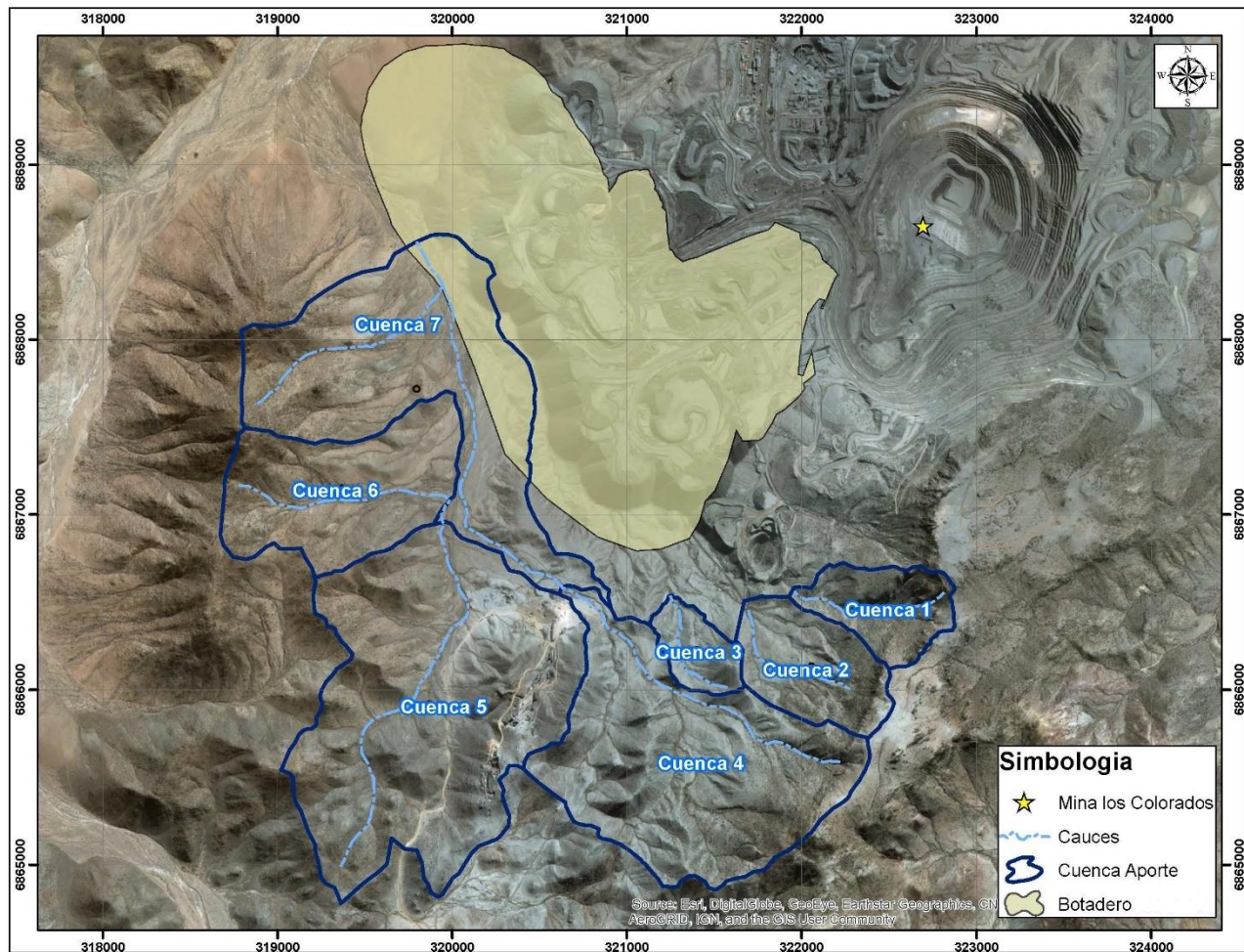


Figura 4-1: Quebradas y subcuencas relacionadas con el Proyecto

A continuación, se describen e indican las características principales de las obras proyectadas junto con sus coordenadas.

4.1 Canales de Contorno

Los Canales de Contorno, ubicados al Sur de los botaderos del proyecto, consisten en dos canales (superior e inferior) que derivan gravitacionalmente los flujos que de otra manera entrarían en contacto con los botaderos de Mina Los Colorados. La Figura 4-2, que se presenta a continuación, muestra una vista en planta de los dos canales de contorno mencionados.

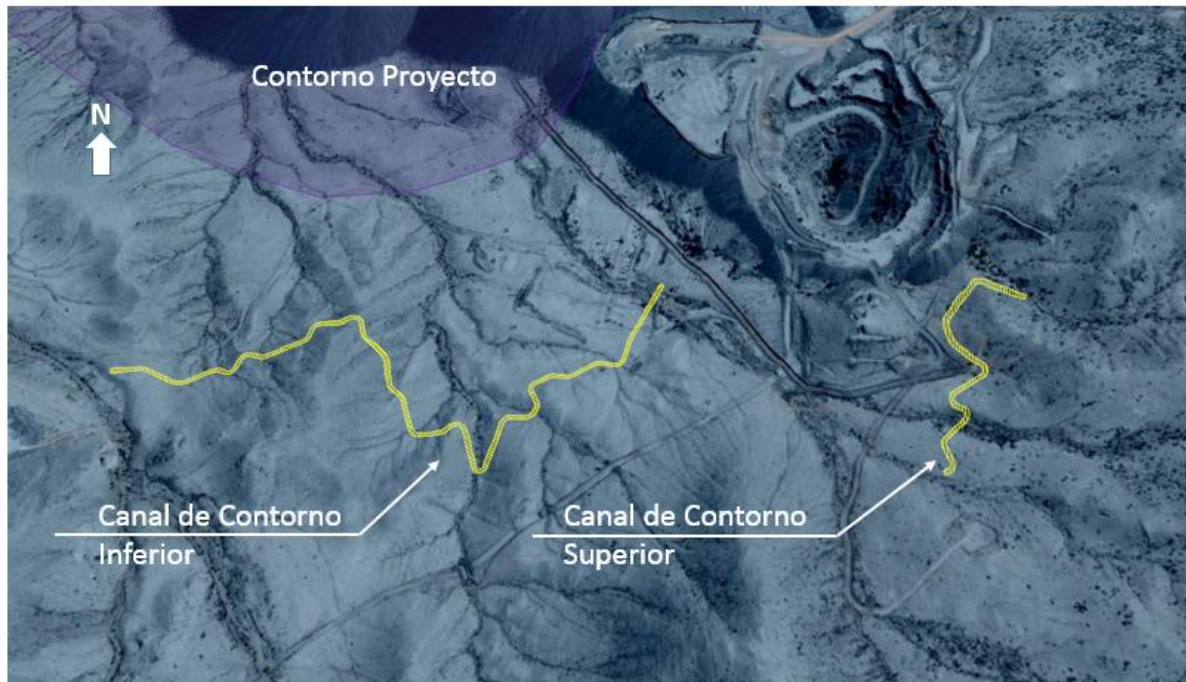


Figura 4-2: Canal de Contorno Superior e Inferior – Mina los Colorados

4.1.1 Canal de Contorno Superior

El Canal de Contorno Superior se ubica al Sur-Oriente del Proyecto (ver Figura 2-1), con un largo total de 373,57 m. Su inicio se ubica en las coordenadas N 6.866.562,16 E 321.957,45 con cota de fondo 541,78 m.s.n.m. La descarga se ubica al nivel 537,07 m.s.n.m., en las coordenadas N 6.866.345,91 E 321.843,17, coordenadas UTM, Datum WGS84.

La sección transversal del Canal de Contorno Superior es trapezoidal, posee una base de 0,5 m, una altura total de 0,55 m y taludes laterales de 1,5(H):1,0(V). A ambos costados del canal, se disponen bermas de protección de 1,0 m de ancho, para las cuales se considerarán taludes de excavación de 1,0(H):1,5(V) y de relleno de 1,5(H):1,0(V).

La Figura 4-3 que se presenta a continuación, muestra una sección transversal típica del Canal de Contorno Superior e Inferior.

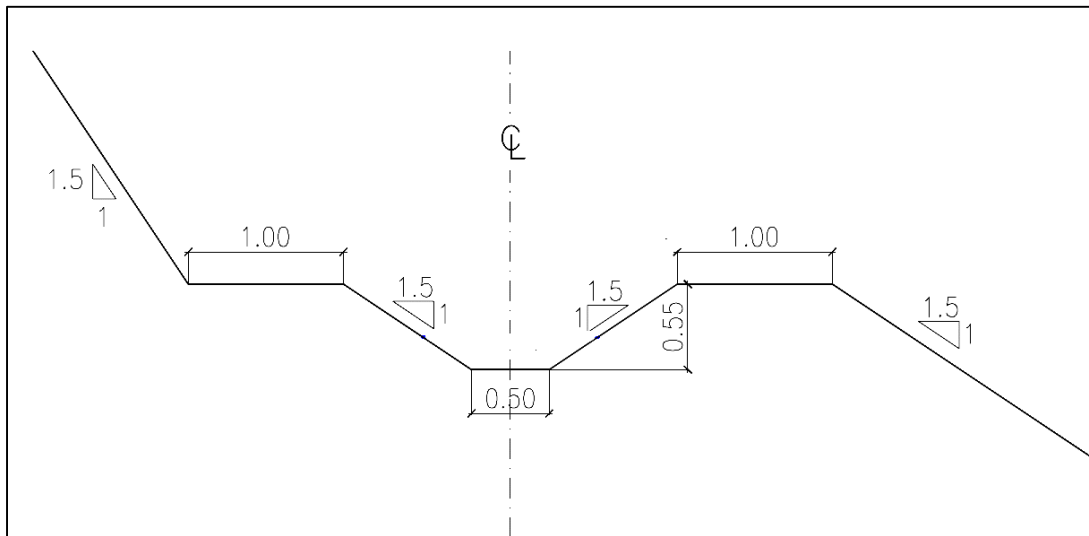


Figura 4-3: Canal de Contorno Superior e Inferior – Sección Transversal Típica

El trazado del perfil del Canal de Contorno Superior se mantuvo con una pendiente típica de 1 %. La obra de entrega de este tramo, se materializa mediante una caída disipadora de energía. La obra de entrega, poseen una altura de caída de 1,00 m y un largo total de poza mínimo de 3,40 m. Esta caída será recubierta con enrocado consolidado en su totalidad mediante mortero u hormigón, cuya granulometría se especifica a continuación en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1: Granulometría Enrocado – Captación y Descarga Canales

Especificación	Diámetro Nominal (mm)	Peso Mínimo Clasto (kg)
100 % menor que	300	35
Entre 0 a 50 %	150	4,5
100 % mayor que	105	1,5

El muro de enrocado al ingreso de la caída (escalón de caída) también deberá construirse con enrocado consolidado con hormigón; dicho muro de ingreso posee un espesor variable de 0,30 a 0,50 m. Las paredes de la poza (caída) disipadora poseen un espesor de 0,30 m, así como el enrocado de fondo. A la salida de la poza disipadora se construirá un diente de 0,40 m de ancho y 0,60 m (mínimo) de profundidad, con el objetivo de proteger contra la erosión.

En la Figura 4-4 se muestra un detalle de la obra de entrega (caída disipadora), del Canal de Contorno Superior e Inferior.

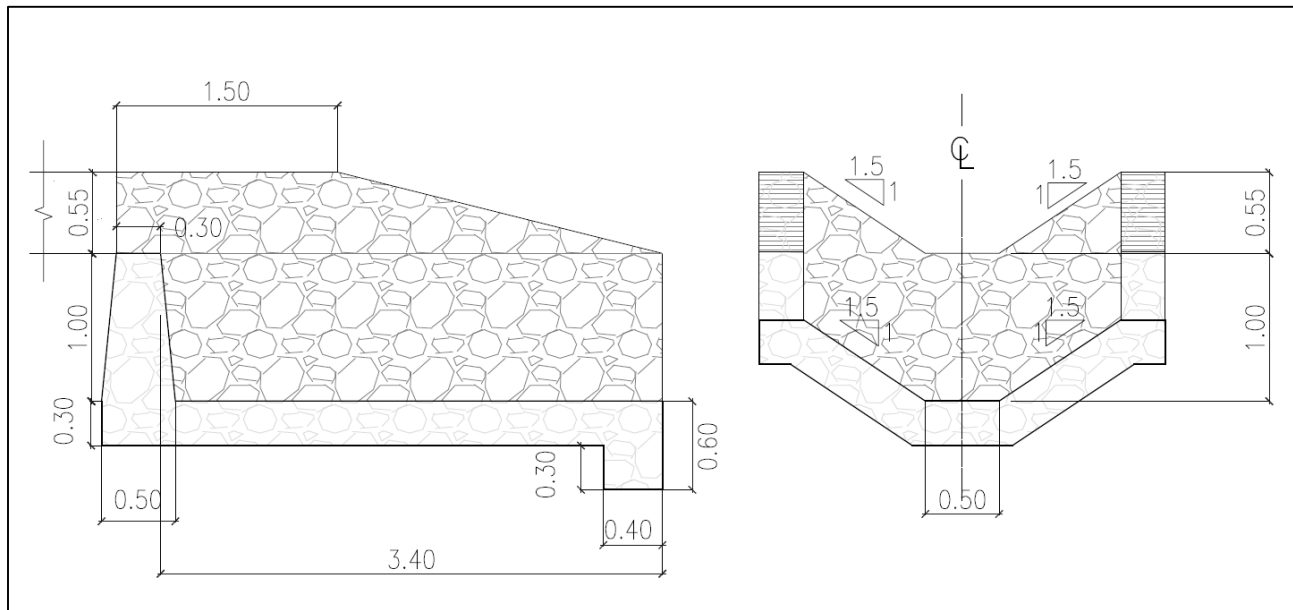


Figura 4-4: Obra de Entrega (Caída Disipadora) Canal de Contorno Superior e Inferior – (a) Longitudinal – (b) Transversal

4.1.2 Canal de Contorno Inferior

El Canal de Contorno Inferior se ubica directamente al Poniente del Canal de Contorno Superior (ver Figura 4-2), con un largo total de 1.085,74 m. Su inicio se ubica en las coordenadas N 6.866.630,58 E 321.529,47, con cota de fondo 498,21 m.s.n.m. La descarga se ubica al nivel 486,93 m.s.n.m., en las coordenadas N 6.866.508,08 E 320.831,94, coordenadas UTM, Datum WGS84.

La sección transversal del Canal de Contorno Inferior es trapezoidal e igual a la del tramo Superior, con una base de 0,5 m, una altura total de 0,55 m y taludes laterales de 1,5(H):1,0(V). A ambos costados del canal, también se disponen bermas de protección de 1,0 m de ancho, para las cuales se considerarán taludes de excavación de 1,0(H):1,5(V) y de relleno de 1,5(H):1,0(V). La Figura 4-3, presentada previamente, muestra una sección transversal típica de los Canales de Contorno Superior e Inferior.

El trazado del perfil del Canal de Contorno Inferior se mantuvo con una pendiente típica de 1 %. La obra de entrega de este tramo, se materializa mediante una caída disipadora de energía igual a la del Canal de Contorno Superior, con una altura de caída de 1,00 m y un largo total de poza mínimo de 3,40 m. Como se mencionó previamente, esta caída será recubierta con enrocado consolidado en su totalidad mediante mortero u hormigón. En la Figura 4-4 que se presentó previamente, se muestra un detalle de la obra de entrega (caída disipadora), del Canal de Contorno Superior e Inferior.

En el **Anexo 5** se entregan las verificaciones correspondientes a los diseños del canal de Contorno Superior e Inferior, y su obra de entrega (caída disipadora).

4.2 Muro de Protección

En términos generales, lo que buscan las obras del sistema de manejo de aguas, es el mantener y/o conducir y restituir al cauce natural los flujos que ingresan a la zona donde se emplazan los

botaderos de Mina Los Colorados. En el caso del Muro de Protección, éste tiene como función proteger los botaderos (crecimientos) por su lado Oeste, para evitar que éstos últimos entren en contacto con los escurrimientos que fluyen a través de la quebrada principal. De esta forma, el propósito del muro de protección es desviar el curso natural de los flujos en la quebrada principal a fin de mantenerlos alejados de las obras del Proyecto Mina Los Colorados.

El muro de protección tiene una longitud de 1.199,90 m e inicia en las coordenadas N 6.867.316,43 E 320.287,29 y termina en las coordenadas N 6.868.407,20 E 319.810,17.

El muro estará constituido por material de relleno común compactado de la zona y protegido por enrocado. Considera taludes 2,0(H):1,0(V) y un ancho en el coronamiento de 4,0 m. La cota de coronamiento del muro fue definida de modo de tener una altura mínima de 1,0 m, lo cual satisface ampliamente los requerimientos de revancha hidráulica. La protección de enrocado considera un espesor de 1,0 m en la cara en contacto con el agua y de 0,5 m en el coronamiento. A fin de contar con una apropiada protección en contra de la socavación en el lecho del cauce, se considera una profundidad de fundación mínima de 1,2 m. La Figura 4-5 y Figura 4-6 muestran una sección transversal típica y una vista en planta del muro de protección proyectado.

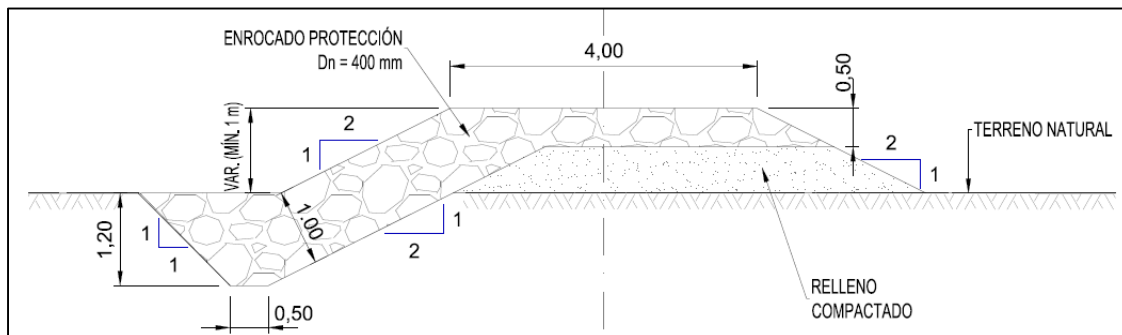


Figura 4-5: Muro de Protección – Sección Típica

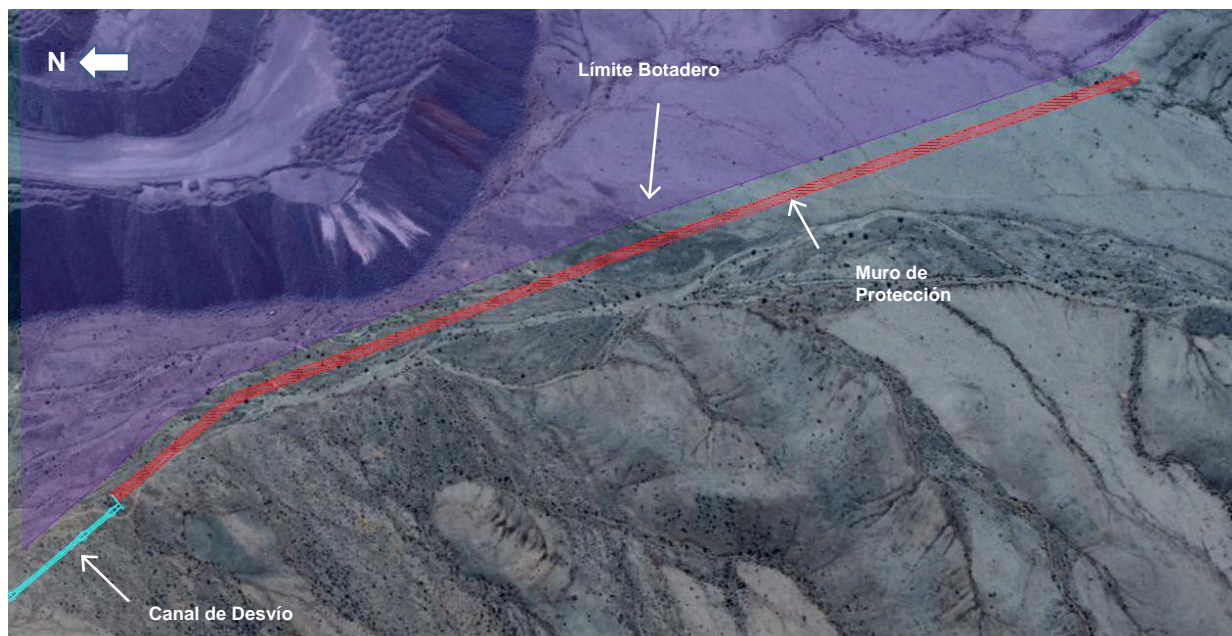


Figura 4-6: Muro de Protección - Vista del Trazado en Planta

4.3 Canal de Desvío

El Canal de Desvío se ubica al Oeste del Proyecto, a continuación del Muro de Protección (ver Figura 1-1). Tiene como función conducir las aguas encauzadas por el muro de protección hasta un punto en el cual no haya riesgos de que el flujo de agua entre en contacto con las obras del Proyecto Mina Los Colorados.

Su inicio se ubica en las coordenadas N 6.868.401,13 E 319.802,79 (coordenadas UTM, Datum WGS84), con la rasante en la cota 414,00 m.s.n.m. La descarga se ubica en las coordenadas N 6.868.885,03 E 319.509,26 (coordenadas UTM, Datum WGS84), con la rasante en la cota 401,35 m s.n.m.

El canal tiene un largo total de 570,00 m y en su desarrollo considera seis obras de caída que permiten salvar la diferencia de altura entre el punto de captación y el punto de descarga, manteniendo en cada tramo de canal una pendiente longitudinal de 0,5%. La primera obra de caída considera un salto de 1,8 m, mientras que las cinco obras restantes consideran un salto de 1,6 m; en los seis casos se consideró un largo de poza mínimo de 6,0 m. La pendiente del canal permite alcanzar velocidades de escurrimiento que no generan erosión, por lo cual, el canal puede ser excavado en suelo, sin necesidad de ningún tipo de revestimiento.

Las obras de caída serán construidas con enrocado consolidado, cuya granulometría ya fue indicada previamente en la Tabla 4-1.

La sección transversal del Canal de Desvío es trapezoidal, posee una base de 0,5 m, una altura total de 1,30 m y taludes laterales de 1,5(H):1,0(V). A ambos costados del canal, se disponen bermas de protección de 1,0 m de ancho, para las cuales se considerarán taludes de excavación de 1,0(H):1,5(V) y de relleno de 1,5(H):1,0(V).

La Figura 4-7 y Figura 4-8 muestran, respectivamente, la sección transversal típica y el trazado en planta del Canal de Desvío.

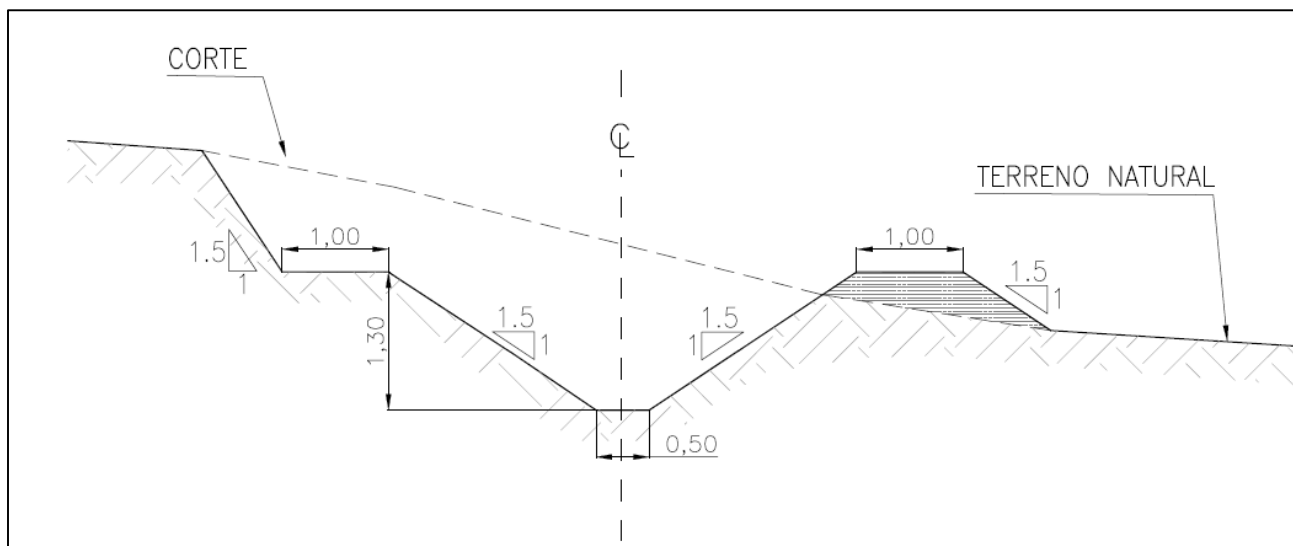


Figura 4-7: Canal de Desvío – Sección Transversal Típica



Figura 4-8: Canal de Desvío – Vista del Trazado en Planta

Debido a la mayor altura de caída respecto de las obras de caída contempladas en los Canales de Contorno Superior e Inferior, para las obras de caída del Canal de Desvío se han considerado espesores de enrocado consolidado mayores. En general, se utilizó un espesor de coronamiento de muros de 0,5 m y un espesor en la base de 0,4 veces la altura total del muro (mínimo); para el radier de la obra se consideró un espesor de 0,6 m. A la salida de la poza disipadora se considera un diente de 0,60 m de profundidad (mínimo) como medio de protección contra la erosión.

En la Figura 4-9 y Figura 4-10 se muestran detalles de los dos tipos de obra de caída consideradas en el Canal de Desvío.

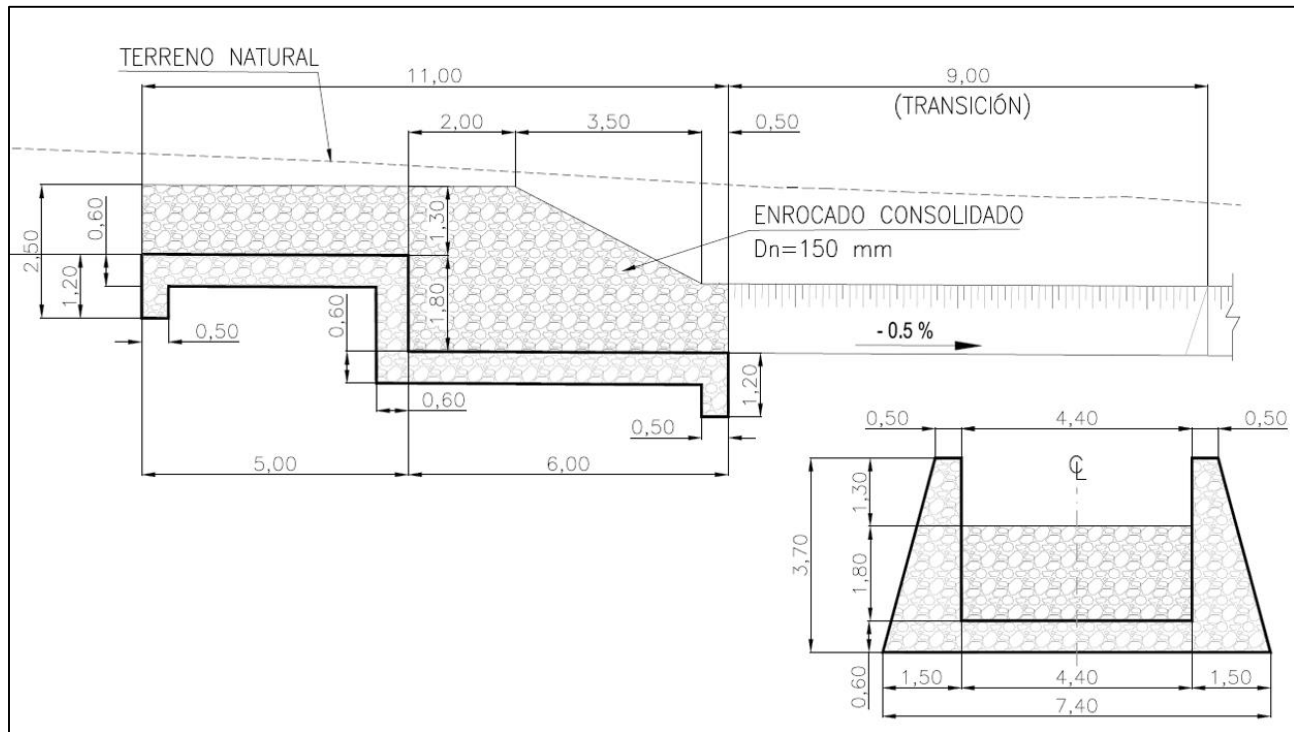


Figura 4-9: Obra de Caída en Canal de Desvío con $H = 1,8$ m

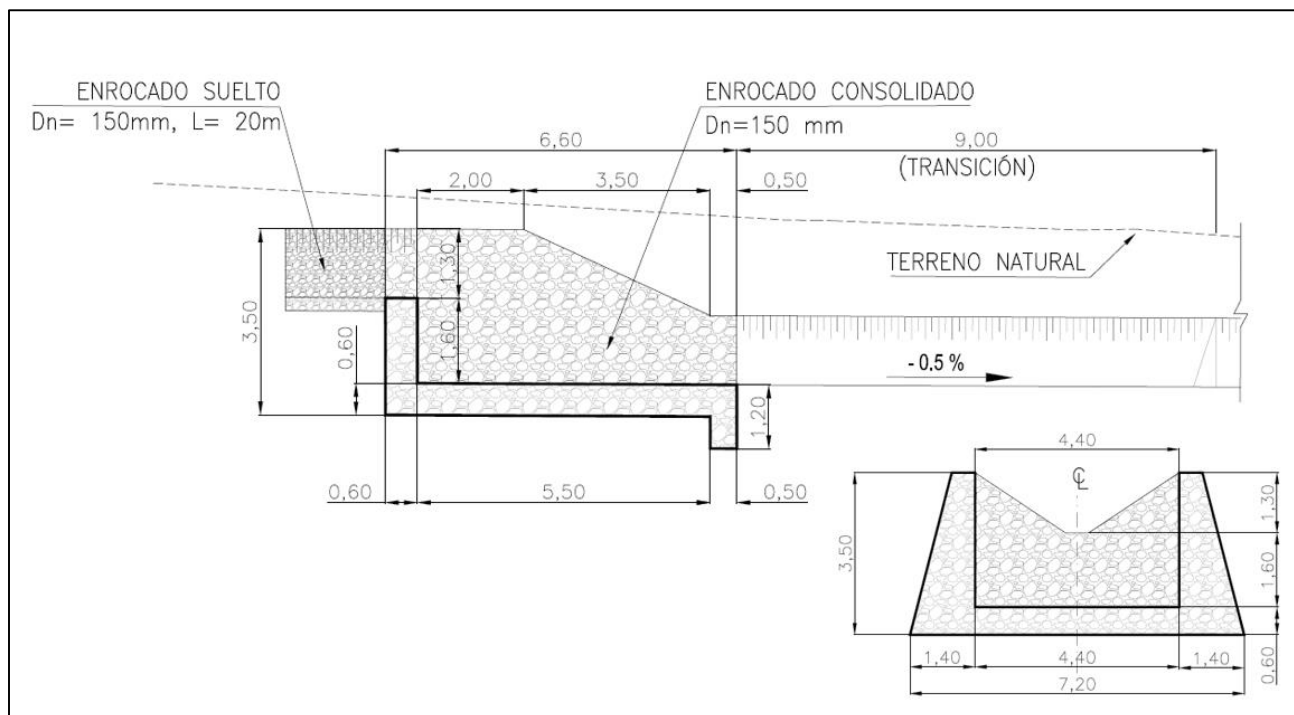


Figura 4-10: Obra de Caída en Canal de Desvío con $H = 1,6$ m

5 Topografía

En **Anexo 3** se adjunta informe de topografía, realizado por la empresa INTOSIM y en **Anexo 9** se adjuntan todos los planos del proyecto donde se muestran tanto la planta, como los perfiles transversales y longitudinales de las quebradas con y sin proyecto.

6 Cronograma

Los plazos considerados para la construcción de los canales de contorno y el muro de protección se muestran en la Tabla 6-1.

Tabla 6-1: Cronograma Fase de Construcción

Ítem	Descripción	Unidad	Cant	Meses	Meses									
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	MOVILIZACIÓN	gl	1	1,00										
1	CANALES DE CONTORNO													
1.1	CANAL DE CONTORNO SUPERIOR													
1.1.1	EXCAVACIÓN	m3	812	0,37										
1.1.2	RELLENO	m3	273	0,27										
1.2	OBRA DE ENCAUCE													
1.2.1	RELLENO	m3	9	0,03										
1.3	OBRA DE DESCARGA													
1.3.1	ENROCADO CONSOLIDADO	m3	5	0,07										
1.4	CANAL DE CONTORNO INFERIOR													
1.4.1	EXCAVACIÓN	m3	1.297	0,60										
1.4.2	RELLENO	m3	627	0,57										
1.5	OBRA DE CAPTACIÓN													
1.5.1	ENROCADO CONSOLIDADO	m3	16	0,17										
1.6	OBRA DE DESCARGA													
1.6.1	ENROCADO CONSOLIDADO	m3	5	0,07										
2	CANAL DE DESVÍO													
2.1	EXCAVACIÓN	m3	4.545	2,07										
2.2	RELLENO	m3	352	0,33										
2.3	ENROCADO CONSOLIDADO	m3	473	0,17										
2.4	ENROCADO DE PROTECCIÓN	m3	174	0,07										
3	MURO DE PROTECCIÓN													
3.1	EXCAVACIÓN	m3	3.446	1,57										
3.2	RELLENO	m3	5.831	4,07										
3.3	ENROCADO DE PROTECCIÓN	m3	8.766	2,67										
B	DESMOVILIZACIÓN	gl	1	1,00										

7 Criterios y Parámetros de Diseño

A continuación, se presentan los principales criterios y parámetros de diseño considerados durante el proceso de cálculo y verificaciones de las obras proyectadas.

7.1 Periodo de Retorno de Diseño

Según lo estipulado en la sección 9.3 “Solicitud de Modificación de Cauces Naturales o Artificiales” del Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos”, de la Dirección General de Aguas, y del Artículo 36 del Artículo 295 inciso 2° del Código de Aguas, el periodo de retorno de la crecida de diseño a usar en el proyecto de Defensa Fluvial, corresponde a $T=100$ años.

7.2 Caudales a Transportar

7.2.1 Hidrología

En **Anexo 7** se presenta el estudio Hidrológico “Estimación de Caudales Máximos Instantáneos Mina Los Colorados” de mayo de 2017, para la Mina Los Colorados realizado por SRK Consulting. En dicho reporte se entregan los caudales de crecida para distintos periodos de retorno. Por otro lado, con esa información también se construyeron los correspondientes hidrogramas, que se presentan más adelante en este reporte.

La Figura 7-1 muestra las cuencas consideradas para el estudio hidrológico.

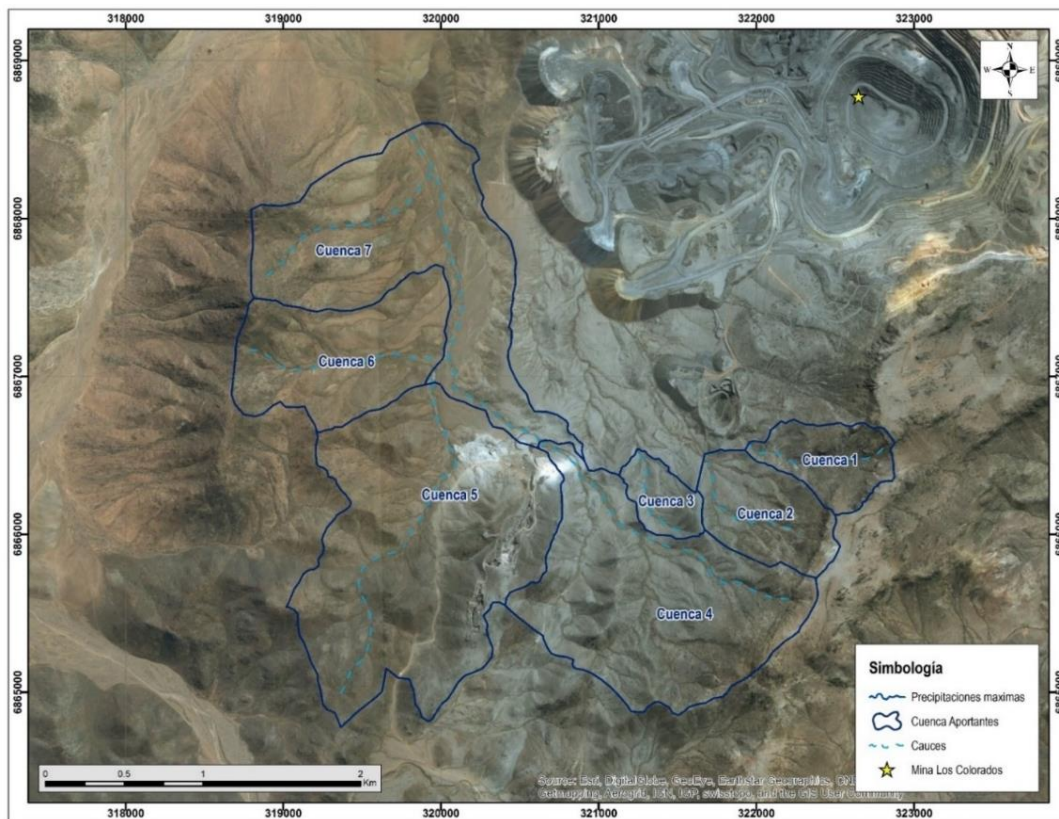


Figura 7-1: Cuencas aportantes a la zona del proyecto

En la Tabla 7-1, que se muestra a continuación, se presentan las características principales de las cuencas aportantes hacia las obras de protección proyectadas.

Tabla 7-1: Principales Indicadores Morfométricos de la Cuencas Aportantes

PARÁMETRO	CUENCA						
	Cuenca 1	Cuenca 2	Cuenca 3	Cuenca 4	Cuenca 5	Cuenca 6	Cuenca 7
Área [km ²]	0,349	0,483	0,187	1,730	2,408	0,920	1,739
Elevación Mínima [m]	554,22	517,78	488,56	478,33	453,44	436,56	416,00
Elevación Máxima [m]	785,67	766,33	583,56	785,78	610,33	716,33	718,78
Elevación Media [m]	672,55	624,08	530,71	597,49	516,13	527,63	477,03
Pendiente [%]	33,36	26,51	17,76	23,67	19,23	23,22	15,84
Largo Cauce [km]	0,940	0,868	0,724	2,030	2,359	1,274	2,406
Distancia Centroide Salida cuenca-cauce [Km]	0,569	0,628	0,333	1,165	1,167	0,636	0,918
Latitud Centroide [°]	-28,32	-28,32	-28,32	-28,32	-28,32	-28,31	-28,30
Long Centroide [°]	-70,81	-70,81	-70,82	-70,82	-70,84	-70,84	-70,84

De acuerdo con lo mencionado, los caudales máximos en cada cuenca, para los distintos periodos de retorno considerados en el estudio hidrológico, son los que se muestran a continuación en la Tabla 7-2.

Tabla 7-2: Caudales Máximos Instantáneos en cada Cuenca (m³/s)

Cuenca	Caudales [m ³ /s]							
	T=2	T=5	T=10	T=20	T=25	T=50	T=100	T=200
1	0,007	0,014	0,021	0,028	0,031	0,040	0,049	0,060
2	0,010	0,021	0,030	0,041	0,046	0,059	0,072	0,088
3	0,003	0,008	0,011	0,015	0,016	0,021	0,026	0,032
4	0,022	0,049	0,069	0,095	0,104	0,134	0,165	0,202
5	0,024	0,054	0,077	0,106	0,117	0,150	0,186	0,226
6	0,015	0,033	0,047	0,065	0,071	0,091	0,113	0,138
7	0,057	0,126	0,178	0,246	0,270	0,347	0,429	0,523

Es importante mencionar, como además se puede observar en el reporte hidrológico al cual se hace referencia, que estos valores corresponden a los máximos obtenidos mediante las metodologías DGA-AC, Verni y King Modificado y Racional.

7.2.2 Arrastre de Sedimentos

El potencial arrastre de sedimentos, que podría generarse en las cuencas que aportan a las obras de protección del proyecto, fue estimado por SRK y presentado en el documento “Revisión y Diseño Canal de Contorno – Mina Los Colorados – Estudio de Arrastre de Sólidos” (Ver **Anexo 8**). En la Tabla 7-3 que se presenta a continuación, se entrega un resumen con los volúmenes de arrastre promedio y máximos para cada cuenca. Además, en la misma tabla, se muestran las duraciones de

los hidrogramas para cada cuenca y se entregan finalmente los caudales equivalentes estimados, que son el resultado de distribuir el volumen de sedimentos máximo en la duración de cada hidrograma.

Tabla 7-3: Potencial Arrastre de Sólidos, Duración Evento y Caudal Equivalente

Cuenca	QB _{PROM} (m ³)	QB _{MAX} (m ³)	D _t _{hidro} (hrs)	Caudal equivalente (m ³ /s)
1	23,0	63,8	2,00	0,0089
2	491	118,5	2,10	0,0157
3	19,6	48,6	1,55	0,0087
4	63,8	148,0	3,60	0,0114
5	87,6	198,7	4,00	0,0138
6	37,9	90,8	2,50	0,0101
Total:				0,0685

En la Tabla 7-3, QB_{PROM} corresponde al potencial arrastre de sólidos promedio de cada Cuenca, QB_{MAX} al potencial de arrastre máximo, Δt_{hidro} representa la duración del hidrograma de crecida y el Caudal equivalente corresponde al volumen de sólidos máximo distribuido en la duración del hidrograma Δt_{hidro} .

7.2.3 Caudales de Diseño y Verificación

Para estimar el caudal de diseño, debe adicionarse al caudal de diseño obtenido mediante la hidrología, el aporte de sedimentos previamente presentado (sección 7.2.2). Finalmente, los caudales de diseño y verificación corresponden a los que se indican en la Tabla 7-4.

Tabla 7-4: Caudales de Diseño y Verificación Obras de Protección

Obra	Cuencas	Caudal T=100 años (m ³ /s)	Caudal equivalente Sedimentos (m ³ /s)	Caudal de Diseño Final (m ³ /s)	Caudal de Verificación T=200 años (m ³ /s)
Canal Contorno Superior	1	0,049	0,0089	0,058	0,06
Canal Contorno Inferior	1, 2, 3	0,147	0,0332	0,18	0,18
Muro de Protección	1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7	1,040	0,0685	1,11	1,27
Canal de Desvío	1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7	1,040	0,0685	1,11	1,27

7.2.4 Granulometría y parámetros partículas

Para la caracterización de los sedimentos que componen las cuencas en estudio, se llevó a cabo una campaña de excavación de calicatas y toma de muestras realizada los días 05/06/2017 y 06/06/2017. Se excavaron 6 calicatas, tomándose una muestra de suelo de cada una de ellas a una profundidad de aproximadamente 1 m (ver Figura 7-2).

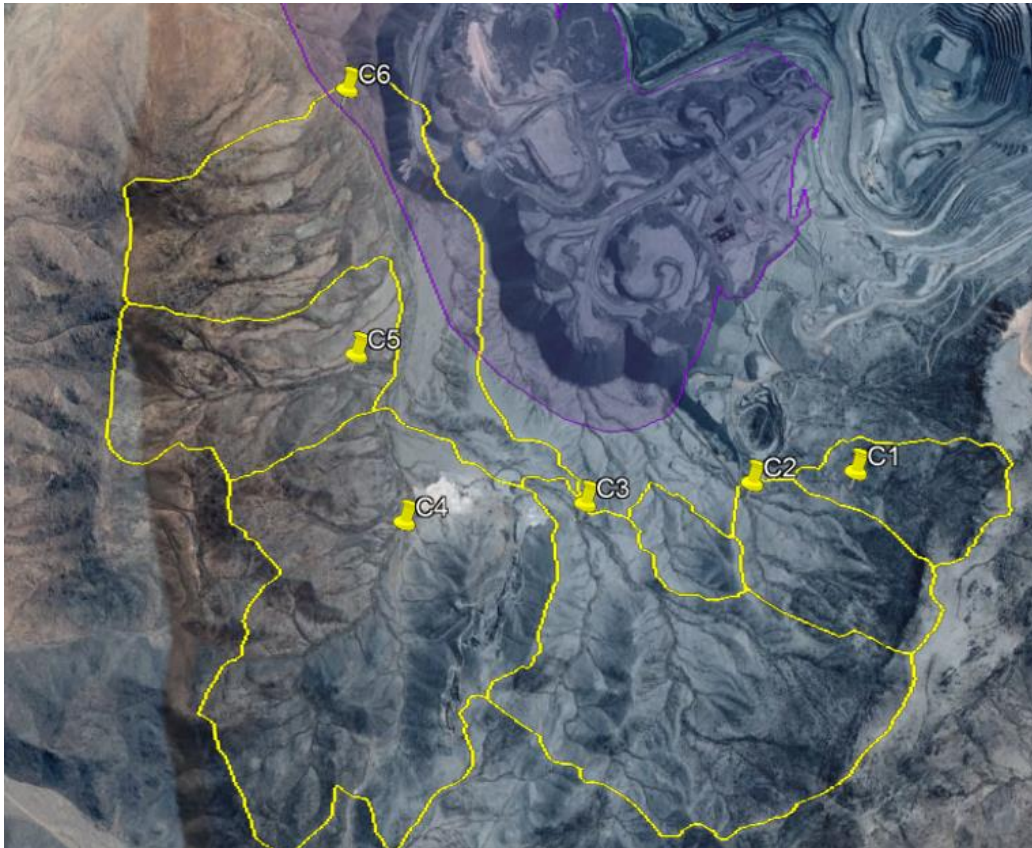


Figura 7-2: Ubicación Calicatas

La excavación de calicatas y extracción de muestras estuvieron a cargo del cliente. Los ensayos de laboratorio, fueron realizados por la empresa INVECC. Los informes emitidos por dicho laboratorio se presentan en el **Anexo 8**, Apéndice A.

La Tabla 7-5 que se presenta a continuación, entrega los porcentajes en peso correspondientes para cada calicata.

Tabla 7-5: Distribución granulométrica en Calicatas

Malla		Porcentaje que pasa (%)					
		Calicatas					
(N°)	(mm)	1	2	3	4	5	6
2 1/2 "	63.5				100		
2 "	50.8	100		100	99	100	100
1 1/2 "	38.1	99	100	97	98	98	99
1 "	25.4	95	99	91	96	92	96
3/4 "	19.1	88	95	86	93	86	92
3/8 "	9.5	68	82	73	81	69	77
# 4	4.75	51	66	58	64	59	62

Malla		Porcentaje que pasa (%)					
		Calicatas					
(N°)	(mm)	1	2	3	4	5	6
# 10	2	39	55	43	52	51	48
# 40	0,425	18	32	21	27	23	17
# 200	0,075	9	17	9	14	9	5

La Tabla 7-6 que se presenta a continuación, entrega los diámetros característicos para cada una de las cuencas consideradas en el estudio.

Tabla 7-6: Diámetros característicos

Cuenca:	1	2	3	4	5	6
Calicatas:	C1	C2	C2	C3	C4	C5
Diam. Caract.						
D ₅₀ [mm]	4,42	1,43	2,99	1,77	1,89	2,26
D ₆₅ [mm]	8,42	4,39	6,57	4,95	7,21	5,46
D ₈₅ [mm]	17,17	11,18	18,06	12,00	18,29	13,79
D ₉₀ [mm]	20,68	14,59	23,98	16,02	23,08	17,37
D ₉₅ [mm]	25,40	19,05	33,28	23,08	31,11	23,64
D _m [mm]	5,78	3,34	5,97	4,28	5,81	4,47

Es importante mencionar, que según las curvas granulométricas y lo observado en la visita a terreno, los materiales predominantes en la zona corresponden a gravas y arenas, con contenido de finos que oscilan entre 5 y 17%.

7.2.5 Coeficientes de Rugosidad de Manning

Tomando en cuenta la granulometría del material de la zona y lo observado durante la visita realizada al sitio del proyecto, se realizó la estimación del coeficiente de rugosidad de Manning, aplicando la metodología propuesta por Cowan (Tabla 7-7), como se presenta a continuación.

$$n = m (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)$$

Tabla 7-7: Componentes Coeficiente Manning – Método Cowan

CONDICIONES DEL CANAL		VALOR	
Material del Lecho	Tierra	n_0	0,020
	Roca Cortada		0,025
	Grava Fina		0,024
	Grava Gruesa		0,028
Grado de Irregularidad Perímetro Mojado	Despreciable	n_1	0,000
	Leve		0,005
	Moderado		0,010
	Alto		0,020
Variaciones de las Secciones	Graduales	n_2	0,000
	Alternándose Ocasionalmente		0,005
	Alternándose Frecuentemente		0,010 – 0,015
Efecto Relativo de las Obstrucciones	Despreciable	n_3	0,000
	Leve		0,010 – 0,015
	Apreciable		0,020 – 0,030
	Alto		0,040 – 0,060
Densidad de Vegetación	Baja	n_4	0,005 – 0,010
	Media		0,010 – 0,025
	Alta		0,025 – 0,050
	Muy Alta		0,050 – 0,100
Sinuosidad y Frecuencia de Meandros	Leve	m	1,000
	Apreciable		1,150
	Alto		1,300

Para la estimación del parámetro n_0 , alternativamente, también se emplea la expresión propuesta por Strickler que se muestra a continuación:

$$n_0 = 0,038D^{1/6}$$

Finalmente, para la estimación el coeficiente de rugosidad de Manning en cada cuenca, se promedian los valores obtenidos aplicando el método de Cowan con la expresión propuesta por Strickler y los obtenidos aplicando el n_0 del método de Cowan propiamente tal (ver Tabla 7-7).

En la Tabla 7-8 se presentan los coeficientes de rugosidad de Manning estimados para cada cuenca, que son los empleados en las modelaciones hidráulicas de cada una de ellas. Como se puede observar, la variabilidad del coeficiente de rugosidad de Manning, obtenido mediante el método de Cowan para cada una de las cuencas del Proyecto, es bastante baja, por lo que se considera un valor promedio de $n=0,034$ para todos los modelos en suelo natural. Para el caso de las canalizaciones, al tratarse de excavaciones uniformes en suelo, se propone un coeficiente de rugosidad de Manning de $n=0,025$.

Tabla 7-8: Estimación Coeficiente de Rugosidad de Manning

Parámetro	Cuenca					
	1	2	3	4	5	6
n₀ Cowan	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
n₀ Meyer-Peter-Müller	0,020	0,019	0,020	0,019	0,020	0,019
n₁	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
n₂	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
n₃	0	0	0	0	0	0
n₄	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
m	1	1	1	1	1	1
n	0,035	0,034	0,035	0,034	0,035	0,034

8 Memoria de Cálculo Hidráulica

En las secciones a continuación se presentan los diseños y verificaciones correspondientes de las obras de protección para los botaderos de Mina Los Colorados.

8.1 Canal de Contorno

Como se mencionó previamente los Canales de Contorno Superior e Inferior poseen la misma sección transversal y su trazado mantiene la misma pendiente de 1 %.

Los Canales de Contorno (Superior e Inferior) del proyecto, se materializan mediante una sección transversal trapezoidal, con cubeta de taludes laterales de inclinación 1,5(H):1(V), siguiendo lo recomendado por el Volumen 3 del Manual de Carreteras, Tabla 3.705.2.A, para pequeños canales en tierra.

El canal de contorno será excavado en suelo natural y sin recubrimiento. A cada lado del canal, se proyectan bermas de 1 m de ancho. Los taludes de relleno compactado deberán construirse de inclinación 1,5(H):1(V), mientras que los de corte en suelo serán de 1(H):1,5(V). En las zonas de laderas, donde pueda verificarse que éstas están constituidas por roca, los taludes de excavación para conformar la plataforma podrán modificarse a inclinación 1(H):2(V).

Para el diseño del canal de contorno, se ha considerado una velocidad máxima admisible de 1,16 m/s, calculada según la expresión de Neill:

$$\frac{V_c}{\sqrt{gD}} = 1.41(s - 1)^{1/2} \left(\frac{h}{D}\right)^{1/6}$$

Donde:

V_c = Velocidad Crítica (Límite).

g = Aceleración de la gravedad: 9,807 m/s².

D = Diámetro característico de la partícula, en este caso: $D_{90}=0,0191$ m.

s = Peso específico del sólido: 2,65.

h = Altura de escurrimiento del agua: 0,2 m.

Para la modelación del flujo, se ha considerado un coeficiente de rugosidad de Manning de 0,025, tomando en cuenta lo recomendado en la Tabla 3.705.1.A, del Volumen 3 del Manual de Carreteras, para canales excavados en suelo.

La velocidad de flujo mínima se establece en 0,8 m/s, con el objetivo de evitar deposición de sedimentos.

8.1.1 Sección Transversal

Como se mencionó previamente, para el canal de contorno se considerará una sección transversal trapezoidal, con un ancho de 0,50 m en la base y una altura de 0,55 m, para la cual se verificarán los caudales de flujo correspondientes.

El caudal de diseño para el canal corresponde a 180 l/s (ver sección 7.2.3). Es importante mencionar, que el caudal de verificación para $T = 200$ años también corresponde a 180 l/s, lo que se debe a que el caudal de diseño para $T = 100$ años debe incorporar el caudal equivalente de

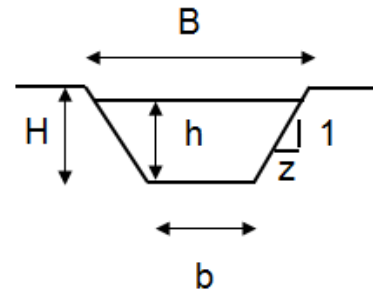
aporte de sedimentos correspondiente. Por lo expuesto, se presentarán los cálculos solamente para el caudal de $T = 100$ años con la adición del aporte de sedimentos correspondiente. Debido a lo anterior, se presentarán los cálculos solamente para el caudal de $T = 100$ años incluyendo el aporte de sedimentos correspondiente.

El coeficiente de rugosidad de Manning adoptado corresponde a 0,025 para canal excavado en suelo sin revestimiento, como se mencionó previamente.

En la Tabla 8-1 que se muestra a continuación, se presenta los cálculos de las alturas normales de flujo (Ecuación de Manning) y sus correspondientes velocidades para el caudal de diseño ($T=100$ años), que también incorpora el aporte de sedimentos.

Tabla 8-1: Diseño/Verificación Canal – $T = 100$ años + Sedimentos

Parámetro	Valor	
Caudal $T=100$ años $[Q]$ + Sedimentos	0,18 m ³ /s	
Base $[b]$	50 cm	
Altura Total $[H]$	55 cm	
Coef. Manning $[n]$	0.025	
Talud $[z]$	1,5	
Pendientes $[S_{min}, S_{max}]$	0,8 %	1 %
Altura de Flujo $[h_{max}, h_{min}]$	22,2 cm	20,9 cm
Velocidades de Flujo $[V_{min}, V_{max}]$	0,97 m/s	1,06 m/s
Revanca mínima $[F_{bm}]$	32 cm	31 cm
Revanca $(H - h)$ $[F_b]$	33 cm	34 cm
Radio mínimo Curvatura $[R_{mín}]$	3,50 m	3,39 m



Como se puede observar en la Tabla 8-1 no se supera la velocidad límite de flujo para la erosión, la cual se fijó en 1,16 m/s, para el rango de pendientes definido para el canal (0,8 % a 1 %). En el caso del canal del proyecto, se mantuvo una pendiente uniforme del 1 % para los tramos Superior e Inferior.

En el **Anexo 9** de esta presentación, se adjuntan los planos con las plantas y perfiles longitudinales de los trazados del Canal de Contorno, en sus tramos Superior e Inferior.

En el **Anexo 5** de esta presentación, se adjuntan las planillas de cálculo correspondiente al diseño y verificación de los canales.

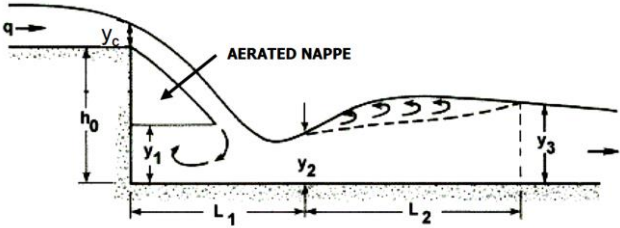
8.1.2 Obra de Entrega (Disipador de Energía)

En el extremo aguas abajo de los dos tramos del canal de contorno (Superior e Inferior), se materializan las obras de entrega correspondientes mediante disipadores de energía revestidos tipo escalón. La metodología de diseño corresponde a la propuesta por la U.S. Department of Transportation – Federal Highway Administration para el diseño de disipadores de energía en canales y alcantarillas.

En ambos canales, se define una sola configuración de obra de entrega (caída disipadora de energía), que es la que se detalla a continuación.

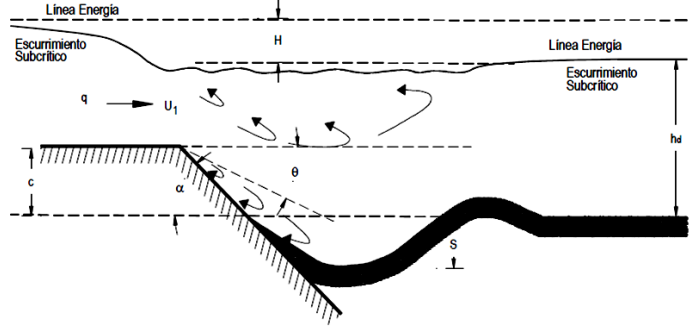
En la Tabla 8-2, que se presentan a continuación, se resume el diseño de la caída disipadora para el Canal de Contorno (Superior e Inferior) del proyecto Mina Los Colorados. Es importante hacer notar que la altura de caída deberá mantenerse fija, mientras que el valor asignado a la longitud de la fosa corresponde al mínimo requerido para el desarrollo del resalto hidráulico y su consiguiente reducción de velocidad.

Tabla 8-2: Diseño de Obra de Entrega (Caída Disipadora)

Parámetro	Valor	
Caudal de Diseño [Q/b]	0,218 m ³ /s/m	
Altura Caída [h0]	100 cm	
Altura Crítica [yc]	17 cm	
Altura [y1]	31 cm	
Altura Transición [y2]	5,6 cm	
Altura Salida [y3]	39 cm	
Velocidad de Salida [V3]	0,56 m/s	
Longitud Transición [L1]	1,02 m	
Longitud Resalto [L2]	2,36 m	
Longitud Total mínima adoptada [LTot>=L1+L2]	3,40 m	

En la Tabla 8-3 se presenta la verificación de la socavación en la obra de entrega proyectada. El valor de la socavación S se calcula como el mayor entregado por los métodos Bormann-Julien y Fahlbusch-Hoffmans, presentados en el Manual de Carreteras Vol. 3.

Tabla 8-3: Verificación Socavación – Obra de Entrega Canal de Contorno

Parámetro	Valor	
$Q \text{ [m}^3\text{/s]}=$	0,18	
$q \text{ [m}^3\text{/s/m]}=$	0,22	
$U_1 \text{ [m/s]}=$	0,56	
$c \text{ [m]}=$	0	
$D_{90} \text{ [mm]}=$	19,05	
$\square \text{ [}^\circ\text{]}=$	34	
$\square \text{ [}^\circ\text{]}=$	70	
$\square \text{ [}^\circ\text{]}=$	90	
$hd \text{ [m]}=$	0,39	
Socavación $S \text{ [m]}=$	0,13	
Profundidad diente mínimo $H_{di} \text{ [m]}=$	0,60	

Como se puede observar en la Tabla 8-3, se recomienda una profundidad de diente de 60 cm en la obra de entrega del canal proyectado, el cual deberá constituirse con el mismo material de enrocado consolidado con mortero de hormigón, del dissipador de energía.

En esta etapa, como antecedente granulométrico, se consideró el promedio de los resultados de las muestras ensayadas de la campaña de calicatas para el estudio de arrastre de sólidos, con un D_{90} promedio de 19,05 mm.

En el **Anexo 5** de este documento se presentan las verificaciones correspondientes a los dissipadores de energía de las obras de descarga de los canales Superior e Inferior.

8.1.3 Modelos Hidráulicos

Para poder evaluar/verificar el comportamiento hidráulico y también poder obtener el perfil hidráulico a lo largo del canal de contorno en sus tramos Superior e Inferior, se elaboraron modelos computacionales mediante el software HECRAS, desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers. La base topográfica fue generada mediante el software CIVIL 3D.

Las condiciones de borde aplicadas a los modelos, corresponden a la altura normal calculada con la pendiente del terreno natural en las zonas de entrega aguas abajo, y con la pendiente de las zonas de inicio de los canales proyectados. La Tabla 8-4 que se presenta a continuación, se muestran las condiciones de borde aplicadas en los modelos.

Tabla 8-4: Condiciones de Borde Modelos Hidráulicos

Canal de Contorno	Condiciones de Borde	
	Aguas Arriba	Aguas Abajo
Superior	Altura Normal $S=0,0133 \text{ m/m}$	Altura Normal $S=0,0136 \text{ m/m}$
Inferior	Altura Normal $S=0,089 \text{ m/m}$	Altura Normal $S=0,037 \text{ m/m}$

En la Figura 8-1 y Figura 8-2 se muestran unas vistas 3D de los modelos hidráulicos generados para los Canales de Contorno Superior e Inferior, respectivamente.

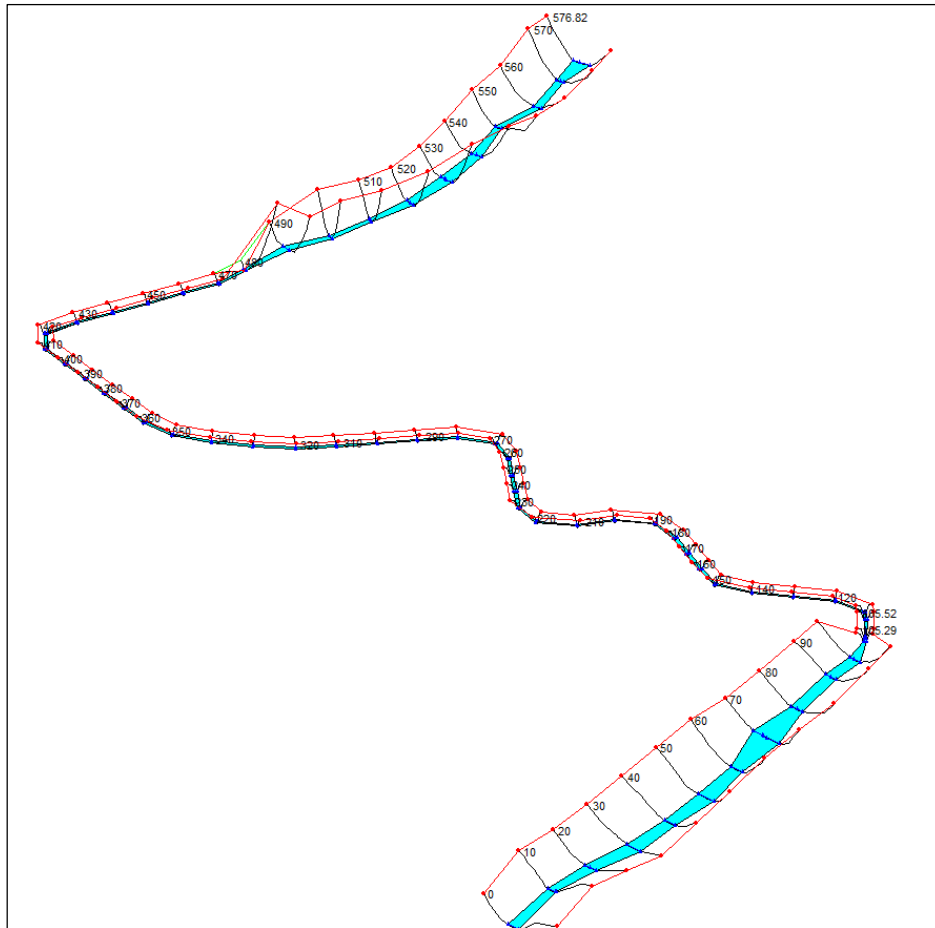


Figura 8-1: Modelo Hidráulico – Canal de Contorno Superior

Es importante aclarar que los modelos hidráulicos generados, consideran 100 m más allá del canal hacia aguas arriba y 100 m hacia aguas abajo, como lo solicita la autoridad.

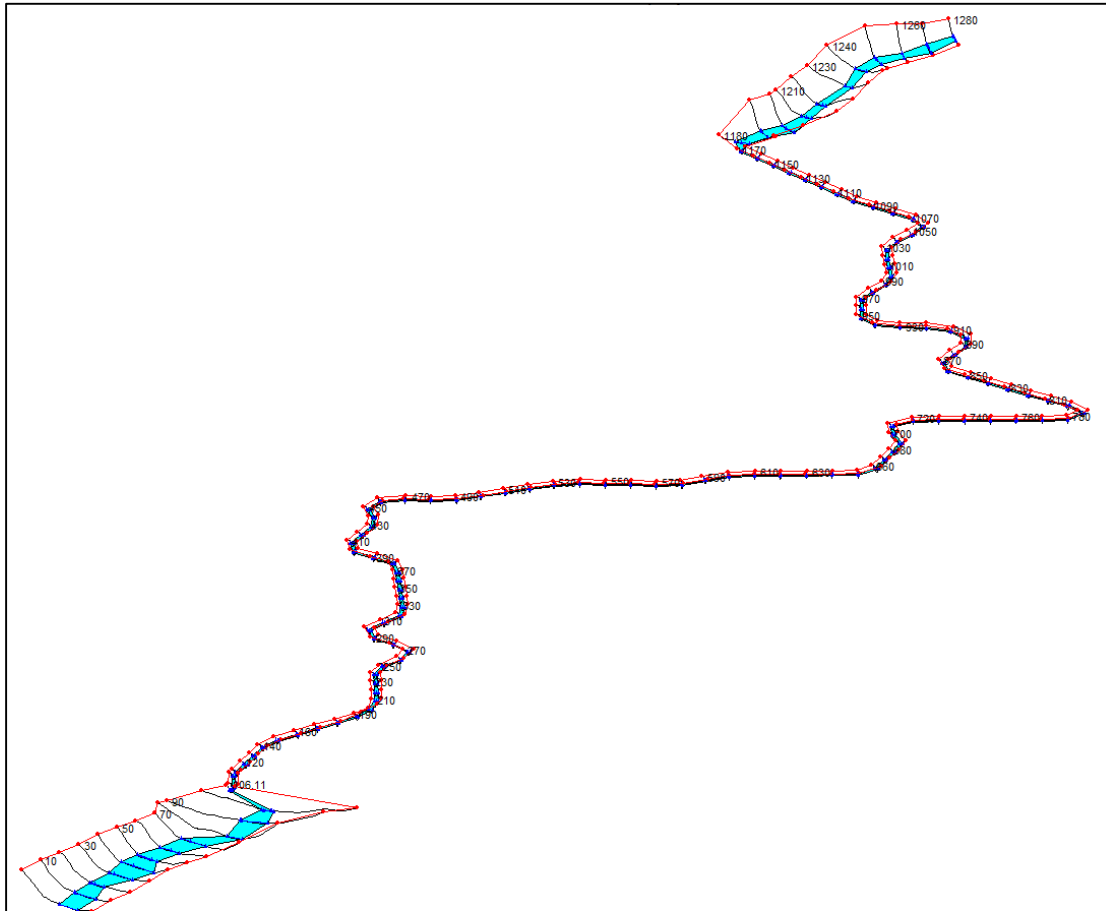


Figura 8-2: Modelo Hidráulico – Canal de Contorno Inferior

8.1.4 Perfiles Hidráulicos

Mediante los modelos hidráulicos elaborados para el canal de contorno del proyecto, se obtuvieron los perfiles de velocidad, alturas de flujo y elevaciones que se presentan en esta sección.

La Figura 8-3 y Figura 8-4 que se presentan a continuación, muestran la variación de las elevaciones de flujo a lo largo del Canal de Contorno Superior e Inferior respectivamente.

La Figura 8-5 y Figura 8-6 muestran la variación de las velocidades de flujo a lo largo del Canal de Contorno Superior e Inferior respectivamente.

La Figura 8-7 y Figura 8-8 muestran la variación de las alturas de flujo, relativas al fondo, a lo largo del Canal de Contorno Superior e Inferior respectivamente.

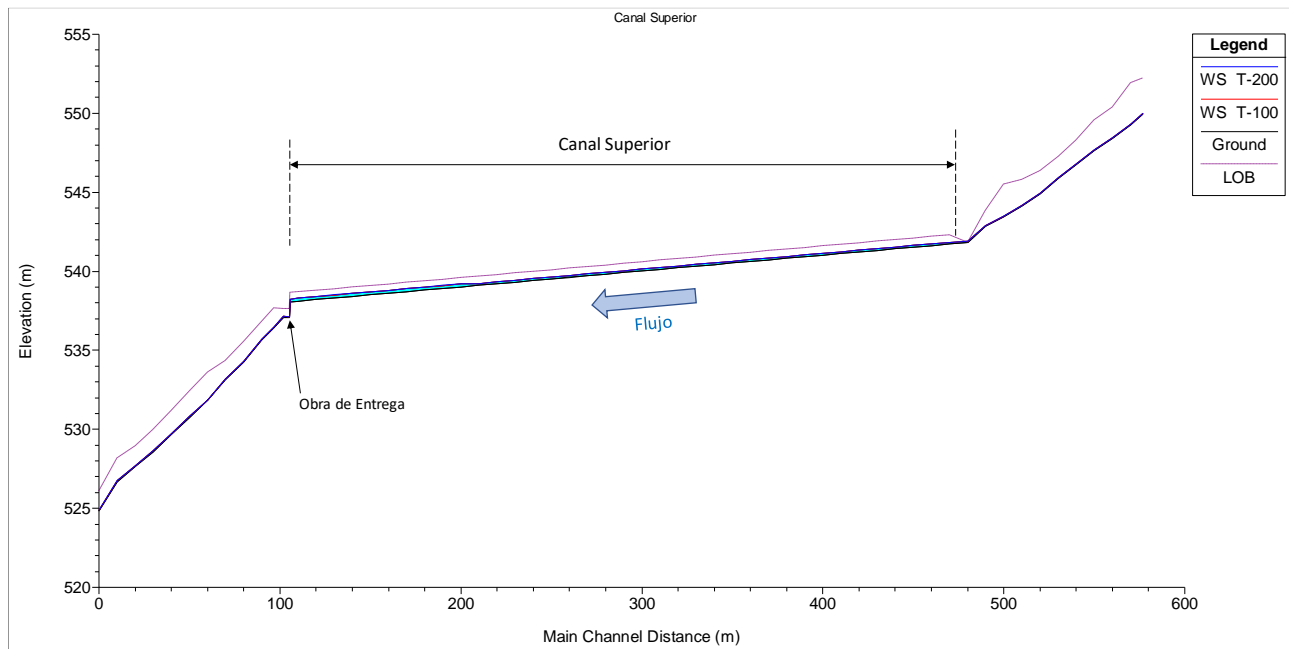


Figura 8-3: Canal de Contorno Superior – Perfil Elevaciones (T = 100 y T = 200 años)

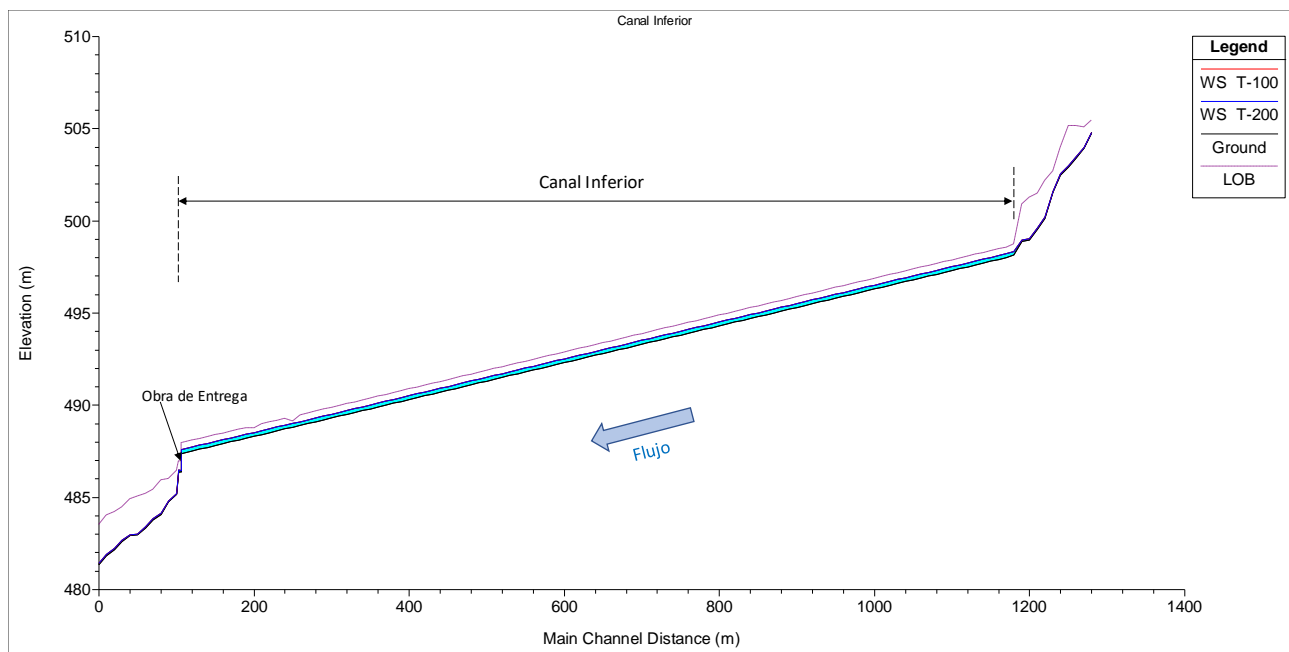


Figura 8-4: Canal de Contorno Inferior – Perfil Elevaciones (T=100 y T=200 años)

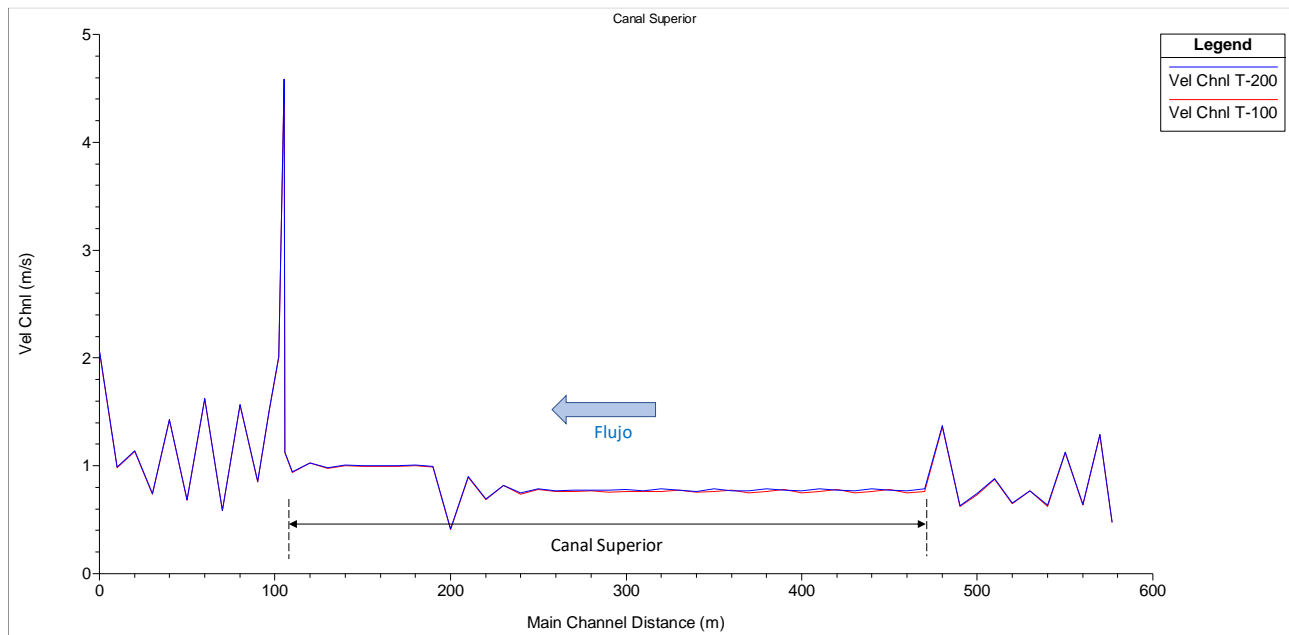


Figura 8-5: Canal de Contorno Superior – Perfil Velocidades (T=100 y T=200 años)

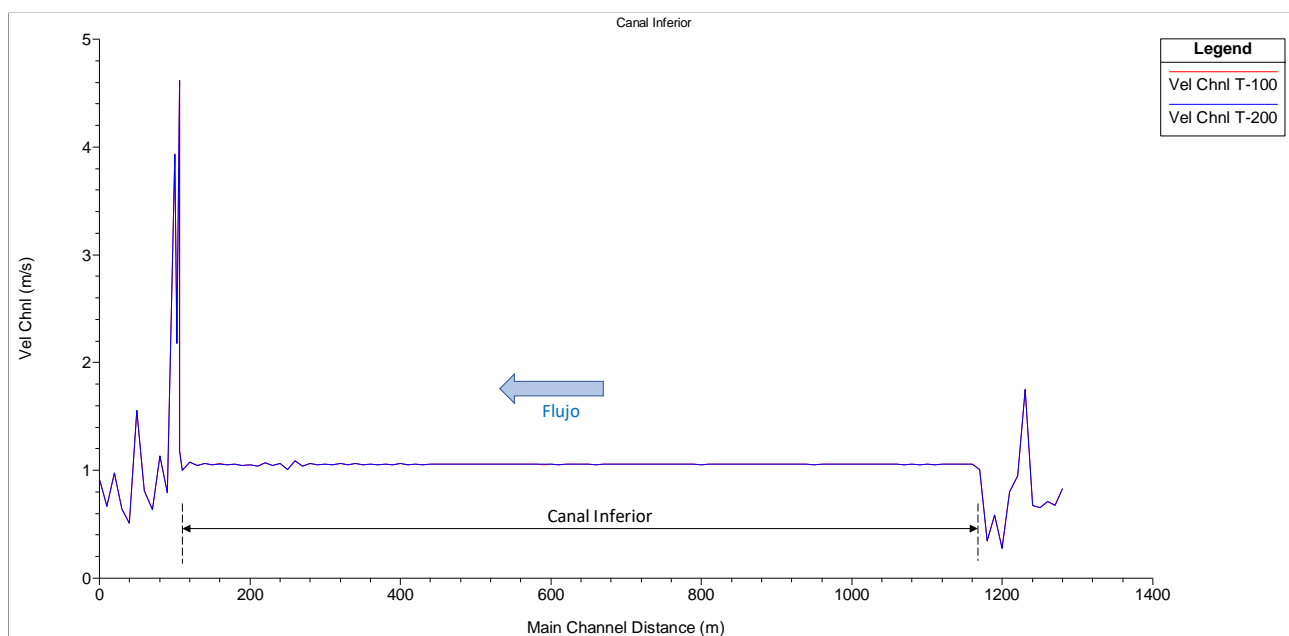


Figura 8-6: Canal de Contorno Inferior – Perfil Velocidades (T=100 y T=200 años)

Las líneas de color azul y rojo, de las Figura 8-5 y Figura 8-6, corresponden a la variación de la velocidad de flujo, a lo largo del canal, para el caudal con periodo de retorno de T=100 y T=200 años respectivamente. Claramente se puede observar que las zonas que delimitan los canales excavados, presentan velocidades menores a la velocidad límite de 1,16 m/s establecida para el diseño. Las zonas donde se evidencian “Peaks” de velocidad, corresponden a la obra de entrega y la zona de captación, las cuales van debidamente recubiertas con enrocado consolidado, para poder cumplir su función de diseño sin sufrir erosión.

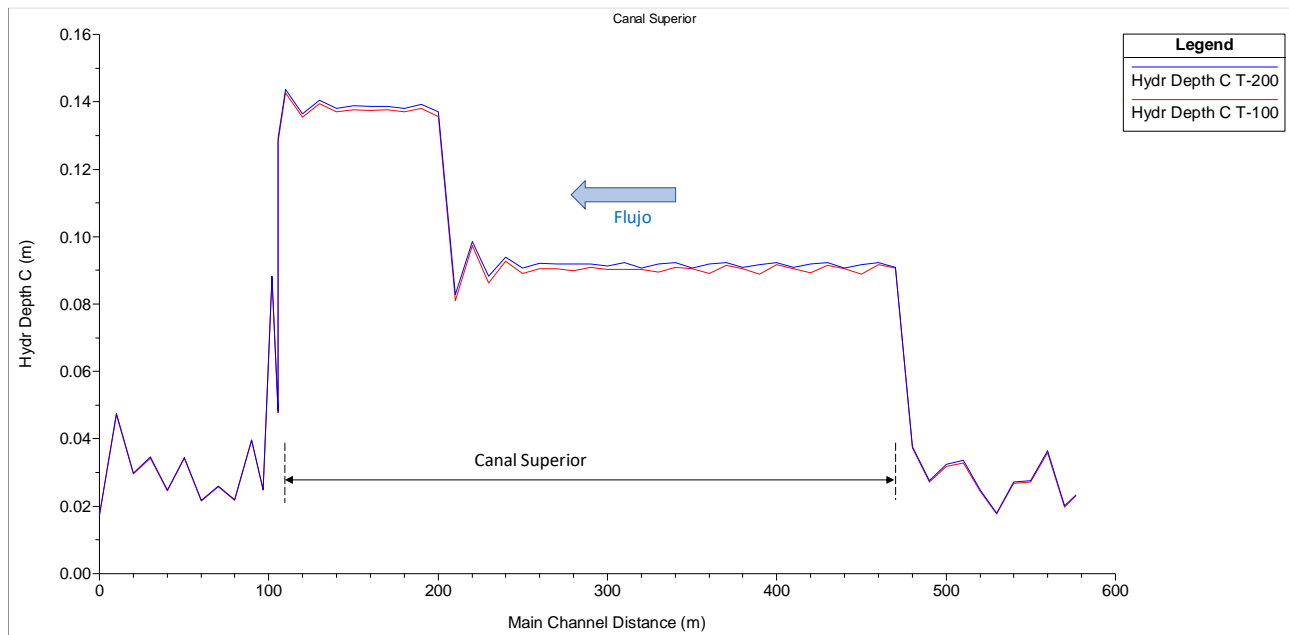


Figura 8-7: Canal de Contorno Superior – Perfil Alturas de Flujo (T=100 y T=200 años)

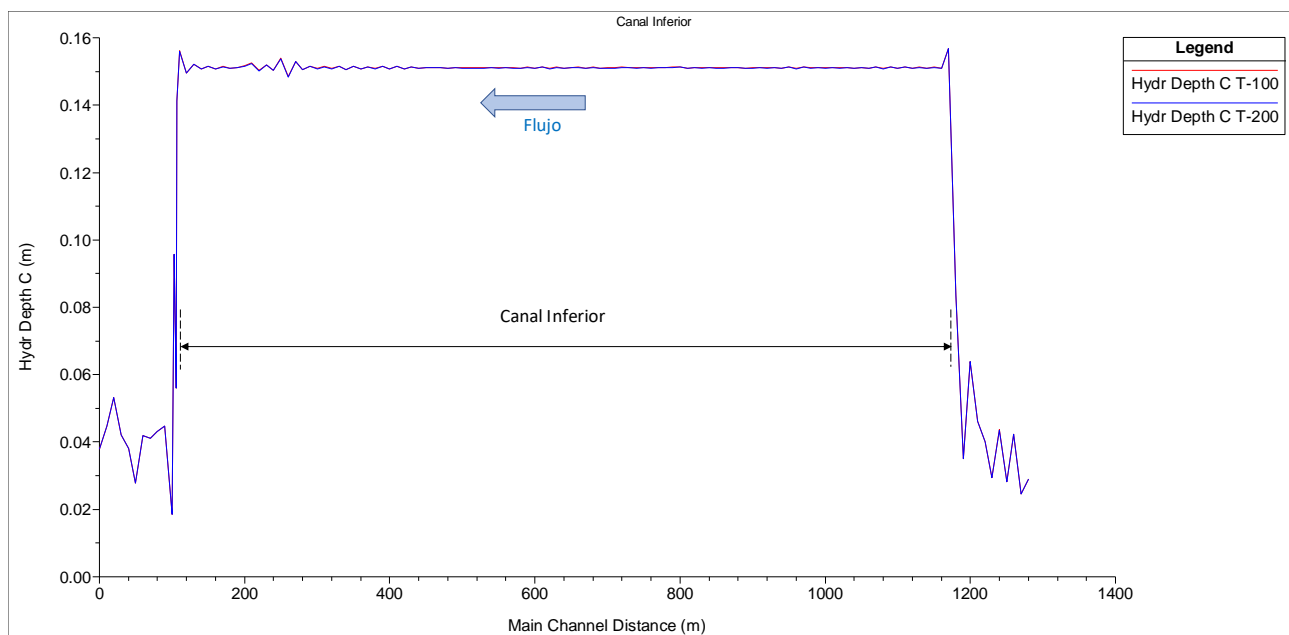


Figura 8-8: Canal de Contorno Inferior – Perfil Alturas de Flujo (T=100 y T=200 años)

Como se puede observar en las Figura 8-7 y Figura 8-8, las alturas de flujo mantienen una revancha apropiada para el caso del caudal de diseño (T=100 años, línea azul) de aproximadamente 0,46 m para el Canal Superior y de 0,40 m para el Canal Inferior, así como para el caudal de verificación T=200 años, que resultan ser muy similares al incorporar el aporte de sedimentos para el caudal de T=100 años, por lo que en ningún caso se supera la altura máxima disponible en las cubetas del Canal de Contorno Superior e inferior.

En el **Anexo 6** del presente informe se presentan los resultados obtenidos mediante los modelos hidráulicos elaborados en HECRAS para el Canal de Contorno Superior e Inferior.

8.2 Muro de Protección

8.2.1 Sección Transversal

El Muro de Protección de los Botaderos del proyecto, se emplaza a lo largo de la quebrada principal, a una distancia no menor a 15 m del pie de los botaderos mencionados.

El Muro de Protección será construido con relleno compactado compuesto por material del lugar y un recubrimiento de enrocado de protección. En cuanto a sus dimensiones y características generales, el muro será construido con taludes con una inclinación de 2(H):1(V), un ancho de coronamiento de 4 m y una altura variable a lo largo de su trazado, pero no menor a 1,0 m.

El enrocado de protección deberá tener un espesor de 1 m en el talud en contacto con el flujo y de 0,50 m en el coronamiento. Dicha protección de enrocado deberá fundarse a al menos 1,20 m de profundidad desde la cota de terreno natural donde se funda el muro propiamente tal.

La sección transversal del muro y su trazado en planta ya fueron presentados en la Sección 4.2 de este informe.

8.2.2 Modelo Hidráulico

Para poder evaluar y verificar el comportamiento hidráulico y también, poder obtener los perfiles hidráulicos correspondientes a lo largo del trazado del Muro de Protección, se elaboró un modelo numérico mediante el software HECRAS, desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers. La base topográfica fue generada mediante el software CIVIL 3D.

La condición de borde aplicada al modelo en el extremo de aguas arriba corresponde a la altura normal aproximada mediante la pendiente longitudinal del terreno natural de la quebrada. En el extremo de aguas abajo se utilizó como condición de borde la altura de escurrimiento impuesta por el flujo que ingresa hacia el Canal de Desvío y que luego pasa por sobre la caída de nivel que se ubica a 5 m aguas abajo del ingreso hacia esta obra.

Las condiciones de borde utilizadas se resumen en la Tabla 8-5.

El cálculo de las alturas de escurrimiento justo en el ingreso hacia la obra de captación del Canal de Desvío se presenta en la sección 8.3.3 de este informe.

Tabla 8-5: Condiciones de Borde Modelo Hidráulico – Muro de Protección

Tramo	Condiciones de Borde	
	Aguas Arriba	Aguas Abajo
Muro Protección	Altura Normal $S=0,032$ m/m	Altura de escurrimiento en entrada a Canal de Desvío: $h = 0,33$ m $\rightarrow H = 414,33$ m s.n.m. (para T100) $h = 0,36$ m $\rightarrow H = 414,36$ m s.n.m. (para T200)

En la Figura 8-9, se muestra una vista 3D del modelo hidráulico de la quebrada principal en el sector donde se construirá el Muro de Protección.

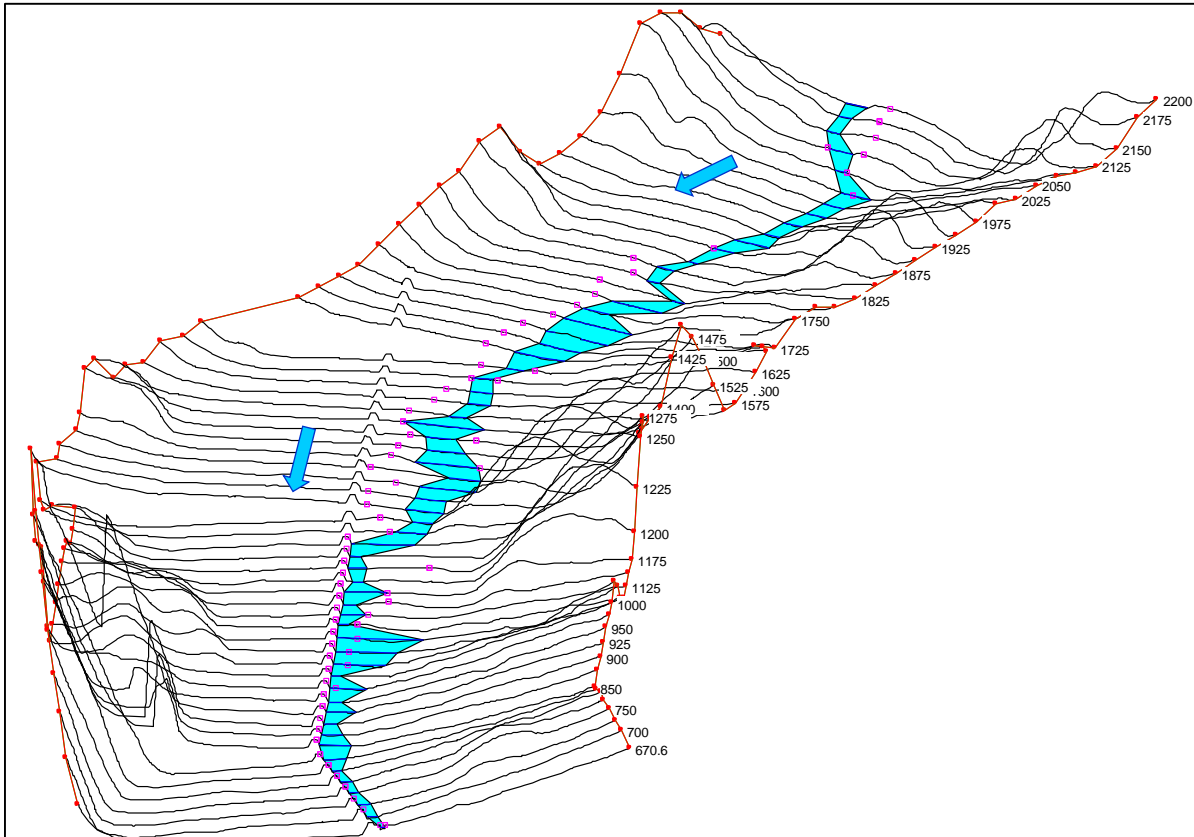


Figura 8-9: Modelo Hidráulico – Muro de Protección Mina Los Colorados

8.2.3 Perfiles Hidráulicos

Mediante el modelo hidráulico elaborado para la quebrada principal en el sector del Muro de Protección del proyecto, se obtuvieron los perfiles de velocidad, alturas de flujo y elevaciones que se presentan en esta sección.

La Figura 8-10 muestra la variación de la profundidad hidráulica a lo largo del tramo modelado de la quebrada principal. Se puede observar que la máxima profundidad observada es cercana a los 0,35 m y ocurre en el extremo inferior del Muro de Protección, justo en el ingreso hacia el Canal de Desvío (PK 0+670,6).

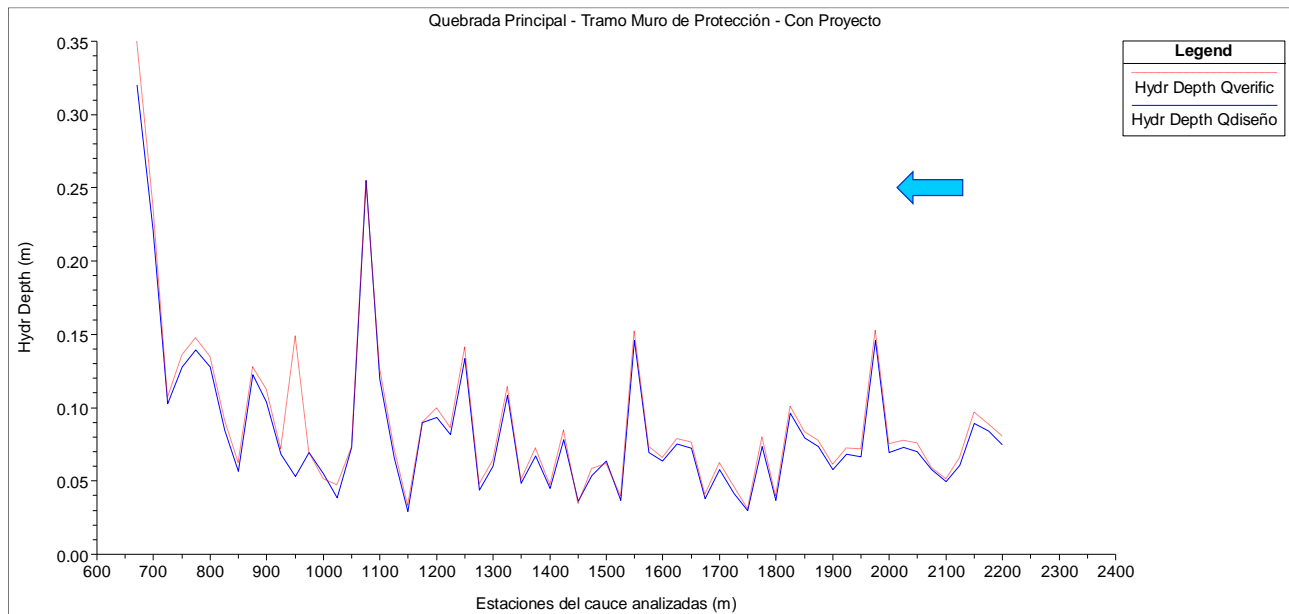


Figura 8-10: Quebrada Principal en sector Muro de Protección – Perfil Profundidades Hidráulicas de Flujo (T=100 y T=200 años)

La Figura 8-11 muestra la variación de las velocidades de flujo a lo largo del tramo modelado de la Quebrada Principal. Se puede observar que las máximas velocidades de escurrimiento varían entre 2,00 y 3,74 m/s y se alcanzan en las estaciones PK 0+950, 1+025 y 1+150. En las tres secciones mencionadas se evaluará la socavación general del lecho a fin de estimar adecuadamente la profundidad de fundación del Muro de Protección.

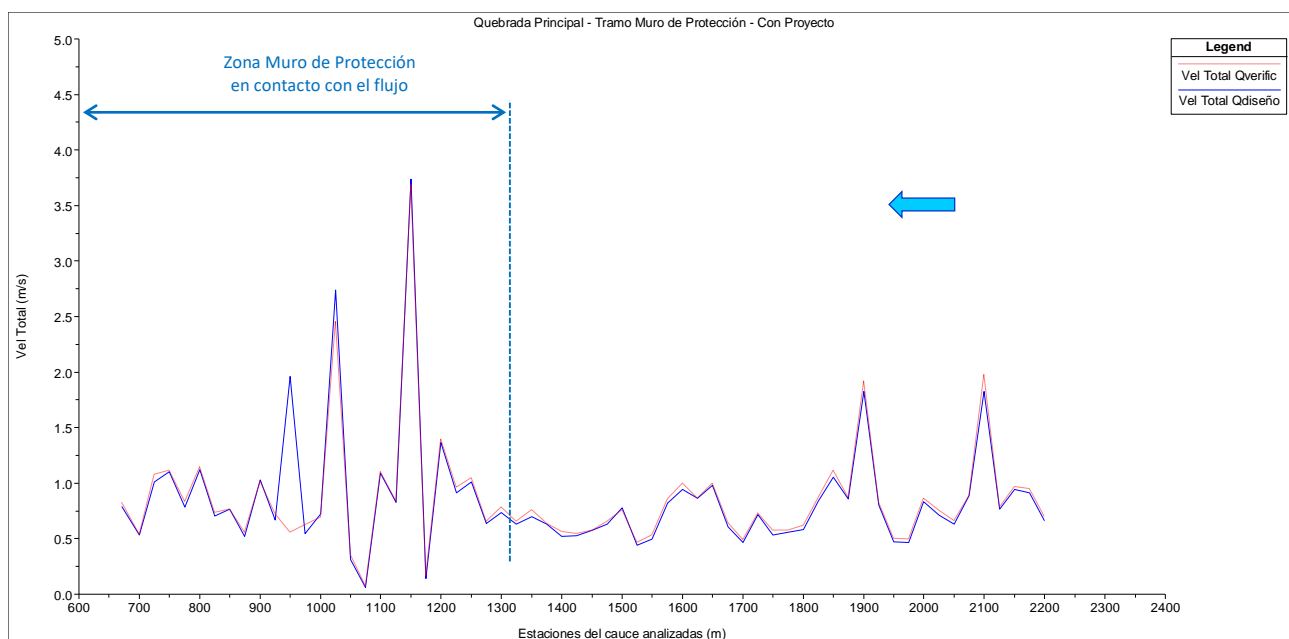


Figura 8-11: Quebrada Principal en sector Muro de Protección – Perfil de Velocidades (T=100 y T=200 años)

En el **Anexo 6** del presente documento, se presentan en detalles los resultados obtenidos mediante el modelo hidráulico HECRAS de la Quebrada Principal en el tramo del Muro de Protección.

8.2.4 Socavación

Mediante el modelo hidráulico elaborado para la quebrada con el muro de protección del proyecto, se obtuvieron los perfiles de velocidad, alturas de flujo y elevaciones, según se presentaron previamente. Con estos resultados, es posible evaluar la socavación potencial en al pie del Muro de Protección.

La socavación general fue estimada considerando el caudal de diseño (T=100 años), utilizando las metodologías de Neill y Lischvan-Levediev, según se presentan en el Manual de Carreteras, y considerando un diámetro medio de las partículas de 2,31 mm. Las secciones evaluadas corresponden a aquellas en las que se observan las más altas velocidades de escurrimiento, entre las cuales se han considerado las siguientes: PK 0+900, 0+950, 1+025, 1+150 y 1+200.

Estas metodologías entregaron profundidades de socavación máximas en las secciones críticas que varían entre 0,20 y 0,33 m. La Tabla 8-6 muestra los resultados obtenidos.

Tabla 8-6: Socavación general estimada en Quebrada Principal Sector Muro de Protección (T = 100 años)

Zona	Ubicación	Metodología	
		Neill (m)	Lisch-Lev (m)
Muro de Protección	Perfil 0+900	0,28	0,27
	Perfil 0+950	0,24	0,25
	Perfil 1+025	0,20	0,22
	Perfil 1+150	0,32	0,33
	Perfil 1+200	0,22	0,23
Máximos:		0,32	0,33

En las secciones analizadas se observa que la mínima profundidad requerida para alcanzar el nivel de socavación máxima es de 0,66 m. De acuerdo con esto, y en base a un criterio conservador, se escoge una profundidad mínima de fundación de 1,20 m.

En el **Anexo 5** se presentan las planillas de cálculo de socavación, en las secciones transversales indicadas previamente.

8.2.5 Enrocado de Protección

Para poder definir la granulometría del material de enrocado de protección, se usa la expresión de la California Highway Division (EEUU), según se indica en el Manual de Carreteras Volumen 3. El cálculo se realiza considerando las velocidades de escurrimiento en las estaciones 1+025 y 1+150, en las cuales, para la condición de diseño (T100), se alcanzan las máximas velocidades observadas (situaciones críticas), correspondientes a 2,74 y 3,74 m/s, respectivamente.

En la Tabla 8-7: que se presenta a continuación, se muestra el cálculo del material de enrocado requerido en cada sección.

Tabla 8-7: Cálculo Enrocado de Protección

<u>DIMENSIONAMIENTO ENROCADO</u>				
	RS 1+025	RS 1+150		
γ_s [ton/m ³] =	2.65	2.65	Peso específico enrocado	
γ_w [ton/m ³] =	1.00	1.00	Peso específico agua	
ϕ [°] =	67	67	Ángulo reposo enrocado dispuesto en forma trabada	
V:H = 1:	2.00	2.00	Talud muro de enrocado	
V [m/s] =	2.74	3.74	Velocidad media del escurrimiento	
s =	2.65	2.65	Peso relativo al agua	
θ [°] =	26.6	26.6	Inclinación talud	
California Highway Division (EEUU):				
$W = \frac{0,0113 \cdot s \cdot V^6}{[(s-1) \cdot \text{sen}(\phi - \theta)]^3}$				
W [Kg] =	10.3	66.9		
W [Ton] =	0.010	0.067		
Vol [m ³] =	0.004	0.025		
D [m] =	0.195	0.364		
D [mm] =	195.3	363.9	(mínimo)	

De acuerdo con los resultados recién presentados, en torno a la estación RS 1+150 se requiere un enrocado de tamaño mínimo 364 mm (66,9 kg), a fin de otorgar protección frente a velocidades de escurrimiento del orden de 3,74 m/s. Para el resto del Muro de Protección, bastaría un enrocado de tamaño mínimo 195 mm, con lo cual es posible proveer protección adecuada frente a velocidades que como máximo podrían alcanzar a 2,74 m/s.

De acuerdo las recomendaciones presentadas en la sección 3.708.302(5) b) del Manual de Carreteras Vol. 3, se selecciona un enrocado Clase I, recomendado para diámetros nominales menores a 400 mm. La granulometría indicada para dicho enrocado se presenta en la Tabla 8-8.

Tabla 8-8: Granulometría del Enrocado para el Muro de Protección

Especificación	Clase I	
	Diámetro Nominal (mm)	Peso Mínimo Clasto (kg)
100 % menor que	500	180
Al menos 20 % mayor que	450	130
Al menos 50 % mayor que	400	100
Al menos 80 % mayor que	250	100

8.3 Canal de Desvío

El Canal de Desvío se ubica a continuación del Muro de Protección y permite conducir las aguas de los escurrimientos de la quebrada principal hasta un punto en el cual no haya riesgo de que entren en contacto con el botadero del Proyecto Mina Los Colorados. El canal considera sección transversal trapezoidal (base de 0,5 m y taludes 1,5(H):1(V)), seis obras de caída (disipadores de energía) y una pendiente longitudinal de 0,25% en cada tramo de canal.

El canal de contorno será excavado en suelo natural y sin recubrimiento. A cada lado del canal, se proyectan bermas de 1,0 m de ancho. Los taludes de relleno compactado deberán construirse con inclinación 1,5(H):1(V), mientras que los de corte en suelo serán de 1(H):1,5(V). Donde pueda verificarse que el material del terreno está constituido por rocas, los taludes de excavación para conformar la plataforma podrán modificarse a inclinación 1(H):2(V).

Para el diseño del Canal de Desvío, se ha considerado una velocidad máxima admisible de 1,35 m/s, calculada según la expresión de Neill:

$$\frac{V_c}{\sqrt{gD}} = 1.41(s - 1)^{1/2} \left(\frac{h}{D} \right)^{1/6}$$

Donde:

V_c = Velocidad Crítica (Límite).

g = Aceleración de la gravedad: 9,807 m/s².

D = Diámetro característico de la partícula, en este caso: $D_{90}=0,0191$ m.

s = Peso específico del sólido: 2,65.

h = Altura de escurrimiento del agua: 0,60 m.

8.3.1 Sección Transversal

El caudal de diseño para el Canal de Desvío corresponde a 1,11 m³/s y el de verificación de 1,27 m³/s (ver Sección 7.2.3).

El coeficiente de rugosidad de Manning adoptado corresponde a 0,025, correspondiente a un canal excavado en suelo y sin revestimiento, según se indicó en la Sección 7.2.5.

En la Tabla 8-9, se presentan los cálculos de las alturas normales de flujo (Ecuación de Manning) y sus correspondientes velocidades para los caudales de diseño y de verificación.

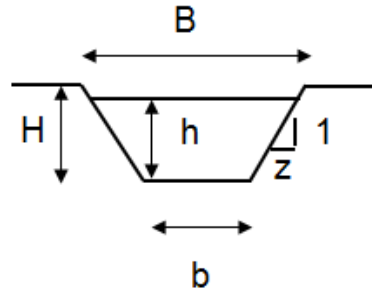
Como se puede observar, para la condición de diseño la velocidad normal de escurrimiento no supera la velocidad límite de flujo para la erosión (V Límite = 1,35 m/s) y para la condición de verificación esta velocidad se encuentra prácticamente en el límite.

En el **Anexo 9** se presentan los planos con las plantas y perfiles longitudinales de los trazados del Canal de Desvío.

En el **Anexo 5** se presentan las planillas de cálculo correspondiente al diseño y verificación del canal.

Tabla 8-9: Diseño/Verificación Canal de Desvío

Parámetro	T100	T200
Q Líquido + Q Sedimentos	1,11 m ³ /s	1,27 m ³ /s
Base [b]	0,50 m	
Altura Total [H]	1,30 m	
Coef. Manning [n]	0,025	
Talud [z]	1,5	
Pendiente [S]	0,5 %	
Altura Normal [h _n]	0,60 m	0,64 m
Velocidad Normal [V _n]	1,31 m/s	1,36 m/s
Revancha Mín. [F _{bm}]	0,68 m	-
Revancha (H - h _n) [F _b]	0,70 m	-
Radio Mín. Curvatura [R _{mín}]	13,20 m	



8.3.2 Obras de Caída (Disipadores de Energía)

A lo largo del trazado del Canal de Desvío se consideran seis caídas disipadoras de energía, las cuales se materializan mediante obras de enrocado consolidado que cuentan con un escalón vertical. La metodología de diseño corresponde a la propuesta por la U.S. Department of Transportation – Federal Highway Administration para el diseño de disipadores de energía en canales y alcantarillas.

La primera caída disipadora de energía se ubica 5,0 m aguas abajo del ingreso a la obra de toma del Canal de Desvío, tiene un escalón de 1,8 m y considera el paso desde una sección rectangular de enrocado consolidado a una sección de iguales características, pero de mayor altura. Las cinco caídas restantes consideran el paso desde la sección trapezoidal del Canal de Desvío hasta una sección rectangular construida de enrocado consolidado, con un escalón de 1,6 m. En todos los casos el largo de la poza de disipación es de 6,0 m.

En la Tabla 8-10 se resume el diseño de las caídas disipadoras del Canal de Desvío del proyecto Mina Los Colorados.

En la Tabla 8-11 se presenta la verificación de la socavación en la salida de las obras de caída proyectadas, para el caso del caudal de diseño. El valor de la socavación S se calcula como el mayor entregado por los métodos Bormann-Julien y Fahlbusch-Hoffmans, presentados en el Manual de Carreteras Vol. 3.

Con base en los resultados presentados en la Tabla 8-11, se recomienda una profundidad de diente de 0,6 m de profundidad en la salida de las obras de caída del Canal de Desvío; al igual que el resto de la estructura, este diente también deberá construirse con enrocado consolidado con mortero de hormigón.

En los cálculos de socavación anteriores, se consideró el promedio de los resultados de las muestras ensayadas de la campaña de calicatas para el estudio de arrastre de sólidos, con un D90 promedio de 19,05 mm.

Tabla 8-10: Diseño de Obras de Caída (Disipadores de Energía)

Parámetro	Caída 1	Caídas 2-5
Caudal de Diseño [Q]	1,11 m ³ /s	
Ancho [b]	4,40 m	
Caudal unitario [Q/b]	0,252 m ³ /s/m	
Altura Caída [h ₀]	1,80 m	1,60 m
N _d	0,00111	0,00158
Altura Bajo Napa [y ₁]	0,40 m	0,39 m
Altura Transición [y ₂]	0,05 m	0,06 m
Altura Salida [y ₃]	0,48 m	0,47 m
Velocidad Salida [V ₃]	0,53 m/s	0,54 m/s
Longitud Transición [L ₁]	1,23 m	1,21 m
Longitud Resalto [L ₂]	2,92 m	2,79 m
Longitud Total Adoptada [L _{Tot} ≥ L ₁ + L ₂]	6,00 m	6,00 m

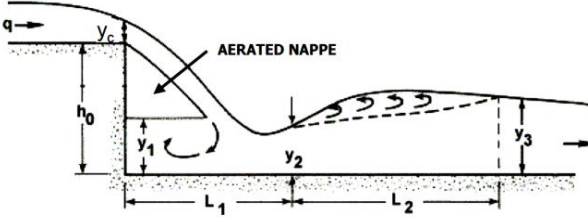
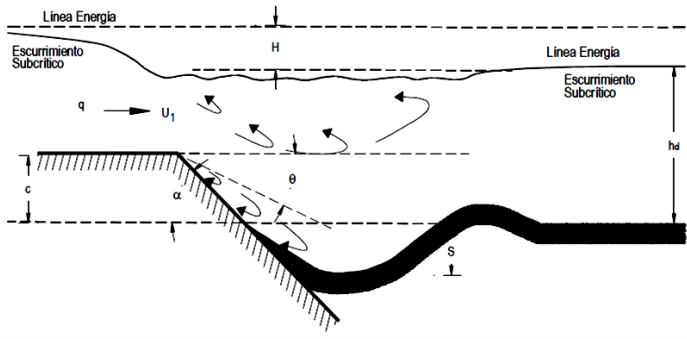


Tabla 8-11: Verificación Socavación – Obra de Caída Canal de Desvío

Parámetro	Valor
Q [m ³ /s]=	1,11
q [m ³ /s/m]=	0,25
U ₁ [m/s]=	0,54
c [m]=	0,00
D ₉₀ [mm]=	19,05
φ [°]=	34
θ [°]=	70
α [°]=	90
h _d [m]=	0,47
Socavación S [m]=	0,14
Prof. diente mínimo H _{di} [m]=	0,60



En el **Anexo 5** de este documento se presentan las verificaciones correspondientes a los disipadores de energía del Canal de Desvío.

8.3.3 Eje Hidráulico en Primer Tramo del Canal de Desvío

Se le denominó Primer Tramo del Canal de Desvío al tramo comprendido entre el ingreso a la bocatoma del canal y la sección de caída de la primera obra de disipación de energía.

La longitud de este tramo es de 5,0 m. La sección típica de la conducción es rectangular, construida con enrocado consolidado. La pendiente longitudinal del radier es de 0,5%, al igual que el resto de los tramos que componen al Canal de Desviación. Para este tramo de canal en particular, cuyas superficies son de enrocado consolidado, se consideró un coeficiente de rugosidad de Manning de 0,034, igual al considerado para escurrimientos en cauces naturales (ver Sección 7.2.5).

En la Tabla 8-12 y Tabla 8-13 se presenta el cálculo del eje hidráulico en la obra de captación del Canal de Desvío. El cálculo se realiza mediante el método del paso directo, desde aguas abajo hacia aguas arriba, considerando altura crítica como condición de borde en el extremo de aguas abajo, y considerando una longitud de 5,0 m a lo largo del canal rectangular de 4,4 m de ancho.

En la Tabla 8-14 se presenta el cálculo del nivel de escurrimiento inmediatamente aguas arriba del ingreso a la bocatoma, lo cual se realiza considerando un balance de energía en la sección de entrada a la bocatoma e incluyendo pérdidas de carga por contracción brusca del flujo ($K_{\text{contracción}} = 0,5$). Los valores de las distintas variables calculadas aguas abajo de la sección de entrada (posición “2”) corresponden a los calculados en el eje hidráulico de la Tabla 8-12 y Tabla 8-13.

Tabla 8-12: Eje hidráulico en obra de captación del Canal de Desvío – Q Diseño = 1,11 m³/s

h (m)	T (m)	A (m ²)	P (m)	R _h (m)	n (-)	J (-)	E (m)	ΔX (m)	X (m)	V (m/s)	F (-)
0,187	4,40	0,82	4,77	0,17	0,034	0,02212	0,28	0,00	0,00	1,35	1,00
0,194	4,40	0,86	4,79	0,18	0,034	0,01934	0,28	0,03	0,03	1,30	0,94
0,202	4,40	0,89	4,80	0,19	0,034	0,01700	0,28	0,10	0,13	1,25	0,89
0,210	4,40	0,93	4,82	0,19	0,034	0,01503	0,28	0,19	0,32	1,20	0,84
0,218	4,40	0,96	4,84	0,20	0,034	0,01334	0,29	0,29	0,61	1,16	0,79
0,226	4,40	1,00	4,85	0,21	0,034	0,01190	0,29	0,42	1,04	1,12	0,75
0,234	4,40	1,03	4,87	0,21	0,034	0,01065	0,29	0,59	1,63	1,08	0,71
0,242	4,40	1,06	4,88	0,22	0,034	0,00957	0,30	0,80	2,43	1,04	0,68
0,250	4,40	1,10	4,90	0,22	0,034	0,00863	0,30	1,09	3,52	1,01	0,64
0,258	4,40	1,13	4,92	0,23	0,034	0,00781	0,31	1,48	5,00	0,98	0,62

Tabla 8-13: Eje hidráulico en obra de captación del Canal de Desvío – Q Verificación = 1,27 m³/s

h (m)	T (m)	A (m ²)	P (m)	R _h (m)	n (-)	J (-)	E (m)	ΔX (m)	X (m)	V (m/s)	F (-)
0,187	4,40	0,82	4,77	0,17	0,034	0,02212	0,28	0,00	0,00	1,35	1,00
0,194	4,40	0,86	4,79	0,18	0,034	0,01934	0,28	0,03	0,03	1,30	0,94
0,202	4,40	0,89	4,80	0,19	0,034	0,01700	0,28	0,10	0,13	1,25	0,89
0,210	4,40	0,93	4,82	0,19	0,034	0,01503	0,28	0,19	0,32	1,20	0,84
0,218	4,40	0,96	4,84	0,20	0,034	0,01334	0,29	0,29	0,61	1,16	0,79
0,226	4,40	1,00	4,85	0,21	0,034	0,01190	0,29	0,42	1,04	1,12	0,75
0,234	4,40	1,03	4,87	0,21	0,034	0,01065	0,29	0,59	1,63	1,08	0,71
0,242	4,40	1,06	4,88	0,22	0,034	0,00957	0,30	0,80	2,43	1,04	0,68
0,250	4,40	1,10	4,90	0,22	0,034	0,00863	0,30	1,09	3,52	1,01	0,64
0,258	4,40	1,13	4,92	0,23	0,034	0,00781	0,31	1,48	5,00	0,98	0,62

Tabla 8-14: Cálculo del nivel de escurrimiento en entrada a bocatoma Canal de Desvío

Variable	Diseño (T=100)	Verificación (T=200)	Descripción variable
Q (m³/s)	1,11	1,27	(Caudal)
K _{pérdidas} (-)	0,50	0,50	(Coeficiente pérdidas por contracción)
z ₂ (msnm)	414,00	414,00	(Cota radier aguas abajo)
h ₂ (m)	0,27	0,29	(Altura escurrimiento aguas abajo)
A ₂ (m²)	1,17	1,26	(Área escurrimiento aguas abajo)
V ₂ (m/s)	0,95	1,00	(Velocidad escurrimiento aguas abajo)
Z ₂ (msnm)	414,27	414,29	(Cota escurrimiento aguas abajo)
H ₂ (msnm)	414,31	414,34	(Cota energía aguas abajo)
T ₂ (m)	4,40	4,40	(Ancho superficial aguas abajo)
Dh ₂ (m)	0,27	0,29	(Prof. hidráulica aguas abajo)
F ₂ (-)	0,59	0,60	(Número Froude aguas abajo)
z ₁ (msnm)	414,00	414,00	(Cota radier aguas arriba)
h ₁ (m)	0,33	0,36	(Altura escurrimiento aguas arriba)
A ₁ (m²)	33,46	36,44	(Área escurrimiento aguas arriba)
V ₁ (m/s)	0,03	0,03	(Velocidad escurrimiento aguas arriba)
Z ₁ (msnm)	414,33	414,36	(Cota escurrimiento aguas arriba)
H ₁ (msnm)	414,33	414,36	(Cota energía aguas arriba)
T ₁ (m)	100,00	100,00	(Ancho superficial aguas arriba)
Dh ₁ (m)	0,33	0,36	(Prof. hidráulica aguas arriba)
F ₁ (-)	0,02	0,02	(Número Froude aguas arriba)
ΔH (m)	0,02	0,03	(Pérdida de energía)

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 8-14, los niveles de escurrimiento aguas arriba de la bocatoma del Canal de Desvío corresponden a las cotas 414,33 y 414,36 m s.n.m., para los casos de caudal de diseño (T=100 años) y caudal de verificación (T=200 años), respectivamente. Estos niveles fueron considerados como condición de borde en el extremo de aguas abajo del modelo hidráulico construido en HEC-RAS para la quebrada principal en el sector Muro de Protección (ver Sección 8.2.2).

8.3.4 Eje Hidráulico en Segundo Tramo del Canal de Desvío

El segundo tramo del Canal de Desvío corresponde al tramo de canal comprendido entre la caída disipadora N°1 y la N°6. De esta manera, este tramo del Canal de Desvío está compuesto por seis subtramos de distintas longitudes. La

Tabla 8-15 muestra las longitudes asociadas a cada subtramo, las cuales no incluyen la longitud de 6,0 m asociada a la poza disipadora de cada obra de caída. El eje hidráulico en el tramo de la poza

de disipación de cada obra de caída está dado por el diseño de estas obras presentado en la Sección 8.2.3 de este informe.

Tabla 8-15: Longitudes de subtramos del Canal de Desvío

Ord.	Subtramo	Longitud * (m)
1	Caída N°1 - N°2	34,50
2	Caída N°2 - N°3	95,99
3	Caída N°3 - N°4	41,00
4	Caída N°4 - N°5	73,00
5	Caída N°5 - N°6	85,50

(*): No incluye la longitud de la poza de disipación (L = 6,0 m) de cada obra de caída.

El cálculo del eje hidráulico en cada subtramo se realiza mediante el método del paso directo, desde aguas abajo hacia aguas arriba, considerando altura crítica como condición de borde en el extremo de aguas abajo. Se considera una sección trapezoidal de 0,5 m de base y taludes H:V=1,5:1, una pendiente longitudinal de 0,5% y un coeficiente de Manning de 0,025 (canal excavado en suelo, sin revestir). La Tabla 8-16 y

Tabla 8-17 presentan los resultados obtenidos.

Tabla 8-16: Eje hidráulico en obra de captación del Canal de Desvío – Q Diseño = 1,11 m³/s

h (m)	T (m)	A (m²)	P (m)	R _h (m)	n (-)	J (-)	E (m)	ΔX (m)	X (m)	V (m/s)	F (-)
0,504	2,01	0,63	2,32	0,27	0,0250	0,01089	0,66	0,00	0,00	1,76	1,00
0,514	2,04	0,65	2,36	0,28	0,0250	0,00992	0,66	0,08	0,08	1,70	0,96
0,525	2,08	0,68	2,39	0,28	0,0250	0,00906	0,66	0,30	0,38	1,64	0,92
0,536	2,11	0,70	2,43	0,29	0,0250	0,00829	0,66	0,58	0,96	1,59	0,88
0,547	2,14	0,72	2,47	0,29	0,0250	0,00759	0,67	0,96	1,92	1,54	0,84
0,558	2,17	0,75	2,51	0,30	0,0250	0,00696	0,67	1,52	3,44	1,49	0,81
0,569	2,21	0,77	2,55	0,30	0,0250	0,00640	0,68	2,41	5,84	1,44	0,78
0,580	2,24	0,80	2,59	0,31	0,0250	0,00589	0,68	4,00	9,84	1,40	0,75
0,591	2,27	0,82	2,63	0,31	0,0250	0,00542	0,68	7,71	17,55	1,35	0,72
0,602	2,31	0,84	2,67	0,32	0,0250	0,00500	0,69	25,68	43,22	1,31	0,69

Tabla 8-17: Eje hidráulico en obra de captación del Canal de Desvío – Q Verificación = 1,27 m³/s

h (m)	T (m)	A (m²)	P (m)	R _h (m)	n (-)	J (-)	E (m)	ΔX (m)	X (m)	V (m/s)	F (-)
0,538	2,11	0,70	2,44	0,29	0,0250	0,01071	0,70	0,00	0,00	1,81	1,00
0,549	2,15	0,73	2,48	0,29	0,0250	0,00979	0,70	0,09	0,09	1,75	0,96

h (m)	T (m)	A (m ²)	P (m)	R _h (m)	n (-)	J (-)	E (m)	ΔX (m)	X (m)	V (m/s)	F (-)
0,561	2,18	0,75	2,52	0,30	0,0250	0,00895	0,71	0,31	0,40	1,69	0,92
0,572	2,22	0,78	2,56	0,30	0,0250	0,00820	0,71	0,60	0,99	1,63	0,88
0,583	2,25	0,80	2,60	0,31	0,0250	0,00753	0,71	1,00	1,99	1,58	0,85
0,595	2,28	0,83	2,64	0,31	0,0250	0,00692	0,71	1,58	3,58	1,53	0,81
0,606	2,32	0,85	2,69	0,32	0,0250	0,00637	0,72	2,50	6,08	1,49	0,78
0,617	2,35	0,88	2,73	0,32	0,0250	0,00587	0,72	4,16	10,24	1,44	0,75
0,629	2,39	0,91	2,77	0,33	0,0250	0,00542	0,73	8,02	18,26	1,40	0,73
0,640	2,42	0,93	2,81	0,33	0,0250	0,00500	0,73	26,71	44,97	1,36	0,70

Los resultados de la Tabla 8-16 y

Tabla 8-17 abarcan hasta una longitud de 43,22 m y 44,97 m, respectivamente. Estas distancias corresponden a la distancia necesaria para alcanzar la altura normal de escurrimiento asociada a cada caudal. En el caso de los tramos de longitud menor a los límites recién indicados (subtramos 1 y 3 de la

Tabla 8-15), el eje hidráulico se puede obtener mediante interpolación lineal de los valores presentados en la Tabla 8-16 y

Tabla 8-17. En el caso de los tramos de longitud mayor a los límites indicados (subtramos 2, 4 y 5 de la

Tabla 8-15), la profundidad de escurrimiento más allá de estos límites es igual a la profundidad normal de escurrimiento (0,60 y 0,64 m para Q T=100 años y Q T=200 años, respectivamente).

En la Tabla 8-16 se puede observar que para la condición de caudal de diseño se obtienen velocidades mayores a la velocidad límite que produce erosión ($V_{\text{Límite}} = 1,35 \text{ m/s}$, según se determinó al inicio de la Sección 8.3) en una distancia cercana a 17,6 m aguas arriba de la sección de caída. Debido a esto se considerará una protección de enrocado suelto en una distancia de 20 m aguas arriba de cada caída.

8.3.5 Eje Hidráulico en Tercer Tramo del Canal de Desvío

El tercer tramo del Canal de Desvío corresponde al comprendido entre la caída disipadora N°6 y el punto de restitución del canal, el cual tiene una longitud de 204,0 m, incluida la longitud de la poza disipadora de la obra de caída N°6 ($L = 6,0 \text{ m}$).

El comportamiento hidráulico de los escurrimientos en este tramo se estudió mediante un modelo computacional construido con el software HEC-RAS, desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers. La base topográfica fue generada mediante el software CIVIL 3D.

Este modelo consideró el último tramo del Canal de Desvío y se extendió 100 m aguas abajo del punto de restitución de las aguas.

Las condiciones de borde aplicadas al modelo corresponden a la altura normal, tanto en el extremo de aguas abajo como en el de aguas arriba. La Tabla 8-18 muestra las condiciones de borde utilizadas.

En la Figura 8-12 se muestran vistas 3D del modelo hidráulico generado.

Tabla 8-18: Condiciones de Borde en Modelo Hidráulico Tramo Final Canal de Desvío

Condiciones de Borde	
Aguas Arriba	Aguas Abajo
Altura Normal $S=0,005$ m/m	Altura Normal $S=0,013$ m/m

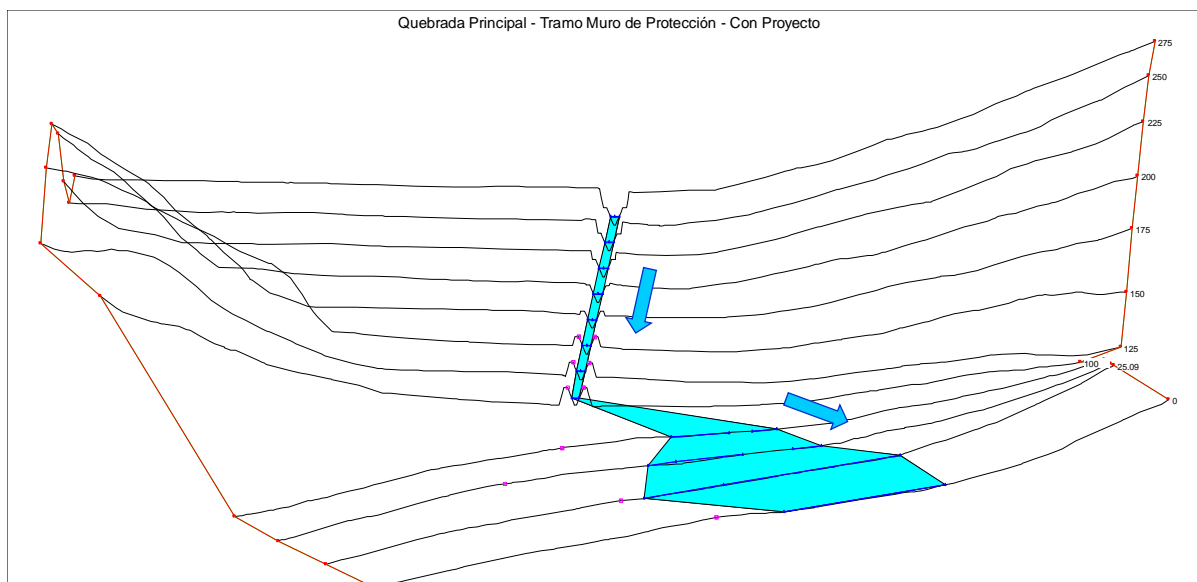


Figura 8-12: Modelo Hidráulico – Canal de Contorno Superior

Mediante el modelo hidráulico elaborado para el Canal de Desvío se obtuvieron perfiles de elevaciones, velocidad y profundidades de escurrimiento.

La Figura 8-13, Figura 8-14 y Figura 8-15 muestran los perfiles de elevaciones de flujo, velocidades, y profundidades, respectivamente.

De la Figura 8-14 se puede observar que en torno a la sección de término del Canal de Desvío se presentan velocidades mayores a la velocidad límite que produce erosión ($V_{\text{Límite}} = 1,35$ m/s, según se estimó al inicio de la Sección 8.3). Este aumento de velocidad es inducido por el cambio de pendientes que ocurre al pasar desde el Canal de Desvío a la quebrada, lo cual fuerza la ocurrencia de altura crítica en la sección de descarga del canal. A fin de proteger la integridad del Canal de Desvío en su sector de término, se considerará un enrocado de protección en sus últimos 20 m, las cuales se dimensionan más adelante en la Sección 8.3.6

En el **Anexo 6** se presentan los resultados obtenidos mediante el modelo hidráulico elaborado en HEC-RAS para el Canal de Desvío.

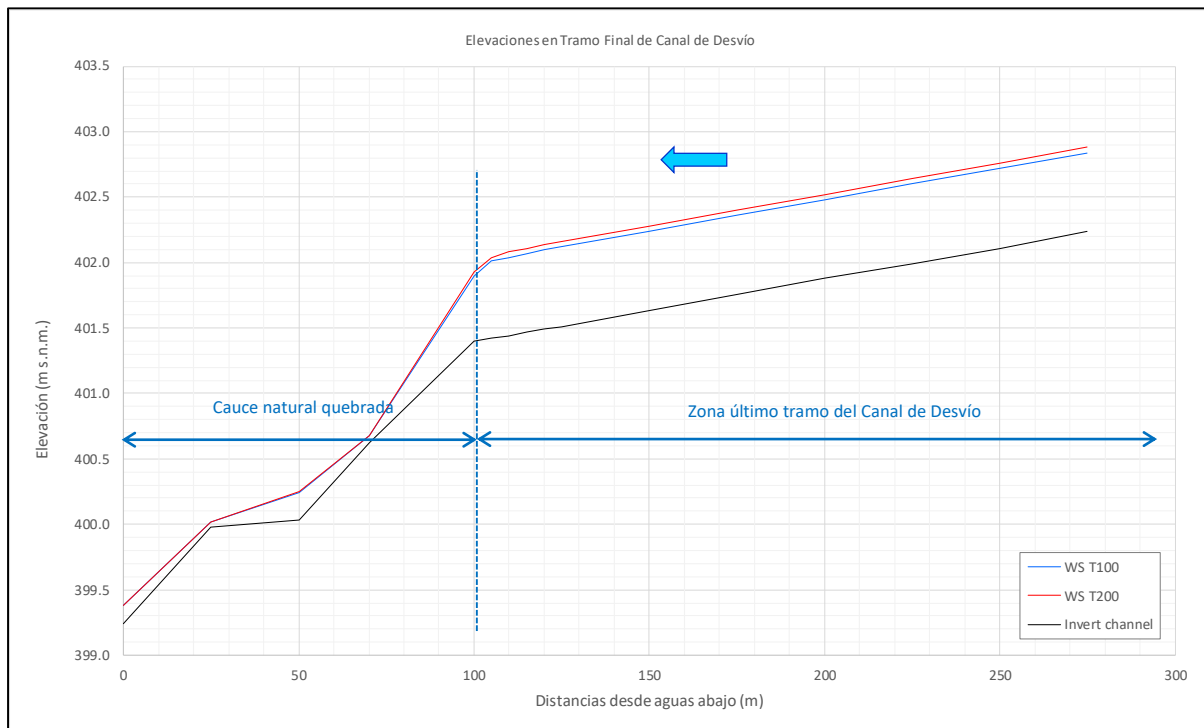
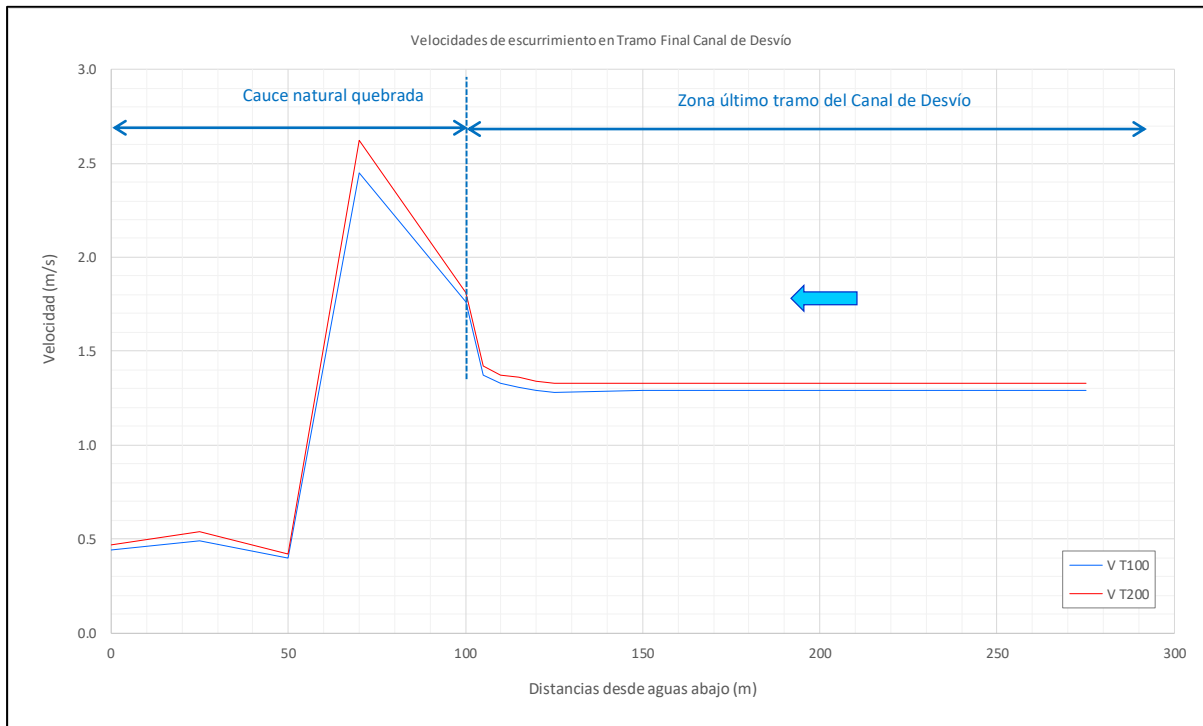
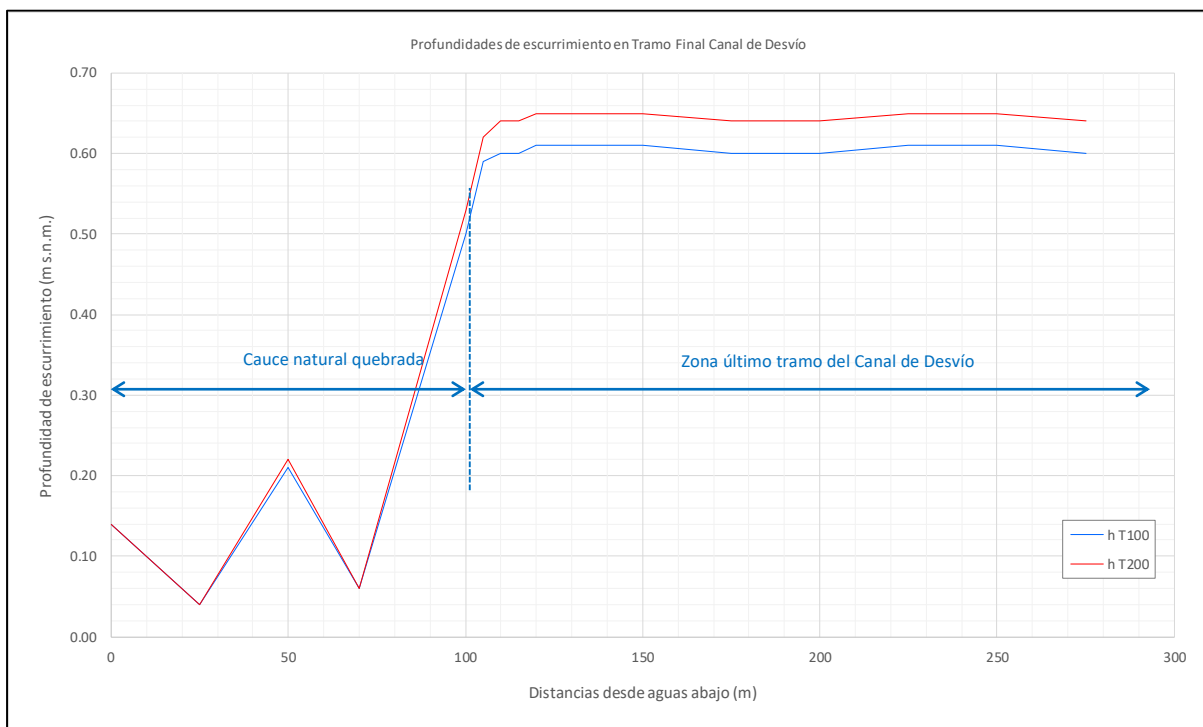


Figura 8-13: Canal de Desvío – Perfil Elevaciones de Flujo T=100 y T=200 años

**Figura 8-14: Canal de Desvío – Perfil Velocidades de Flujo T=100 y T=200 años****Figura 8-15: Canal de Desvío – Perfil Profundidades de Flujo T=100 y T=200 años**

8.3.6 Protecciones de Enrocado en el Canal de Desvío

Con base en el cálculo de ejes hidráulicos en el Canal de Desvío presentado en las Secciones 8.3.4 y 8.3.5, se ha determinado la necesidad de proteger una longitud de 20 m aguas arriba de cada una de las obras de caída N°2 a la N°6 y también aguas arriba de la sección de descarga del canal.

A continuación, se presenta el cálculo de las protecciones de enrocado para el fondo y para los taludes del canal, y se estima la profundidad de socavación a fin de definir la profundidad del diente al inicio de cada protección, y también al término, para el caso de la protección de enrocados al término del Canal de Desvío. Las evaluaciones se hacen considerando el caudal de diseño ($T = 100$ años).

La protección de enrocados en el fondo del canal se determina utilizando la expresión Isbach mientras que la protección en taludes se realiza mediante la expresión de la California Highway Division (EEUU), según se indica en el Manual de Carreteras Volumen 3. Para el dimensionamiento de los enrocados se consideran las condiciones de flujo en la sección donde ocurre la altura crítica, la cual corresponde a la sección más desfavorable. La Tabla 8-19 muestra un resumen del dimensionamiento de ambos enrocados.

La socavación general se estima mediante los métodos de Neill y Lischtván-Levediev, indicados ambos en el Manual de Carreteras Vol. 3. La evaluación se realiza considerando las características del flujo obtenidas a una distancia aproximada de 20 m aguas arriba de la sección de altura crítica a fin de definir la profundidad del diente al inicio de la protección de enrocados; en el caso de la protección al final del Canal de Desvío, la evaluación de la socavación también se realiza en la sección de altura crítica a fin de determinar la profundidad del diente al término de la protección de enrocado. En ambos casos se consideran las características granulométricas del suelo ($D_{50} = 2,31$ mm). En la Tabla 8-20 se presenta un resumen de las profundidades de socavación obtenidas.

Tabla 8-19: Cálculo de enrocados de protección en el Canal de Desvío ($T = 100$ años)

DIMENSIONAMIENTO DE ENROCADOS

Sección h_{crítica}		
γ _s [ton/m3] =	2.65	Peso específico enrocado
γ _w [ton/m3] =	1.00	Peso específico agua
φ [°] =	67	Ángulo reposo enrocado dispuesto en forma trabada
V:H = 1:	1.50	Talud muro de enrocado
V [m/s] =	1.76	Velocidad media del flujo en sección más desfavorable
i [m/m] =	0.005	Pendiente longitudinal del lecho
s =	2.65	Peso relativo al agua
θ [°] =	33.7	Inclinación talud

California Highway Division (EEUU): (Protección en taludes)		Isbach: (Protección en el fondo)	
$W = \frac{0,0113 \cdot s \cdot V^6}{\left[(s - 1) \cdot \text{sen}(\phi - \theta) \right]^3}$		$D_R = 1.000 \frac{V_R^2}{2g \cdot 1,44(s - 1) \cos \theta}$	
W [Kg] =	1.2	W [Kg] =	0.4
W [Ton] =	0.0012	W [Ton] =	0.0004
Vol [m3] =	0.0005	Vol [m3] =	0.0002
D [m] =	0.095	D [m] =	0.066
D [mm] =	95.2	D [mm] =	66.4

Tabla 8-20: Socavación general máxima estimada en torno a protecciones de enrocado en el Canal de Desvío (T = 100 años)

Distancia aguas arriba de la sección de caída	Metodología	
	Neill (m)	Lisch-Lev (m)
X = 0 m	1,10	0,79
X ~ 20 m	0,91	0,63

De acuerdo con los resultados obtenidos, presentados en la Tabla 8-19 y Tabla 8-20, para las protecciones de enrocado planteadas, se requiere un diámetro nominal mínimo de aproximadamente 70 mm en el fondo y 100 mm en los taludes. La profundidad de socavación máxima alcanza a 1,10 y 0,91 m, evaluadas, respectivamente, en la sección de altura crítica y a una distancia aproximada de 20 m aguas arriba de esta.

Por lo tanto, se adopta un enrocado Clase I (diámetro nominal < 400 mm) con la distribución granulométrica indicada en la Tabla 4-1. La profundidad del diente al inicio de las protecciones de enrocado se define en 1,5 m. Para el caso de la protección al final del Canal de Desvío, se considera un diente de término de la misma profundidad (1,5 m).

En el **Anexo 8**, Apéndice C, se presentan detalles del cálculo de socavaciones.

8.3.7 Cantidades

Una vez realizados los diseños de las obras, se estimaron las cantidades (movimientos de tierra) mediante el Software Civil 3D.

La Tabla 8-21 que se presenta a continuación presenta un resumen de las cubicaciones calculadas para el proyecto.

Tabla 8-21: Resumen Cubicaciones

Elemento	Ítem		Volumen
			(m³)
Canal de Contorno Superior	Canal	Excavación	812
		Relleno	273
	Obra Encauce	Relleno	9
	Obra de Descarga	Enrocado Consolidado	5
Canal de Contorno Inferior	Canal	Excavación	1.297
		Relleno	627
	Obra Captación	Enrocado Consolidado	16
	Obra de Descarga	Enrocado Consolidado	5
Canal de Desvío	Canal	Excavación	4.545
		Relleno	352
	Caídas Disipadoras	Enrocado Consolidado	583
Muro de Protección		Excavación Localizada	3.446
		Relleno	5.766
		Enrocado de Protección	8.766

El detalle de los elementos cubicados se encuentra en los planos que se presentan en el **Anexo 9**.

9 Anexos

A la presente memoria, se adjuntan los siguientes Anexos

Anexo 1: Antecedentes legales

Anexo 2: Extracto de Publicación

Anexo 3: Informe Topográfico

Anexo 4: Especificaciones Técnicas

Anexo 5: Verificaciones

Anexo 6: Resultados Modelos Hidráulicos

Anexo 7: Estudio Hidrológico

Anexo 8: Estudio de Arrastre de Sólidos

Apéndice A: Ensayos de Laboratorio

Apéndice B: Resultados Modelos Hidráulicos

Apéndice C: Cálculo de Arrastre de Sedimentos

Anexo 9: Planos del Proyecto

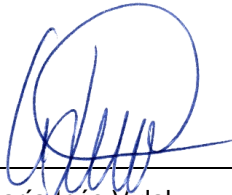
El Listado de Planos se presenta en la Tabla 9-1.

Tabla 9-1: Listado de Planos del Proyecto

Número Plano	Nombre Plano
SRK-01-2362-22-DW-001	Plano Ubicación Proyecto
SRK-01-2362-22-DW-002	Disposición General
SRK -01-2362-22-DW-003	Muro de Protección – Planta, Perfil Longitudinal Tipo y Cuadro de Cubicaciones
SRK -01-2362-22-DW-004	Canal de Desvío – Planta, Perfil Longitudinal, Perfil Tipo y Detalles
SRK -01-2362-22-DW-005	Muro de Protección y Canal de Desvío - Área Inundada para lluvia T=100 Años con Proyecto
SRK -01-2362-22-DW-006	Muro de Protección y Canal de Desvío - Nivel Aguas T=100 Años/Perfil Longitudinal Con Proyecto/Perfiles Transversales KM 0+0.00 a KM 1+600
SRK -01-2362-22-DW-007	Muro de Protección y Canal de Desvío - Nivel Aguas T=100 años/ Perfil Longitudinal Con Proyecto/Perfiles Transversales KM 1+700 a KM 2+200
SRK -01-2362-22-DW-008	Muro de Protección y Canal de Desvío – Área Inundada para Lluvia T=200 Años Con Proyecto
SRK -01-2362-22-DW-009	Muro de Protección y Canal de Desvío - Nivel Aguas T=200 años/Perfil Longitudinal con Proyecto/Perfiles Transversales KM 0+0.00 a KM 1+600.

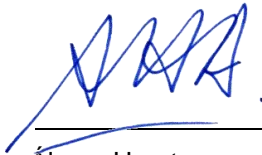
Número Plano	Nombre Plano
SRK -01-2362-22-DW-010	Muro de Protección y Canal de Desvío – Nivel de Aguas T=200 Años/Perfil Longitudinal con Proyecto/Perfiles Transversales KM 1+700 A KM 2+200
SRK -01-2362-22-DW-011	Muro de Protección y Canal de Desvío – Área Inundada para Lluvia T=100 Años sin Proyecto
SRK -01-2362-22-DW-012	Muro de Protección y Canal de Desvío – Perfil Longitudinal y Perfiles Transversales KM 0+000 A KM 1+700, Inundación T=100 Años sin Proyecto
SRK -01-2362-22-DW-013	Muro de Protección y Canal de Desvío – Perfil Longitudinal y Perfiles Transversales KM 1+800 a KM 2+200, Inundación T=100 Años sin Proyecto
SRK -01-2362-22-DW-014	Muro de Protección y Canal de Desvío – Área Inundada T=200 Años sin Proyecto
SRK -01-2362-22-DW-015	Muro de Protección y Canal de Desvío – Perfil Longitudinal y Perfiles Transversales KM 0+000 A KM 1+700, Inundación T=200 Años sin Proyecto
SRK -01-2362-22-DW-016	Muro de Protección y Canal de Desvío – Perfil Longitudinal y perfiles Transversales KM 1+800 A KM 2+200, Inundación T=200 Años sin Proyecto
SRK -01-2362-22-DW-017	Canal de Contorno Superior - Planta
SRK -01-2362-22-DW-018	Canal de Contorno Superior - Perfil Longitudinal, Sección Tipo, Obra de Entrega - Encauce
SRK -01-2362-22-DW-019	Canal de Contorno Superior – Planta y Perfil Longitudinal sin Proyecto
SRK -01-2362-22-DW-020	Canal de Contorno Superior – Perfiles Transversales Eje sin Proyecto
SRK -01-2362-22-DW-021	Canal de Contorno Superior – Planta y Perfil Longitudinal con Proyecto
SRK -01-2362-22-DW-022	Canal de Contorno Superior – Perfiles Transversales, Eje con Proyecto
SRK -01-2362-22-DW-023	Canal de Contorno Inferior - Planta
SRK -01-2362-22-DW-024	Canal de Contorno Inferior - Perfil Longitudinal Sección Tipo, Obra de Captación y de Entrega
SRK -01-2362-22-DW-025	Canal de Contorno Inferior - Planta y Perfil Longitudinal, Eje sin Proyecto
SRK -01-2362-22-DW-026	Canal de Contorno Inferior - Perfiles Transversales, Eje sin Proyecto
SRK -01-2362-22-DW-027	Canal de Contorno Inferior – Planta Eje con Proyecto
SRK -01-2362-22-DW-028	Canal de Contorno Inferior - Perfil Longitudinal, Eje con Proyecto
SRK -01-2362-22-DW-029	Canal de Contorno Inferior - Perfiles Transversales, Eje con Proyecto Lámina 1 de 2

Número Plano	Nombre Plano
SRK -01-2362-22-DW-030	Canal de Contorno Inferior - Perfil Transversales, Eje con Proyecto Lámina 2 de 2

Compilado por

María Inés Vidal

Jefe Área Medio Ambiente y Permisos

Revisado por

Álvaro Huerta

Jefe Grupo Geotecnia-Relaves

Todos los datos utilizados como material principal, además del texto, tablas, figuras y adjuntos de este documento han sido revisados y preparados conforme a los estándares profesionales de ingeniería y medio ambiente normalmente aceptados.

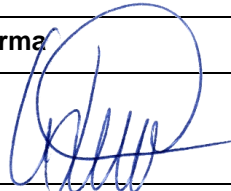
SRK Registro de Distribución

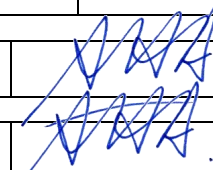
No. de Informe

Revisión

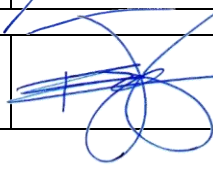
Emitido Para

No. de Copia

Nombre/Cargo	Empresa	Copia(s)	Fecha	Compilado por	Firma
C. Masson	CAP	Digital	24-04-2018	M.I. Vidal	
Archivo	SRK	1	24-04-2018	M.I. Vidal	

Revisión Técnica: 

Jefe de Área:

Firma de Aprobación para envío a Cliente: 

Este informe está protegido por derecho de autor por parte de SRK Consulting. Prohibida su reproducción o transmisión en cualquier forma o por cualquier medio a cualquier persona sin previa autorización escrita de SRK Consulting.

Control de Cambios

No. de Proyecto

No. de Copia

Fecha	Rev	Cambio(s)	Elaborado por	Firma

Firma de Aprobación: