

#### 4.3.2 Escurrimiento por quebradas

Las condiciones de escurrimiento por las quebradas se calculan utilizando la fórmula de Manning.

$$Q = \frac{1}{n} \cdot \Omega \cdot Rh^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

Donde:

n: Número de Manning

$\Omega$ : Área de la sección [m<sup>2</sup>]

Rh: Radio hidráulico [m]

i: Pendiente longitudinal de la quebrada

El número de Manning considerado para las quebradas es de 0,05, considerando que se trata de corrientes montañosas sin vegetación en el canal con el fondo con cantos rodados y rocas (Ref. 1).

La sección de las quebradas se puede asimilar a un canal trapecial con las siguientes características.

**Tabla 4.2. Características quebradas afluentes**

VARIABLE	UNIDADES	VALOR
<b>Quebrada I</b>		
Caudal de escurrimiento	[m <sup>3</sup> /s]	0,9
Ancho de quebrada	[m]	8
Talud lateral	[V:H]	1:2
Pendiente longitudinal	[-]	0,36
<b>Quebrada II</b>		
Caudal de escurrimiento	[m <sup>3</sup> /s]	2,1
Ancho de quebrada	[m]	6
Talud lateral	[V:H]	1:3,5
Pendiente longitudinal	[-]	0,19

Con estas consideraciones las condiciones hidráulicas por las quebradas, antes de ser captadas, son las que se presentan en la *Tabla 4.3*.

Tabla 4.3. Escurrimiento en las quebradas

VARIABLE	UNIDADES	VALOR
<b>Quebrada I</b>		
Caudal de escurrimiento	[m <sup>3</sup> /s]	0,9
Altura de escurrimiento	[m]	0,06
Área de escurrimiento	[m <sup>2</sup> ]	0,5
Ancho superficial	[m]	8,2
Velocidad de escurrimiento normal	[m/s]	1,8
Número de Froude	[ - ]	2,4
<b>Quebrada II</b>		
Caudal de escurrimiento	[m <sup>3</sup> /s]	2,1
Altura de escurrimiento	[m]	0,1
Área de escurrimiento	[m <sup>2</sup> ]	0,9
Ancho superficial	[m]	7,0
Velocidad de escurrimiento normal	[m/s]	2,3
Número de Froude	[ - ]	1,9

#### 4.4 CANAL DE DESVIO

Debido a que el canal recibe el aporte de dos quebradas en distintos puntos, éste se divide en dos tramos de manera de tener una sección de canal acorde al caudal conducido. El canal en el primer tramo tendrá una sección trapezoidal de 1,2 x 0,8 (b x h) con taludes homogéneos de 1:05 (V:H), mientras que en el segundo tramo, donde el caudal aumenta a 3,0 m<sup>3</sup>/s, el canal tendrá una sección de trapezoidal de 1,8 x 1,3 (b x h) con taludes homogéneos. Ambas secciones se ilustran en la Figura 4.3.

Figura 4.3. Sección Típica Canales de Desvío



La pendiente longitudinal del canal es de 0,25%, que es la mínima recomendada para canales longitudinales no revestidos según Ref. 2.

Las condiciones de escurrimiento por el canal de desvío, se calculan utilizando la fórmula de Manning mencionada anteriormente. El número de Manning adoptado en el canal de desvío

es de 0,028, considerando que el canal es excavado con pala o dragado y sin vegetación (Ref. 1).

Para ambos tramos se definen las siguientes características de escurrimiento:

<b>Tramo I (L = 1,1 km)</b>	<b>Normal</b>	<b>Crítica</b>
Altura del agua (m)	0,64	0,37
Area Hidráulica (m <sup>2</sup> )	0,98	0,51
Espejo de Agua (m)	1,84	1,57
Perímetro Mojado (m)	2,63	2,02
Radio Hidráulico (m)	0,37	0,25
Velocidad (m/s)	0,92	1,78
Energía Específica (m)	0,69	0,53
Número de Froude (-)	0,40	1,00

<b>Tramo II (L = 0,5 km)</b>	<b>Normal</b>	<b>Crítica</b>
Altura del agua (m)	1,04	0,62
Area Hidráulica (m <sup>2</sup> )	2,41	1,30
Espejo de Agua (m)	2,84	2,42
Perímetro Mojado (m)	4,12	3,18
Radio Hidráulico (m)	0,58	0,41
Velocidad (m/s)	1,25	2,30
Energía Específica (m)	1,12	0,89
Número de Froude (-)	0,43	1,00

El escurrimiento con estas características es subcrítico, debido a que el número de Froude es menor a 1.

La razón entre la energía específica del escurrimiento normal y el crítico para ambos tramos corresponde a:

$$\frac{E_n}{E_c} \Big|_{\text{Tramo I}} = 1,3 > 1,1$$

$$\frac{E_n}{E_c} \Big|_{\text{Tramo II}} = 1,26 > 1,1$$

Según la Ref. 2 se recomienda una velocidad máxima de 2,0 m/s para evitar la erosión y socavación en canales no revestidos, en que el material que se encuentre sea asimilable entre arcilla y grava, como es el caso de este sector.

La revancha de este canal se establece como el 15% de la altura normal, de esta forma se tiene:

Tramo	Altura Normal (m)	Alt. Normal + Revancha (m)	Altura de Muro Adoptada
I	0,64	0,736	0,80
II	1,04	1,196	1,30

Según estos cálculos, el canal tiene que tener una altura suficiente para poder conducir el caudal para los 100 años de período de retorno sin riesgos de desborde.

El trazado del canal de desvío deberá adaptarse a la topografía de la zona, por lo cual su trazado en planta deberá necesariamente contemplar curvas horizontales. En las curvas de un canal el agua se sobreeleva por el talud exterior de la curva disminuyendo la revancha hidráulica. Para garantizar revanchas aceptables en flujos subcríticos (Froude < 1) el radio de curvatura mínimo está dado por:

$$R_{min} = 3 \cdot l$$

Donde:

l: Espejo de agua [m]

Bajo esta consideración, el radio de curvatura mínimo para este canal corresponde a 5,52 m para el Tramo I y 8,52 para el Tramo II, adoptándose para toda la extensión del canal un valor de 10 m.

Para el cálculo de la sobreelevación del canal en las zonas de curvas, se utilizará la fórmula propuesta por Woodward y Posey y que se indica en la Ref. 6:

$$\Delta y = C \cdot \frac{v^2 l}{gr}$$

Donde:

$\Delta y$ : Sobreelevación del agua producto de la curvatura del canal [m]

C: Coeficiente según tipo de flujo y curvatura = 0,5 (Flujo subcrítico y curvatura circular)

v: Velocidad media del canal [m/s]

l: Ancho del canal [m]

g: Aceleración de gravedad [m/s<sup>2</sup>]

r: Radio de curvatura del canal [m]

Reemplazando los datos de escurrimiento del canal, se verifica que la sobreelevación producto de las curvas presentes en el trazado corresponde a menos de un centímetro para el Tramo I y 2 cm para el Tramo II.

Tomando la relación en forma inversa se establece que el radio de curvatura del canal debiera ser menor a 0,5 m para el Tramo I y 0,9 m para el Tramo II, de forma que la revancha considerada sea sobrepasada por un efecto de sobreelevación.

#### 4.5 RESTITUCIÓN A QUEBRADA COLORADITO

El canal de desvío de las quebradas afluentes a la quebrada Coloradito conduce las aguas y la descarga aguas arriba del muro de desvío en la cota 1558 msnm.

Debido a la presencia de roca y a las bajas velocidades en la salida del canal, no habrá necesidad de proyectar obras de disipación. Sin embargo, para tomar mayores resguardos se dispondrá de una protección local de enrocados con las características que se definen a continuación.

El tamaño mínimo del enrocado utilizado en la protección se estima utilizando la fórmula de Neill, que calcula la velocidad crítica para la que se produzca la condición de arrastre ( $Fr > Fr_c$ ):

$$Fr_c = 1,81 \cdot \left(\frac{h}{d}\right)^{-0,33}$$

donde:

h: Altura de escurrimiento en la sección [m]

d: Diámetro representativo del sedimento [m]

Fr: Número de Froude =  $\frac{v}{\sqrt{g \cdot h}}$  [-]

Reemplazando los valores de escurrimiento en la fórmula de Neill, se estima un diámetro mínimo de enrocado para que no se produzca arrastre de 0,014 m. Se adopta un diámetro de 0,10 m de manera de tener una seguridad adicional.

El agua proveniente de las quebradas desviadas se junta con el agua de la quebrada Coloradito y se conducen por el canal de desvío hasta su descarga a la quebrada Rajo y finalmente hasta la quebrada Puquios.

## 5 CONCLUSIONES

El diseño del canal de desvío permite el desvío del agua proveniente de dos quebradas afluentes a la quebrada Coloradito para un período de retorno de 100 años, lo que asegura que éstas no interfieran con las pilas de lixiviación durante la operación de la mina.

El desvío de estas quebradas se realiza mediante un canal trapecial excavado en suelo al costado de un camino de servicio que comienza en la quebrada I y que continúa por 1,6 Km hasta su descarga aguas arriba del muro de desvío en la cota 1558 msnm.

La captación del agua proveniente de las quebradas se realiza por medio de un muro de gaviones transversal al lecho de la quebrada, lo que permite que se detenga el flujo y queden retenidas las piedras antes de su ingreso al canal de desvío.

Debido a que el canal tiene dos aportes puntuales mayores, al comienzo tendrá una sección de 1,2 x 0,8 (b x h) con taludes homogéneos de 1:0,5 (V:H) para conducir 0,9 m<sup>3</sup>/s provenientes de la quebrada I y después se agranda a 1,8 x 1,3 (b x h) con taludes homogéneos de 1:0,5 (V:H) para conducir el aporte de la quebrada II lo que totaliza un caudal de 3,0 m<sup>3</sup>/s.

La pendiente longitudinal del canal es de 0,25%, lo que permite entregar aguas arriba del muro de desvío de la quebrada Coloradito y a la vez captar la mayor cantidad de agua proveniente de las quebradas I y II. Esta pendiente longitudinal cumple con las recomendaciones mínimas de la Ref. 2.

Con los criterios adoptados para el canal de desvío, se obtienen velocidades de aproximadamente 1,2 m/s para un caudal de 3,0 m<sup>3</sup>/s, lo que permite que el agua escurra por el canal excavado sin que se erosione según recomendaciones de la Ref. 2.

Finalmente la restitución a la quebrada se realiza directamente sin obra de disipación adicional debido a las bajas velocidades con las cuales se diseña el canal. Sin embargo, para tomar mayores resguardos se dispondrá de una protección local de enrocados.

0437

**TOMMY S.A.**

**PROYECTO PUQUIOS  
DISEÑO PILA DE LIXIVIACIÓN  
INGENIERÍA BÁSICA AVANZADA**

**Informe Técnico N° 911-3700-HI-MC-002**

**MEMORIA DE CALCULO HIDRAULICO  
DESVIO QUEBRADAS AFLUENTES A QUEBRADA COLORADITO**

**ARCADIS Geotécnica**  
Eliodoro Yañez 1893  
Providencia, Santiago

APROB. CLIENTE: \_\_\_\_\_  
FECHA: \_\_\_\_\_

**Preparado para Tommy S.A**

REV.	FECHA	POR	REV.	APROB.	DESCRIPCION
A	08/07/08	IDZ	FEA/CGM	RLD	Coordinación Interna
B	10/07/08	IDZ	FEA/CGM	RLD	
C	07/08/08	KLA	CGM/JIN	RLD	

T:\proyectos\_abiertos\3325 diseno pilas lix puquios\Documentos\04 3700 desvio coloradito\Entrega final\5100\911-3700-HI-MC-002-C.doc

PROYECTO PUQUIOS  
DISEÑO PILAS DE LIXIVIACIÓN  
INGENIERÍA BÁSICA AVANZADA

MEMORIA DE CALCULO HIDRAULICO  
DESVIO QUEBRADAS AFLUENTES

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN .....	3
2	OBJETIVO Y ALCANCE.....	3
3	REFERENCIAS .....	3
4	METODOLOGIA .....	4
4.1	GENERALIDADES.....	4
4.2	CAUDALES APORTANTES .....	5
4.3	QUEBRADAS AFLUENTES .....	6
4.3.1	Generalidades.....	6
4.3.2	Escurrimiento por quebradas .....	7
4.4	CANAL DE DESVIO.....	8
4.5	RESTITUCIÓN A QUEBRADA COLORADITO .....	10
5	CONCLUSIONES .....	11

## 1 INTRODUCCIÓN

El proyecto Puquios corresponde a la evaluación de un plan minero realizado por Tommy S.A. que tiene como objetivo el procesamiento y obtención de mineral cobre por medio de lixiviación, buscando obtener el aprovechamiento del yacimiento en 8 años.

El proyecto minero contempla la disposición del mineral en pilas de lixiviación en el cauce de la quebrada Coloradito, por lo que es necesario el desvío de la quebrada junto a las quebradas afluentes de manera que el agua no interfiera con las pilas.

Se contempla por un lado el desvío de la quebrada Coloradito mediante un muro de gaviones en el cauce de la quebrada, que detiene el agua y la conduce por medio de un canal de desvío hasta que descarga a la quebrada Rajo y finalmente a la quebrada Puquios.

Debido a que aguas abajo del muro de desvío existen dos quebradas en la ladera Norte, éstas tendrán que ser captadas y desviadas hasta donde está contemplado el muro de desvío de la quebrada Coloradito. De esta manera el agua de estas quebradas se conducirá hasta la quebrada rajo y posteriormente a la quebrada Puquios, junto al agua desviada de la quebrada Coloradito.

## 2 OBJETIVO Y ALCANCE

El objetivo del presente documento es entregar el diseño hidráulico del desvío de las quebradas afluentes a Coloradito, con el propósito que no interfiera con las pilas de lixiviación que se proyectan sobre su cauce.

El desvío de estas quebradas se realizará durante el período de operación de la mina, por lo que por exigencias de Tommy S.A se considera para diseño el desvío del caudal asociado a un período de retorno de 100 años.

En particular este documento aborda el diseño de los canales que desvían los cursos de quebradas menores que fluyen a la quebrada Coloradito aguas abajo del muro que desvía dicha quebrada.

## 3 REFERENCIAS

Los siguientes documentos fueron considerados como referencias para la elaboración del presente informe:

- Ref. 1: Ven Te Chow (Marzo 2004). "Hidráulica de canales abiertos",
- Ref. 2: Ministerio de Obras Públicas (Junio 2002). "Manual de Carreteras",
- Ref. 3: CPH Consultores Ltda. (Abril 2008). "Informe técnico de crecidas Quebrada Coloradito"
- Ref. 4: ARCADIS Geotécnica (Julio 2008). "Memoria de cálculo hidráulico canal de desvío Quebrada Coloradito, 911-3700-HI-MC-001"
- Ref. 5: ARCADIS Geotécnica (Julio 2008). "Plano desvío quebradas afluentes, 911-3700-HI-PL-003".

- Ref. 6: US Army Corps of Engineers (Julio 1991). "Hydraulic Design of Flood Control Channels"

#### 4 METODOLOGIA

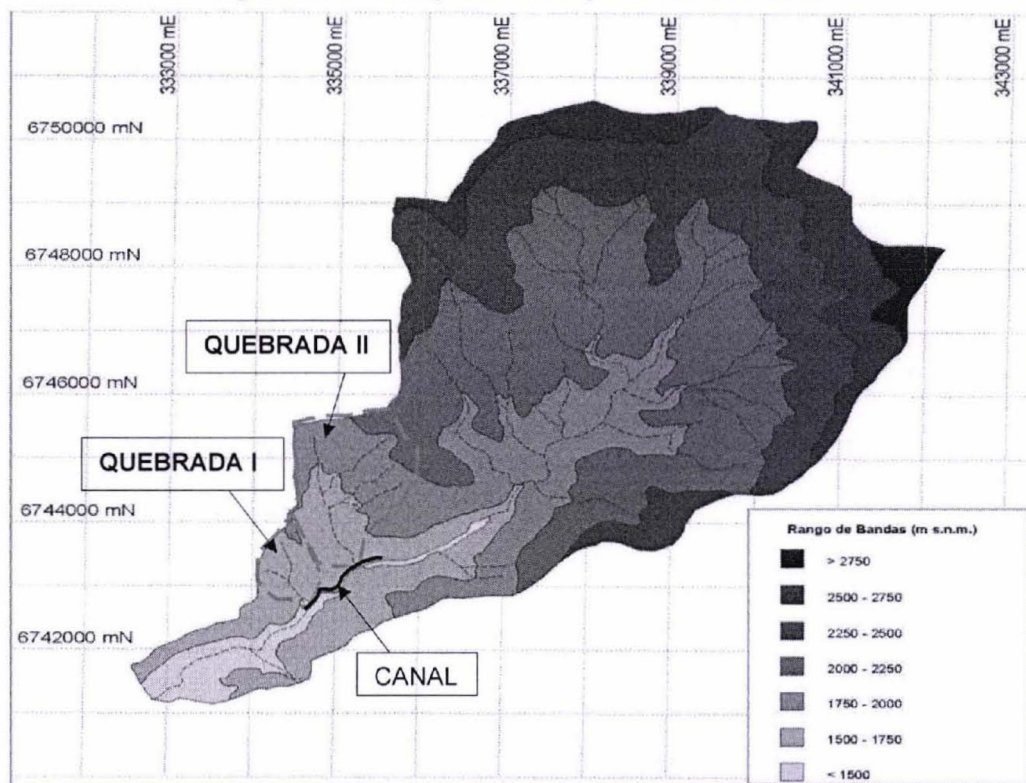
##### 4.1 GENERALIDADES

El desvío de las quebradas afluentes a la quebrada Coloradito, aguas abajo del muro de desvío, se diseña considerando un período de retorno de 100 años.

Los elementos que constituyen el sistema de desvío de las quebradas, son: unos muros de gaviones dispuestos transversales en las quebradas y un canal trapecial excavado en suelo al costado de una plataforma. Este canal comienza en la quebrada I (Ver *Figura 4.1*) y termina aguas abajo del muro de desvío de la quebrada Coloradito.

Las cuencas de las quebradas se obtuvieron de la topografía del sector en estudio, y son la que se presentan en la *Figura 4.1*.

**Figura 4.1. Áreas aportantes a quebrada Coloradito**



Referencia: Informe técnico de crecidas Quebrada Coloradito. CPH Consultores

La disposición y detalles de las obras de desvío de las quebradas afluentes, se muestran en el plano 911-3700-HI-PL-003.

#### 4.2 CAUDALES APORTANTES

El caudal de las quebradas I y II se calcula utilizando transposición de cuencas, mediante la expresión siguiente:

$$\frac{Q_I}{A_I \cdot P_I} = \frac{Q_{II}}{A_{II} \cdot P_{II}} = \frac{Q_T}{A_T \cdot P_T}$$

Donde:

$Q_I$ : Caudal de las quebrada I [ $m^3/s$ ]

$A_I$ : Área de las quebrada I [ $km^2$ ]

$P_I$ : Precipitación media de la quebrada I [mm]

$Q_{II}$ : Caudal de las quebrada II [ $m^3/s$ ]

$A_{II}$ : Área de las quebrada II [ $km^2$ ]

$P_{II}$ : Precipitación media de la quebrada II [mm]

$Q_T$ : Caudal de la cuenca total de la quebrada Coloradito =  $55 m^3/s$  (T=100 años)

$A_T$ : Área de la cuenca total de la quebrada Coloradito =  $43 Km^2$

$P_T$ : Precipitación media de la cuenca total de la quebrada Coloradito [mm]

La precipitación media de la cuenca total de la quebrada Coloradito, se calcula mediante la siguiente sumatoria:

$$P_m = \frac{\sum P_i \cdot A_i}{\sum A_i}$$

Donde:

$P_i$ : Precipitación por banda [mm]

$A_i$ : Área de cada banda [ $km^2$ ]

Con esta expresión se obtiene que la precipitación media de la cuenca de la quebrada Coloradito, es de 183 mm.

Aplicando la expresión de transposición de caudales, y considerando las precipitaciones medias de la Ref. 3 para ambas quebradas, se obtienen los resultados que se presentan en la *Tabla 4.1*.

**Tabla 4.1. Transposición de caudales a quebradas I y II**

VARIABLE	UNIDAD	VALOR
<b>Quebrada I</b>		
Área de la cuenca	[Km <sup>2</sup> ]	1,0
Precipitación media	[mm]	136
Caudal de escorrentía (T=100 años)	[m <sup>3</sup> /s]	0,9
<b>Quebrada II</b>		
Área de la cuenca	[Km <sup>2</sup> ]	2,5
Precipitación media	[mm]	120
Caudal de escorrentía (T=100 años)	[m <sup>3</sup> /s]	2,1

### 4.3 QUEBRADAS AFLUENTES

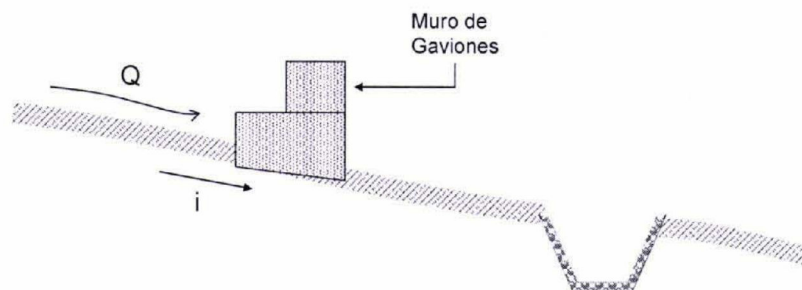
#### 4.3.1 Generalidades

El desvío del agua de las quebradas afluentes a la quebrada Coloradito se realiza mediante un canal trapecial para un caudal asociado a un período de retorno de 100 años.

El canal comienza en la quebrada I en la cota 1566 msnm y se conduce por 1,6 Km siguiendo las curvas de nivel hasta descargar en la cota 1558 msnm, aguas arriba del muro de desvío.

Se considera un muro de gaviones en cada quebrada antes del ingreso al canal de desvío, de manera de detener el flujo y encauzarla con mayor facilidad al canal. El muro además tendrá la función de impedir que piedras se depositen y obstruyan el canal, por lo que es necesaria una limpieza periódica de estas piedras.

**Figura 4.2. Sección captación de quebradas**



#### 4.3.2 Escurrimiento por quebradas

Las condiciones de escurrimiento por las quebradas se calculan utilizando la fórmula de Manning.

$$Q = \frac{1}{n} \cdot \Omega \cdot Rh^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

Donde:

n: Número de Manning

$\Omega$ : Área de la sección [m<sup>2</sup>]

Rh: Radio hidráulico [m]

i: Pendiente longitudinal de la quebrada

El número de Manning considerado para las quebradas es de 0,05, considerando que se trata de corrientes montañosas sin vegetación en el canal con el fondo con cantos rodados y rocas (Ref. 1).

La sección de las quebradas se puede asimilar a un canal trapecial con las siguientes características.

**Tabla 4.2. Características quebradas afluentes**

VARIABLE	UNIDADES	VALOR
<b>Quebrada I</b>		
Caudal de escurrimiento	[m <sup>3</sup> /s]	0,9
Ancho de quebrada	[m]	8
Talud lateral	[V:H]	1:2
Pendiente longitudinal	[-]	0,36
<b>Quebrada II</b>		
Caudal de escurrimiento	[m <sup>3</sup> /s]	2,1
Ancho de quebrada	[m]	6
Talud lateral	[V:H]	1:3,5
Pendiente longitudinal	[-]	0,19

Con estas consideraciones las condiciones hidráulicas por las quebradas, antes de ser captadas, son las que se presentan en la *Tabla 4.3*.

**Tabla 4.3. Escurrimiento en las quebradas**

VARIABLE	UNIDADES	VALOR
<b>Quebrada I</b>		
Caudal de escurrimiento	[m <sup>3</sup> /s]	0,9
Altura de escurrimiento	[m]	0,06
Área de escurrimiento	[m <sup>2</sup> ]	0,5
Ancho superficial	[m]	8,2
Velocidad de escurrimiento normal	[m/s]	1,8
Número de Froude	[ - ]	2,4
<b>Quebrada II</b>		
Caudal de escurrimiento	[m <sup>3</sup> /s]	2,1
Altura de escurrimiento	[m]	0,1
Área de escurrimiento	[m <sup>2</sup> ]	0,9
Ancho superficial	[m]	7,0
Velocidad de escurrimiento normal	[m/s]	2,3
Número de Froude	[ - ]	1,9

#### 4.4 CANAL DE DESVIO

Debido a que el canal recibe el aporte de dos quebradas en distintos puntos, éste se divide en dos tramos de manera de tener una sección de canal acorde al caudal conducido. El canal en el primer tramo tendrá una sección trapezoidal de 1,2 x 0,8 (b x h) con taludes homogéneos de 1:05 (V:H), mientras que en el segundo tramo, donde el caudal aumenta a 3,0 m<sup>3</sup>/s, el canal tendrá una sección de trapezoidal de 1,8 x 1,3 (b x h) con taludes homogéneos. Ambas secciones se ilustran en la *Figura 4.3*.

**Figura 4.3. Sección Típica Canales de Desvío**



La pendiente longitudinal del canal es de 0,25%, que es la mínima recomendada para canales longitudinales no revestidos según Ref. 2.

Las condiciones de escurrimiento por el canal de desvío, se calculan utilizando la fórmula de Manning mencionada anteriormente. El número de Manning adoptado en el canal de desvío

es de 0,028, considerando que el canal es excavado con pala o dragado y sin vegetación (Ref. 1).

Para ambos tramos se definen las siguientes características de escurrimiento:

<b>Tramo I (L = 1,1 km)</b>	<b>Normal</b>	<b>Crítica</b>
Altura del agua (m)	0,64	0,37
Area Hidráulica (m <sup>2</sup> )	0,98	0,51
Espejo de Agua (m)	1,84	1,57
Perímetro Mojado (m)	2,63	2,02
Radio Hidráulico (m)	0,37	0,25
Velocidad (m/s)	0,92	1,78
Energía Específica (m)	0,69	0,53
Número de Froude (-)	0,40	1,00

<b>Tramo II (L = 0,5 km)</b>	<b>Normal</b>	<b>Crítica</b>
Altura del agua (m)	1,04	0,62
Area Hidráulica (m <sup>2</sup> )	2,41	1,30
Espejo de Agua (m)	2,84	2,42
Perímetro Mojado (m)	4,12	3,18
Radio Hidráulico (m)	0,58	0,41
Velocidad (m/s)	1,25	2,30
Energía Específica (m)	1,12	0,89
Número de Froude (-)	0,43	1,00

El escurrimiento con estas características es subcrítico, debido a que el número de Froude es menor a 1.

La razón entre la energía específica del escurrimiento normal y el crítico para ambos tramos corresponde a:

$$\frac{E_n}{E_c} \Big|_{Tramo I} = 1,3 > 1,1$$

$$\frac{E_n}{E_c} \Big|_{Tramo II} = 1,26 > 1,1$$

Según la Ref. 2 se recomienda una velocidad máxima de 2,0 m/s para evitar la erosión y socavación en canales no revestidos, en que el material que se encuentre sea asimilable entre arcilla y grava, como es el caso de este sector.

La revancha de este canal se establece como el 15% de la altura normal, de esta forma se tiene:

Tramo	Altura Normal (m)	Alt. Normal + Revancha (m)	Altura de Muro Adoptada
I	0,64	0,736	0,80
II	1,04	1,196	1,30

Según estos cálculos, el canal tiene que tener una altura suficiente para poder conducir el caudal para los 100 años de período de retorno sin riesgos de desborde.

El trazado del canal de desvío deberá adaptarse a la topografía de la zona, por lo cual su trazado en planta deberá necesariamente contemplar curvas horizontales. En las curvas de un canal el agua se sobreeleva por el talud exterior de la curva disminuyendo la revancha hidráulica. Para garantizar revanchas aceptables en flujos subcríticos (Froude < 1) el radio de curvatura mínimo está dado por:

$$R_{min} = 3 \cdot l$$

Donde:

l: Espejo de agua [m]

Bajo esta consideración, el radio de curvatura mínimo para este canal corresponde a 5,52 m para el Tramo I y 8,52 para el Tramo II, adoptándose para toda la extensión del canal un valor de 10 m.

Para el cálculo de la sobreelevación del canal en las zonas de curvas, se utilizará la fórmula propuesta por Woodward y Posey y que se indica en la Ref. 6:

$$\Delta y = C \cdot \frac{v^2 l}{gr}$$

Donde:

$\Delta y$ : Sobreelevación del agua producto de la curvatura del canal [m]

C: Coeficiente según tipo de flujo y curvatura = 0,5 (Flujo subcrítico y curvatura circular)

v: Velocidad media del canal [m/s]

l: Ancho del canal [m]

g: Aceleración de gravedad [m/s<sup>2</sup>]

r: Radio de curvatura del canal [m]

Reemplazando los datos de escurrimiento del canal, se verifica que la sobreelevación producto de las curvas presentes en el trazado corresponde a menos de un centímetro para el Tramo I y 2 cm para el Tramo II.

Tomando la relación en forma inversa se establece que el radio de curvatura del canal debiera ser menor a 0,5 m para el Tramo I y 0,9 m para el Tramo II, de forma que la revancha considerada sea sobrepasada por un efecto de sobreelevación.

#### 4.5 RESTITUCIÓN A QUEBRADA COLORADITO

El canal de desvío de las quebradas afluentes a la quebrada Coloradito conduce las aguas y la descarga aguas arriba del muro de desvío en la cota 1558 msnm.

Debido a la presencia de roca y a las bajas velocidades en la salida del canal, no habrá necesidad de proyectar obras de disipación. Sin embargo, para tomar mayores resguardos se dispondrá de una protección local de enrocados con las características que se definen a continuación.

El tamaño mínimo del enrocado utilizado en la protección se estima utilizando la fórmula de Neill, que calcula la velocidad crítica para la que se produzca la condición de arrastre ( $Fr > Fr_c$ ):

$$Fr_c = 1,81 \cdot \left(\frac{h}{d}\right)^{-0,33}$$

donde:

h: Altura de escurrimiento en la sección [m]

d: Diámetro representativo del sedimento [m]

Fr: Número de Froude =  $\frac{v}{\sqrt{g \cdot h}}$  [-]

Reemplazando los valores de escurrimiento en la fórmula de Neill, se estima un diámetro mínimo de enrocado para que no se produzca arrastre de 0,014 m. Se adopta un diámetro de 0,10 m de manera de tener una seguridad adicional.

El agua proveniente de las quebradas desviadas se junta con el agua de la quebrada Coloradito y se conducen por el canal de desvío hasta su descarga a la quebrada Rajo y finalmente hasta la quebrada Puquios.

## 5 CONCLUSIONES

El diseño del canal de desvío permite el desvío del agua proveniente de dos quebradas afluentes a la quebrada Coloradito para un período de retorno de 100 años, lo que asegura que éstas no interfieran con las pilas de lixiviación durante la operación de la mina.

El desvío de estas quebradas se realiza mediante un canal trapecial excavado en suelo al costado de un camino de servicio que comienza en la quebrada I y que continúa por 1,6 Km hasta su descarga aguas arriba del muro de desvío en la cota 1558 msnm.

La captación del agua proveniente de las quebradas se realiza por medio de un muro de gaviones transversal al lecho de la quebrada, lo que permite que se detenga el flujo y queden retenidas las piedras antes de su ingreso al canal de desvío.

Debido a que el canal tiene dos aportes puntuales mayores, al comienzo tendrá una sección de 1,2 x 0,8 (b x h) con taludes homogéneos de 1:0,5 (V:H) para conducir 0,9 m<sup>3</sup>/s provenientes de la quebrada I y después se agranda a 1,8 x 1,3 (b x h) con taludes homogéneos de 1:0,5 (V:H) para conducir el aporte de la quebrada II lo que totaliza un caudal de 3,0 m<sup>3</sup>/s.

VTA

La pendiente longitudinal del canal es de 0,25%, lo que permite entregar aguas arriba del muro de desvío de la quebrada Coloradito y a la vez captar la mayor cantidad de agua proveniente de las quebradas I y II. Esta pendiente longitudinal cumple con las recomendaciones mínimas de la Ref. 2.

Con los criterios adoptados para el canal de desvío, se obtienen velocidades de aproximadamente 1,2 m/s para un caudal de 3,0 m<sup>3</sup>/s, lo que permite que el agua escurra por el canal excavado sin que se erosione según recomendaciones de la Ref. 2.

Finalmente la restitución a la quebrada se realiza directamente sin obra de disipación adicional debido a las bajas velocidades con las cuales se diseña el canal. Sin embargo, para tomar mayores resguardos se dispondrá de una protección local de enrocados.

0443

AIV

**TOMMY S.A.**

**PROYECTO PUQUIOS  
DISEÑO PILA DE LIXIVIACIÓN  
INGENIERÍA BÁSICA AVANZADA**

**Informe Técnico N° 911-3700-HI-MC-001**

**MEMORIA DE CALCULO HIDRAULICO  
OBRA DE TOMA**

**ARCADIS Geotécnica**  
Eliodoro Yañez 1893  
Providencia, Santiago

APROB. CLIENTE: \_\_\_\_\_  
FECHA: \_\_\_\_\_

**Preparado para Tommy S.A**

REV.	FECHA	POR	REV.	APROB.	DESCRIPCION
A	09/06/08	IDZ	FEA/JIN	RLD	Coordinación Interna
B	11/06/08	IDZ	FEA/JIN	RLD	
C	07/08/08	KLA	CGM/JIN	RLD	

VIA

**PROYECTO PUQUIOS  
DISEÑO PILAS DE LIXIVIACIÓN  
INGENIERÍA BÁSICA AVANZADA**

**MEMORIA DE CALCULO HIDRAULICO  
OBRA DE TOMA**

**CONTENIDO**

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO Y ALCANCE</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>4</b>
	4.1 GENERALIDADES.....	4
	4.2 OBRA DE TOMA.....	4
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>8</b>

## 1 INTRODUCCIÓN

El proyecto Puquios corresponde a la evaluación de un plan minero realizado por Tommy S.A. que tiene como objetivo el procesamiento y obtención de mineral cobre por medio de lixiviación, buscando obtener el aprovechamiento del yacimiento en 8 años.

El proyecto minero contempla la disposición del mineral en pilas de lixiviación en el cauce de la quebrada Coloradito, por lo que es necesario el desvío de la quebrada de manera que el agua no interfiera con las pilas.

El desvío de la quebrada se proyecta mediante un muro en el cauce que detiene el agua y la desvía por medio de un canal de 2,5 km de largo hasta su descarga a una quebrada aledaña.

## 2 OBJETIVO Y ALCANCE

El objetivo del presente documento es entregar el diseño hidráulico de las obras de toma para el desvío de la quebrada Coloradito.

El desvío de la quebrada se realizará durante el período de operación de la mina, por lo que por exigencias de Tommy S.A se considera para diseño el desvío del caudal asociado a un período de retorno de 100 años.

## 3 REFERENCIAS

Los siguientes documentos fueron considerados como referencias para la elaboración del presente informe:

- Ref. 1: Ven Te Chow (Marzo 2004). "Hidráulica de canales abiertos",
- Ref. 2: Ministerio de Obras Públicas (Junio 2002). "Manual de Carreteras",
- Ref. 3: CPH Consultores Ltda. (Abril 2008). "Informe técnico de crecidas Quebrada Coloradito"
- Ref. 4: US Army Corps of Engineers (Julio 1991). "Hydraulic Design of Flood Control Channels"
- Ref. 5: Francisco Javier Dominguez (1999) "Hidráulica"

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 GENERALIDADES

Se consideran como antecedentes los caudales calculados en la Ref. 3 para el diseño del desvío de la quebrada. Estos caudales se indican en la *Tabla 4.1*:

**Tabla 4.1. Caudales de la quebrada Coloradito**

PERIODO DE RETORNO [años]	CAUDAL [m <sup>3</sup> /s]
50	33
100	55

Debido a que el desvío se realizará para la operación de la mina, se diseña el canal para un periodo de retorno de 100 años, es decir 55 m<sup>3</sup>/s.

Los elementos que constituyen la obra de toma del desvío de la quebrada Coloradito, son: un ajuste de la pendiente del cauce de la quebrada Coloradito, un muro y un embudo para la entrada al canal de desvío.

El cauce de la quebrada Coloradito se intervendrá suavizando su pendiente de manera de cambiar las condiciones de escurrimiento, disipando la energía y permitiendo que se forme una piscina aquietadora antes del ingreso al canal de desvío. Este acondicionamiento del cauce permite además que las piedras de mayor tamaño se acumulen antes que impacten con el muro de desvío e interfieran con la entrada al canal.

Para el ingreso del agua al canal de desvío, se proyecta un ensanche al inicio de 30 metros el cual se va angostando hasta los 5,5 metros en un tramo de 40 metros.

La disposición y detalles de la obra de toma del desvío de la quebrada Coloradito, se muestra en los planos 911-3700-HI-PL-001 y 911-3700-HI-PL-002.

### 4.2 OBRA DE TOMA

Para la captación del caudal de la quebrada Coloradito se proyecta un muro de desvío de 10 m de altura y 60 m de ancho que permite que se desvíe la totalidad del caudal de diseño a través del canal. Un esquema de la disposición de las obras de desvío, junto a las condiciones hidráulicas se presenta en las siguientes figuras:

Figura 4.1. Esquema en planta del sistema de desvío

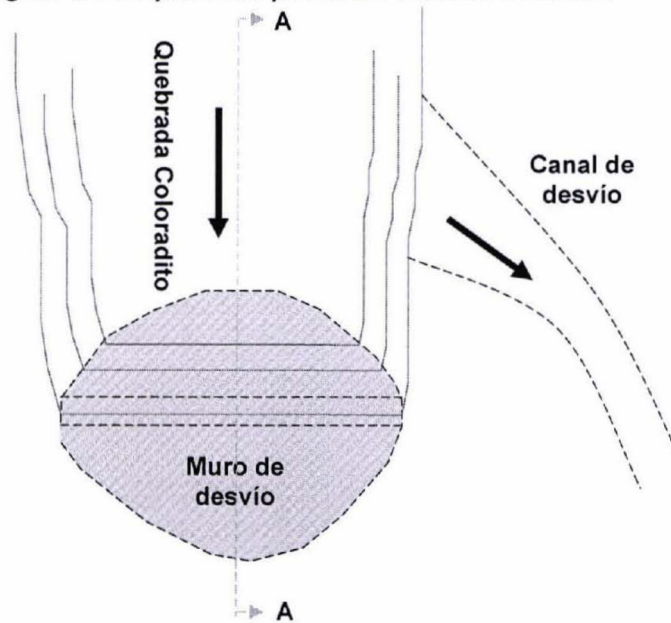
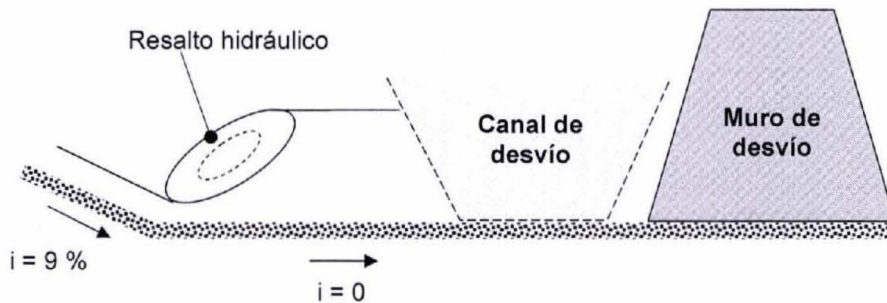


Figura 4.2. Sección A-A



Para tener una aproximación de las condiciones de escurrimiento en la quebrada, se puede asimilar el cauce a un canal trapezoidal de 30 metros de base con taludes laterales 1:3 (V:H).

Suponiendo altura normal aguas arriba del cambio de pendiente, se puede utilizar la fórmula de Manning:

$$\frac{Q \cdot n}{\sqrt{i}} = \Omega \cdot Rh^{2/3}$$

donde:

Q: Caudal de diseño [ $m^3/s$ ]  
 n: Número de Manning  
 i: Pendiente de la obra hidráulica  
 $\Omega$ : Área de escurrimiento [ $m^2$ ]  
 Rh: Radio hidráulico [m]

La pendiente en el sector aguas arriba donde se ubica el muro de desvío es de aproximadamente 9%. Tomando un número de Manning de 0,05 para corrientes naturales con matorrales y piedras (Ref. 1), se obtiene un escurrimiento de torrente con las siguientes características:

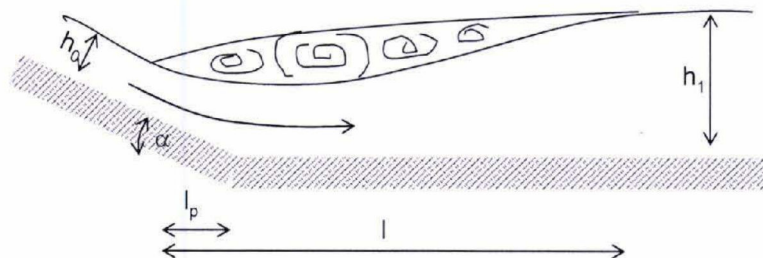
Variable	Valor	Unidad
Altura del agua	0,49	m
Area Hidráulica	15,31	$m^2$
Espejo de Agua	32,92	m
Perímetro Mojado	33,08	m
Radio Hidráulico	0,46	m
Velocidad	3,59	m/s
Energía Específica	1,14	m
Número de Froude	1,68	-

Como se explicaba en la sección anterior, se modificará la pendiente del cauce de manera de disipar la energía y de disminuir el riesgo de que las piedras impacten con el muro. Con el cambio de pendiente se produce un resalto hidráulico el que según el número de Froude del escurrimiento supercrítico se encuentra en el límite de un resalto de ondas y un resalto débil.

Dicho resalto no es fácil de representar, pues se encuentra en una condición de pendiente mixta y en un curso que se aproxima a uno trapezoidal.

Tomando la aproximación a una canal rectangular se pueden utilizar los abacos para resaltos en pendiente mixta incluidos en la Ref 5 (Pág. 364-365) y desarrollados por C. Bachler y M. Serani. Los elementos básicos de esta configuración se muestran en la *Figura 4.3*.

Figura 4.3. Resalto en Pendiente Mixta



Donde:

$h_0$ : Altura de escurrimiento aguas arriba del resalto  
 $h_1$ : Altura de escurrimiento aguas abajo del resalto  
 $l_p$ : Longitud del resalto en el tramo con pendiente  
 $l$ : Longitud del resalto en el tramo con pendiente nula  
 $\alpha$ : Ángulo que define la pendiente

Utilizando los resultados empíricos de la experimentación mencionada, se logra determinar las características de este resalto.

Variable	Valor	Unidad
$h_0$	0,49	m
$h_1$	0,98	m
$l_p$	0,68	m
$l$	3,40	m

Estos resultados indican que la boca del canal de desvío debe estar aproximadamente 3 m alejado del cambio de pendiente para no perturbar la zona de toma. Sin embargo, para tomar mayores resguardos se considera una planicie de 30 metros para que se forme la piscina y se acumulen las piedras, antes de la entrada del canal de desvío.

Para definir la altura del muro de desvío, se puede suponer que en la entrada del canal existe altura normal, debido a la extensión de éste. Tema que se desarrolla en el documento 911-3700-HI-MC-003. Esta condición implica un nivel de energía de aproximadamente 4,4 m.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores y agregando 3,6 m de revancha por seguridad, la cota de coronamiento del muro de desvío será 1561 msnm.

VIA.

## 5 CONCLUSIONES

La obra de toma del desvío de la quebrada Coloradito permite detener el agua proveniente de la misma para un período de retorno de 100 años, lo que asegura que no se interfieran las pilas de lixiviación durante la operación de la mina.

El desvío de la quebrada Coloradito se realiza mediante una barrera fija en el cauce de la quebrada, previa intervención de la pendiente de manera de disipar y aquietar el agua. Una vez detenido el flujo, se proyecta un ensanche del canal de desvío aguas arriba del muro para el ingreso más fácil del agua.

La altura del muro de desvío se define a partir de las condiciones hidráulicas del canal de desvío, debido a que el régimen del canal es subcrítico y está influenciado por aguas abajo. Por esto es que el muro deberá tener por lo menos la altura normal del canal, más una revancha que debido a la importancia de la obra se considera de 3,6 metros.

0447

**TOMMY S.A.**

**PROYECTO PUQUIOS  
DISEÑO PILA DE LIXIVIACIÓN  
INGENIERÍA BÁSICA AVANZADA**

**Bases Técnicas N° 911-3700-HI-BT-001**

**BASES TECNICAS  
LICITACION DESVIO QUEBRADA COLORADITO**

**ARCADIS Geotécnica**  
Eliodoro Yañez 1893  
Providencia, Santiago

APROB. CLIENTE: \_\_\_\_\_  
FECHA: \_\_\_\_\_

**Preparado para Tommy S.A**

REV.	FECHA	POR	REV.	APROB.	DESCRIPCION
A	11/07/08	IDZ	JIN	RLD	Coordinación Interna
B	18/07/08	IDZ	JIN	RLD	Para comentarios cliente
C	13/08/08	KLA	JIN	RLD	Para comentarios cliente

**PROYECTO PUQUIOS  
DISEÑO PILAS DE LIXIVIACIÓN  
INGENIERÍA BÁSICA AVANZADA**

**BASES TECNICAS  
DESVIO QUEBRADA COLORADITO**

**CONTENIDO**

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIPCION DE LAS OBRAS DE DESVIO .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>ALCANCES .....</b>	<b>4</b>
	3.1 GENERAL .....	4
	3.2 REBAJE DEL CAUCE .....	4
	3.3 CANAL DE DESVIO.....	4
	3.4 MURO DE DESVIO.....	6
	3.5 ESCURRIMIENTO POR QUEBRADA RAJO .....	6
	3.6 ESCURRIMIENTO POR QUEBRADA PUQUIOS.....	7
	3.7 DESVIO QUEBRADAS AFLUENTES.....	7
<b>4</b>	<b>CRITERIOS DE DISEÑO.....</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>CUBICACIONES OBRAS DE DESVIO.....</b>	<b>8</b>

## 1 INTRODUCCIÓN

El proyecto Puquios corresponde a la evaluación de un plan minero realizado por Tommy S.A. que tiene como objetivo el procesamiento y obtención de mineral de cobre por medio de lixiviación, buscando obtener el aprovechamiento del yacimiento en 8 años.

El proyecto minero contempla la disposición del mineral en pilas de lixiviación en el cauce de la quebrada Coloradito, por lo que es necesario el desvío de la quebrada de manera que el agua no interfiera con las pilas.

El desvío de la quebrada se proyecta mediante un muro en el cauce que detiene el agua y la desvía por medio de un canal de 2,6 km de largo hasta su descarga a una quebrada aledaña.

Además se considera el desvío de dos quebradas ubicadas aguas abajo del muro de desvío, mediante un canal trapecial el que conducirá el agua hasta aguas arriba del muro de desvío de la quebrada Coloradito.

## 2 DESCRIPCION DE LAS OBRAS DE DESVIO

Los elementos que constituyen el sistema de desvío de la quebrada Coloradito, son: un rebaje del cauce de la quebrada Coloradito, un muro de desvío y un canal de desvío.

El rebaje del cauce consiste en aplanar el fondo del cauce de la quebrada Coloradito a la cota 1.553 msnm desde la posición del muro de desvío, hasta 30 metros aguas arriba desde este punto.

El muro de desvío tiene la función de desviar el flujo proveniente por la quebrada Coloradito y conducirlo por el canal de desvío. Este muro de desvío será un muro de suelo, con protección de gaviones en el talud de aguas arriba, con una geomembrana impermeabilizante al centro, taludes aguas arriba y aguas abajo 1,8:1 (V:H) y de dimensiones máximas de 10 metros de altura, 45 metros de ancho y 70 metros de largo.

Luego de que el muro de desvío detiene el flujo, el agua se conduce por el canal de desvío a través de una sección trapecial de 5,5 x 5,0 m (b x h), con taludes homogéneos de 1:0,5 (V:H). Este canal será excavado y tendrá una pendiente longitudinal de 0,08%.

El canal de desvío descarga a una quebrada afluente a la quebrada Puquios, la cual pasa cerca de la traza proyectada de la excavación del rajo. Por precaución, se plantea realizar un rebaje del cauce en el sector crítico de manera de asegurar que el agua no ingrese al rajo. Sin embargo, la realización de esta obra queda supeditada al cumplimiento de una distancia mínima entre la traza del rajo y el cauce de la quebrada. Dicha distancia, que refleja una cercanía que podría comprometer la seguridad del rajo, queda establecida en el plano 911-3700-HI-PL-011.

VIA

Cercano al cauce de la quebrada Puquios se van a emplazar plataformas para futuras instalaciones de la planta. Para darle una mayor seguridad a los terraplenes de las plataformas, se proyectan enrocados de protección de taludes en las laderas de los cerros.

Adicionalmente existen dos quebradas afluentes a la quebrada Coloradito aguas abajo del muro de desvío, la que se desviarán con un canal trapecial de 1,6 Km de longitud que descarga aguas arriba del muro de desvío.

### **3 ALCANCES**

#### **3.1 GENERAL**

Los alcances del desvío de la quebrada Coloradito contemplan: el rebaje del cauce, construcción del muro y del canal de desvío. En la quebrada Puquios se considera una protección de laderas y eventualmente un rebaje del cauce de la quebrada de restitución que le descarga el caudal de desvío de la quebrada Coloradito.

#### **3.2 REBAJE DEL CAUCE**

El cauce de la quebrada Coloradito se intervendrá suavizando su pendiente de manera de cambiar las condiciones de escurrimiento, disipando la energía y permitiendo que se forme una piscina aquietadora antes del ingreso al canal de desvío. Este acondicionamiento del cauce permite además que las piedras de mayor tamaño se acumulen antes que impacten con el muro de desvío e interfieran con la entrada al canal.

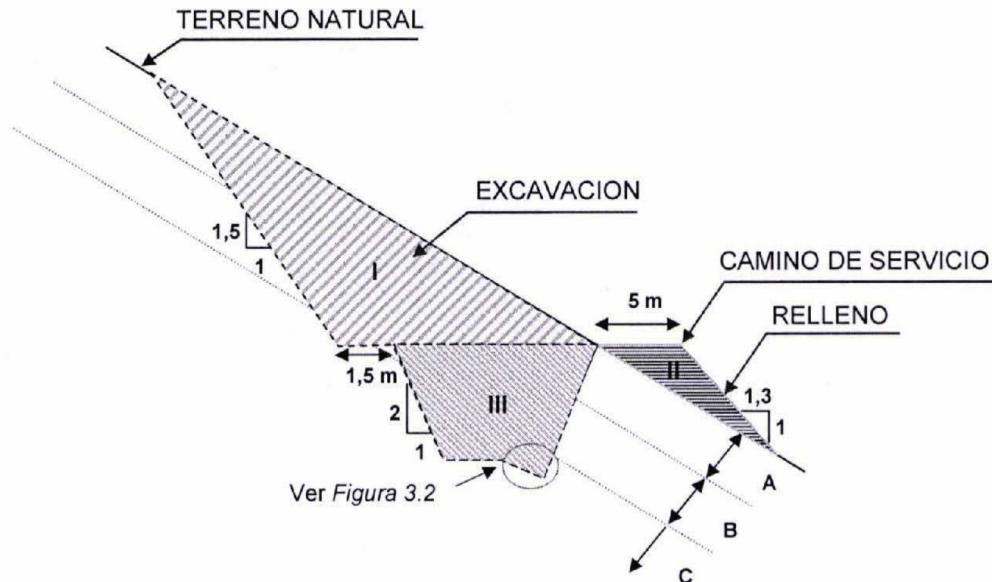
El rebaje considera el aplanamiento del fondo del cauce a la cota 1.553 hasta 30 metros más arriba de la entrada al canal. Para más detalle de esta obra referirse al plano 911-3700-HI-PL-002.

#### **3.3 CANAL DE DESVIO**

La entrada al canal se realiza tipo embudo, con un ancho inicial de 30 metros y una transición de 40 metros, la cual permite que la quebrada se encauce con mayor facilidad por el canal. Debido a esta transición el agua experimentará un aumento de su velocidad al ir disminuyendo su sección, por lo que se considera necesario revestir con una capa de 5 cm de hormigón proyectado. Para más detalle de esta obra referirse al plano 911-3700-HI-PL-002.

La sección de excavación y relleno del canal de desvío, es el que se presenta en la *Figura 3.1*:

Figura 3.1. Sección tipo de canal de desvío



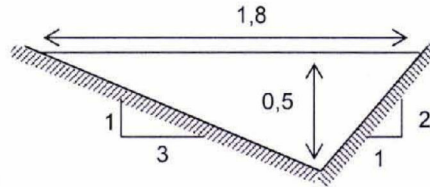
La caracterización del suelo excavado, es el que se presenta en la *Tabla 3.1*:

Tabla 3.1. Caracterización de la excavación del canal de desvío

SIIMBOLO	PROFUNDIDAD [m]	CLASIFICACION	METODO EXCAVACION
A	5 – 7	Excavable mecánicamente	< 5 % explosivos
B	7 – 14	Moderadamente excavable	20 – 30 % explosivos
C	> 14	Difícilmente excavable	60 – 100 % explosivos

La secuencia constructiva del canal corresponde a excavar la sección I, voltear el material excavado al costado (sección II), excavar la sección III y voltear al costado. Finalmente se deberá excavar una cuneta triangular con las dimensiones que se indican en la *Figura 3.2*.

Figura 3.2. Sección cuneta triangular



El relleno al costado del canal de desvío se utilizará como camino de servicio para el tráfico de vehículos que realizan inspección y mantenimiento al canal. A la altura de la entrada del canal, el camino de servicio pasa sobre el coronamiento del muro, estableciendo una conexión con la otra ladera de la quebrada Coloradito.

En los cruces de quebradas el canal se revestirá de hormigón de manera de disminuir las pérdidas por filtración.

El trazado geométrico del canal de desvío deberá ser tal que los radios de curvatura en planta sean mayores a 30 metros.

Mayores detalles del trazado de esta obra y de la sección de corte y relleno, referirse a los planos 911-3700-HI-PL-001, 004, 005, 006.

### 3.4 MURO DE DESVIO

El muro de desvío será construido de gaviones, con una cota de coronamiento de 1.561 msnm y taludes aguas arriba y aguas debajo de 1,8:1 (V:H).

Las dimensiones del muro son: 5 metros de ancho de coronamiento, 10 metros de altura, 40 metros de ancho basal y 70 metros de largo. Se impermeabilizarán los gaviones con una geomembrana al centro del muro. Los detalles del muro de desvío se presentan en el plano 911-3700-GE-PL-001.

### 3.5 ESCURRIMIENTO POR QUEBRADA RAJO

El canal de desvío de la quebrada Coloradito descargará a la quebrada rajo en la cota 1.551 msnm. El cauce de esta quebrada es cercano la traza de la excavación proyectada del rajo, comprometiendo la posibilidad de ingreso del agua al rajo.

Por este motivo se proyecta un rebaje de 3 metros del cauce, en la zona donde la quebrada pasa más cerca de la traza del rajo, cuando alguna de las siguientes consideraciones se cumpla:

- 20 metros de distancia en planta desde la traza del rajo a la quebrada
- 10 metros de desnivel entre la traza del rajo y la quebrada

### 3.6 ESCURRIMIENTO POR QUEBRADA PUQUIOS

El agua que se conduce por la quebrada de restitución descarga finalmente a la quebrada Puquios, en la que se han dividido muestras de erosión en los pies de algunas laderas.

Por este motivo y debido que en este sector se ubicarán plataformas para futuras instalaciones de la planta, se proyectan enrocados de protección de 4 metros de altura, de los cuales 2 metros aproximadamente son enterrados. Las piedras utilizadas en el enrocado tendrán un peso aproximado de 100 Kg, en el caso de una mampostería, y de 300 Kg si se trata de un material volcado. La longitud de este enrocado será de 300 metros aproximadamente.

Mayores detalles de esta protección y su ubicación se presentan en el plano 911-3700-HI-PL-011.

Existe una obra de arte aguas abajo del sector donde se proyectan las plataformas, la cual no es capaz de evacuar el flujo de la quebrada Puquios en condiciones naturales. Por lo tanto, en la situación natural y modificada dicha obra de arte deberá actuar como badén.

### 3.7 DESVIO QUEBRADAS AFLUENTES

Existen dos quebradas aguas abajo del muro de desvío en la ladera norte las que tendrán que ser captadas y desviadas hasta donde está contemplado el muro de desvío de la quebrada Coloradito. De esta manera el agua de estas quebradas se conducirá hasta la quebrada de restitución, para posteriormente evacuar a la quebrada Puquios, junto al agua desviada de la quebrada Coloradito.

Las quebradas contemplan un muro de gaviones aguas arriba del canal de desvío para aquietar las aguas y que a la vez sirva como trampa de piedras, evitando de esta manera que el canal se obstruya.

Además del muro de gaviones, previo ingreso del agua al canal de desvío, se juntarán piedras de mayor tamaño de la misma quebrada de manera de agregar seguridad al muro de gaviones y además servir como una trampa de piedras por posibles derrumbes de las laderas.

Debido a que el canal recibe el aporte de dos quebradas en distintos puntos, se definen dos tramos, de manera de tener una sección de canal acorde al caudal conducido. El canal en el primer tramo tendrá una sección de 1,2 x 0,8 (b x h) con taludes homogéneos de 1:0,5 (V:H), mientras que en el segundo tramo, donde el caudal aumenta a 3,0 m<sup>3</sup>/s, el canal tendrá una sección de 1,8 x 1,3 (b x h) con taludes homogéneos de 1:0,5 (V:H).

El canal tendrá una longitud total de 1,6 Km, en que 1,1 Km corresponden al tramo 1 y 0,6 Km al tramo 2.

## 4 CRITERIOS DE DISEÑO

Los criterios utilizados para el diseño del desvío de la quebrada fueron los siguientes:

- El canal de desvío se diseña, acorde a la vida útil considerada en el proyecto, para conducir el caudal asociado a un período de retorno de 100 años.

- El caudal de la quebrada Coloradito, asociado a un período de retorno de 100 años, es decir 55 m<sup>3</sup>/s, fue calculado por CPH consultores Ltda. en el documento "Informe técnico de crecidas Quebrada Coloradito".
- El caudal de la quebrada Puquíos, asociado a un período de retorno de 100 años, es decir 90 m<sup>3</sup>/s, fue calculado por CPH consultores Ltda. en el documento "Determinación de la escorrentía superficial en la quebrada Puquíos".
- Se podrá conducir un caudal máximo de 72 m<sup>3</sup>/s por el canal, considerando sección llena y sin revancha.
- El trazado en planta del canal tiene como restricción radios de curvatura mayores a 30 metros, tal que permita que el agua se conduzca confinada a la sección del canal y se evita el desbordamiento.
- La pendiente longitudinal se define de tal manera que se tengan velocidades bajas en el canal, evitando de esta manera la erosión en la sección.
- De manera de asegurar que escurran caudales bajos por el canal de desvío, se proyecta una cuneta triangular con algún grado de impermeabilización a un costado de la sección.
- El material sobrante de la excavación del canal, se utilizará en las pilas de lixiviación.
- El rebaje de la quebrada rajo en el sector más cercano a la proyección de la excavación del rajo, se realizará en el momento en que se tenga una distancia en planta menor a 20 metros y/o una diferencia de cota de menos de 10 metros.
- La obra de arte ubicada en el cruce de la quebrada Puquíos con el camino existente, funciona como badén en casos de crecidas mayores a las de su diseño, incluso cuando pasen los 55 m<sup>3</sup>/s adicionales provenientes de la quebrada Coloradito.
- Se considera un enrocado de protección para proteger los taludes de las plataformas de las instalaciones en la quebrada Puquíos. Estos enrocados serán de 4 m de altura donde 2 metros son enterrados para darle mayor estabilidad.

## 5 CUBICACIONES OBRAS DE DESVIO

Las cubicaciones de todas las obras de desvío de la quebrada Coloradito, movimiento de tierra en la quebrada de restitución y el enrocado de protección en la quebrada Puquíos, son los que se presentan en la *Tabla 5.1*.

**Tabla 5.1. Cubicaciones obras de desvío**

ACTIVIDAD	UNIDADES	CANTIDAD
<i>Muro de desvío</i>		

Escarpe	[m <sup>3</sup> ]	2.230
Excavación material común	[m <sup>3</sup> ]	300
Excavación roca	[m <sup>3</sup> ]	2.500
Lastre (Espaldon aguas arriba y aguas abajo)	[m <sup>3</sup> ]	6.460
Arena Arcillosa	[m <sup>3</sup> ]	3.200
Gaviones	[m <sup>3</sup> ]	2.100
Geomembrana	[m <sup>2</sup> ]	2.300
Geotextil	[m <sup>2</sup> ]	2.030
Carpeta Rodado	[m <sup>3</sup> ]	120
Cubierta Granular	[m <sup>3</sup> ]	1.040
<b>Rebaje de terreno</b>		
Excavación material común	[m <sup>3</sup> ]	10.800
Excavación roca	[m <sup>3</sup> ]	1.100
Terraplén	[m <sup>3</sup> ]	320
<b>Obra de entrada</b>		
Hormigón proyectado	[m <sup>3</sup> ]	25
Excavación material común	[m <sup>3</sup> ]	4.000
Excavación roca	[m <sup>3</sup> ]	400
<b>Canal de desvío</b>		
Excavación sección I	[m <sup>3</sup> ]	171.600
Excavación sección II	[m <sup>3</sup> ]	114.400
Relleno de volteo	[m <sup>3</sup> ]	77.300
Hormigón proyectado	[m <sup>3</sup> ]	100
<b>Quebrada Rajo</b>		
Excavación terreno común	[m <sup>3</sup> ]	5
Excavación roca	[m <sup>3</sup> ]	25
<b>Protección laderas Quebrada Puquíos</b>		
Excavación material común	[m <sup>3</sup> ]	450
Excavación roca	[m <sup>3</sup> ]	1.350
Enrocado de protección	[m <sup>3</sup> ]	1.950
<b>Desvío Quebradas Afluentes</b>		
Excavación material común	[m <sup>3</sup> ]	17.360
Excavación roca	[m <sup>3</sup> ]	3.840
Terraplén	[m <sup>3</sup> ]	280
Muro de gaviones	[m <sup>3</sup> ]	65



<b>TOMMY S.A.</b>									
<b>INGENIERÍA BÁSICA PROYECTO PUQUIOS</b>									
<b>INFORME TÉCNICO DE CRECIDAS QUEBRADA COLORADITO</b>									
DOCUMENTO N° 911-3100-GE-IT-01								HOJA 1 DE 13	
Rev. N°	Fecha	IDESOL				TOMMY S.A.			
		PREPARÓ		REVISÓ		REVISÓ		APROBÓ	
		Nombre	Firma	Nombre	Firma	Nombre	Firma	Nombre	Firma
A	18-04-08	CP		WB					
B	18-04-08	CP		WB					
Espacio Reservado para TOMMY S.A.									



## DETERMINACIÓN DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL EN LA QUEBRADA COLORADITO. (IV Región)

### 1. GENERALIDADES

El presente documento dice relación con la determinación de la escorrentía en la quebrada Coloradito (tributaria de la Quebrada Los Choros), inmediatamente aguas arriba del sector donde Minera Tommy programa emplazar las pilas de lixiviación e instalaciones de su proyecto Puquios. El trabajo fue solicitado a CPH Consultores Ltda por la empresa consultora IDESOL, la cual suministró, además, la información relacionada con la ubicación de las pilas e instalaciones que se desea proteger de la escorrentía, que esporádicamente se produce en la quebrada Coloradito. La Figura 1.1. muestra la ubicación del área de estudio.

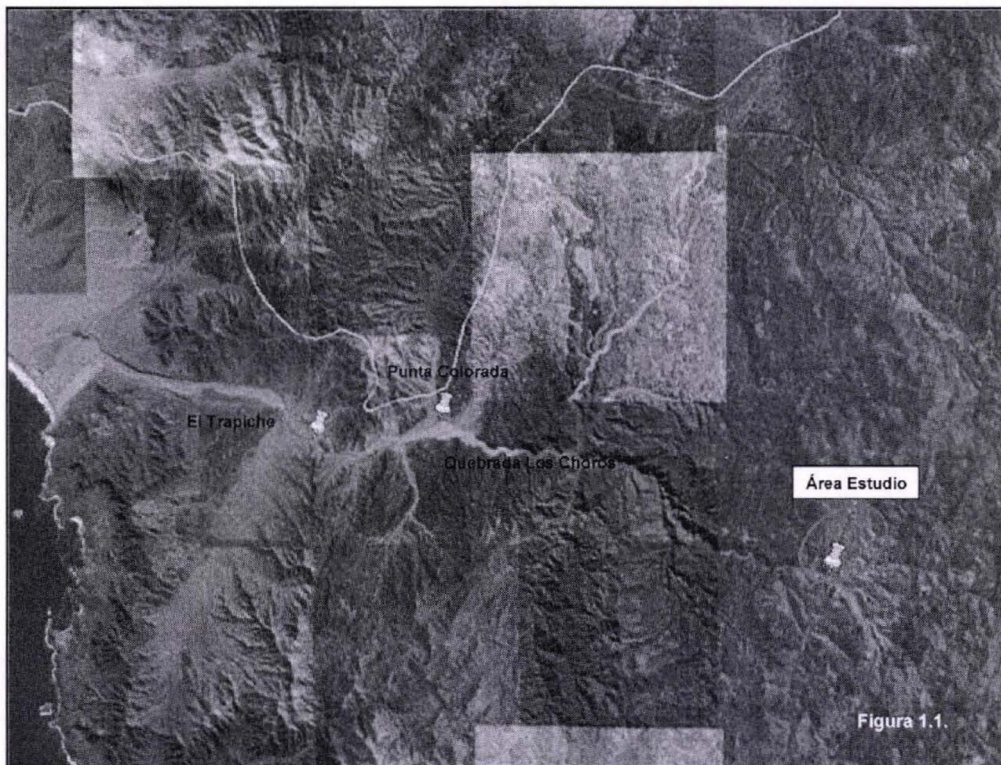


Figura 1.1.



## **2. ANTECEDENTES UTILIZADOS**

Para acometer el trabajo indicado se recabó la información que a continuación se indica:

1. Cartografía oficial del Instituto Geográfico Militar escala 1:50.000, correspondiente a la plancheta "Junta de Chingoles", con equidistancia altimétrica de 25m.
2. Geología superficial a escala 1:250.000 correspondiente a la Hoja Vallenar y Parte Norte de La Serena del Servicio Nacional de Geología y Minería año 1982.
3. Información meteorológica obtenida directamente en la Dirección General de Aguas (DGA) y que corresponde a:
  - a. Antecedentes de precipitaciones diarias de la Estación Trapiche ubicada en la cuenca;
  - b. Información sobre precipitaciones máximas en la cuenca, antecedentes que se obtuvieron del informe oficial de la DGA "Eventos Meteorológicos Extremos, Precipitaciones Máximas en 24, 48 y 72 horas para Distintos Períodos de Retorno"
  - c. Antecedentes de precipitaciones en la cuenca, obtenidos del informe oficial de la DGA "Modelación Hidrogeológica en la Quebrada Los Choros, Comuna de La Higuera, IV Región".



### 3. METODOLOGÍA APLICADA

Para determinar la escorrentía susceptible de generarse en la quebrada Coloradito se recurrió al Método de la Curva Número, diseñado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica y que ha sido aplicado con éxito en Chile en múltiples proyectos para evacuación de aguas lluvias y en evaluaciones hidrológicas e hidrogeológicas. Esta metodología trabaja con eventos meteorológicos extremos y permite definir la escorrentía que dicho evento es capaz de generar en la respectiva cuenca.

De acuerdo al método señalado, la relación entre la escorrentía y la precipitación total puede representarse mediante la siguiente expresión:

$$\text{Esc} = (P - 0,2 * S)^2 / (P + 0,8 * S) \quad (\text{fórmula 1})$$

donde:

Esc es la escorrentía expresada en pulgadas;

P es la precipitación expresada en pulgadas durante el evento; y

S corresponde al almacenamiento necesario para alcanzar la saturación del suelo

Por su parte, S se relaciona con la Curva Número a través de la siguiente expresión

$$S = (1.000 / \text{CN}) - 10 \quad (\text{fórmula 2})$$

donde CN es el valor de Curva Número que se asigna al terreno de acuerdo a sus características. Teóricamente un suelo totalmente impermeable tendría un valor de CN = 100 y a la inversa, un suelo extremadamente permeable, tendría un valor equivalente a 0.

Ahora bien, si  $S * 0,2$  resulta menor que la precipitación durante el evento, entonces se genera escorrentía. En el caso contrario, vale decir que el producto  $S * 0,2$  resulte mayor que la precipitación, entonces toda el agua caída se infiltra a modo de recarga.

Dicho lo anterior, se comprenderá que el primer paso requerido para la aplicación de esta metodología es el de determinar la magnitud de un evento meteorológico extremo, para lo cual se recurre normalmente al informe indicado en el acápite 3.b del capítulo anterior. En el caso que nos ocupa esto no fue posible ya que en dicho trabajo no se contempló la estación Trapiche que es la más cercana al área de estudio y que por consiguiente se puede tratar como estación patrón.



En virtud de lo señalado, se obtuvo en la DGA la estadística diaria de la mencionada estación meteorológica, que tiene registros durante el período que media entre 1979 y 2007. Utilizando todos los datos de lluvias diarias se ejecutó un análisis de probabilidad aplicando, para estos efectos, la expresión de Weibull y luego se estructuró una distribución de frecuencia del tipo probabilidad versus log, que de acuerdo al manual de Normas y Procedimiento de la DGA es una de las adecuadas en estos casos. De esta forma se pudo determinar, que para un período de retorno de 100 años, la precipitación durante 24 horas en la estación Trapiche alcanza a 64 mm. La Figura 3.1. muestra el gráfico de la distribución señalada.

Ahora bien, el dato obtenido es representativo del sector donde se ubica la estación Trapiche, pero no del área donde se deseaba generar los caudales de escorrentía. De acuerdo a esto, fue necesario transponer este valor a la zona de análisis para lo cual se ejecutaron dos tareas específicas.

La primera de ellas consistió en establecer una regresión, que permitiera definir el aumento de la lluvia respecto de la altura y la segunda labor fue subdividir la hoya de respaldo hidrológico del sector de los relaves, en bandas hipsométricas a las cuales fuera posible asignar una precipitación susceptible de generarse con un período de retorno de 100 años.

Por desgracia en la hoya de la quebrada Los Choros, cuenca en la cual se emplaza la quebrada Puquios, existen sólo 4 estaciones meteorológicas, de las cuales 2 tienen una representatividad sólo muy local. Este asunto está claramente indicado en el informe oficial de la DGA que fue señalado en el acápite 3c del capítulo 2. Esto hizo imposible estructurar una correlación de precipitación versus altura considerando las estaciones de Los Choros, de manera que se recurrió a la información de la cuenca del río Huasco que se encuentra inmediatamente al norte.

En el trabajo de la DGA "Eventos Meteorológicos Extremos, Precipitaciones Máximas en 24, 48 y 72 horas para Distintos Períodos de Retorno" se cuenta con la información de las lluvias máximas en 24 horas para períodos de retorno de 20, 50 y 100 años, de forma que considerando aquellas correspondientes a 100 años y las respectivas cotas, se estructuró la regresión correspondiente.

Las estaciones consideradas para la correlación indicada fueron las siguientes: Vallenar, Santa Juana, La Pampa, Los Tambos y Conay. La ubicación de estas estaciones meteorológicas se muestra en la Figura 3.2. y los resultados de la regresión en la Figura 3.3.



DISTRIBUCION DE FRECUENCIA – PROBABILIDAD VS LOG

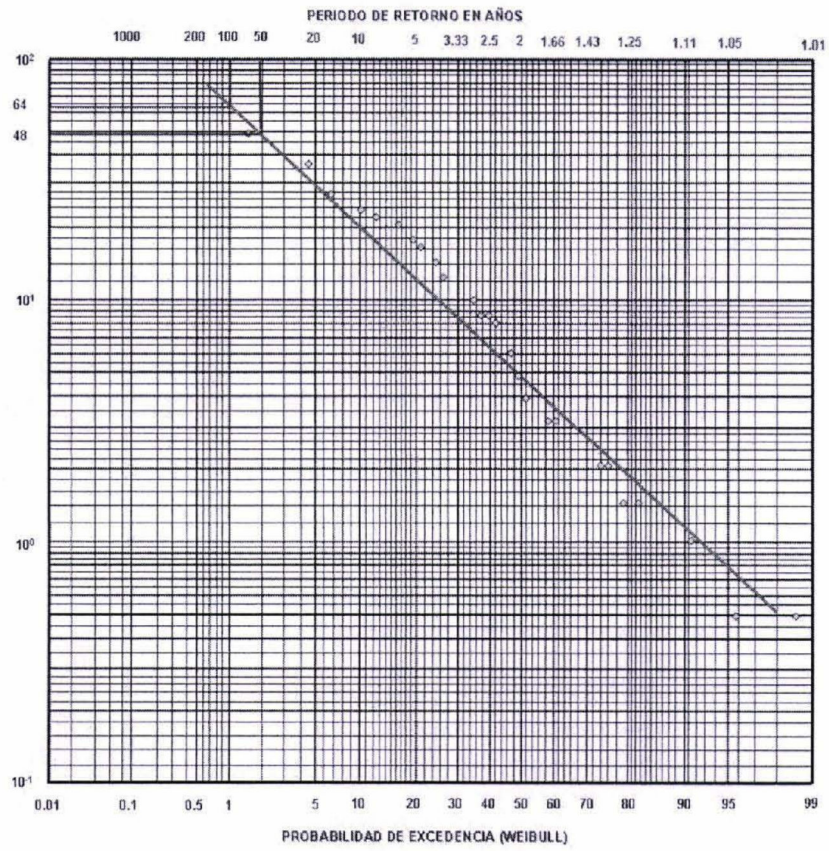


Figura 3.1.

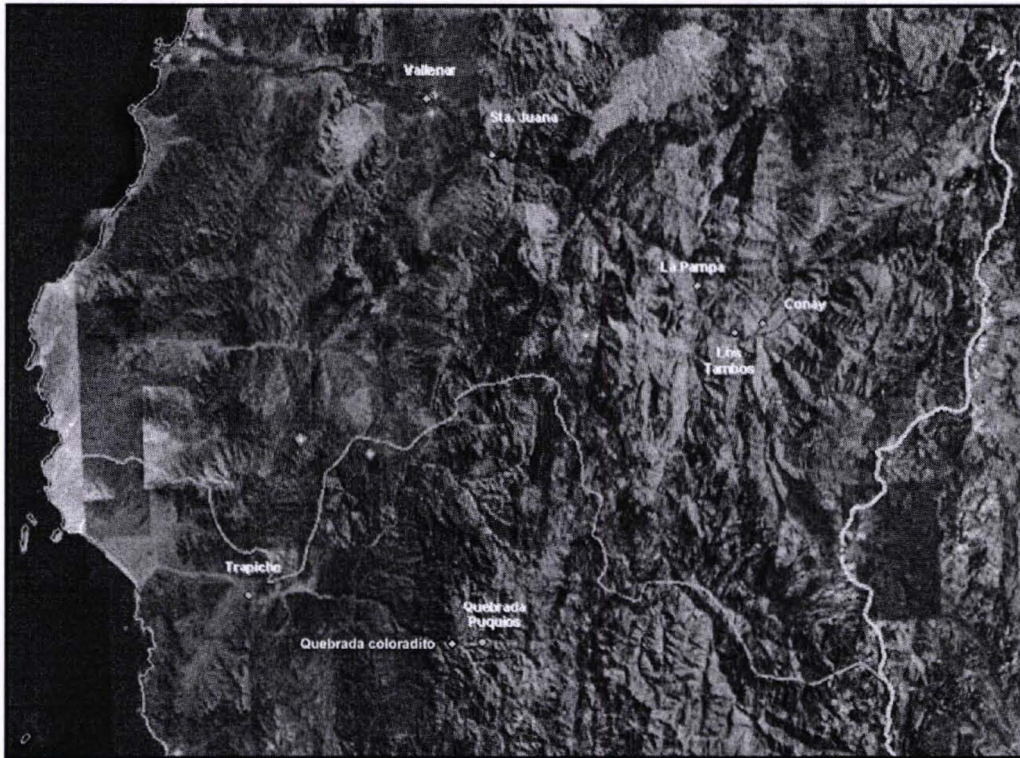


Figura 3.2.

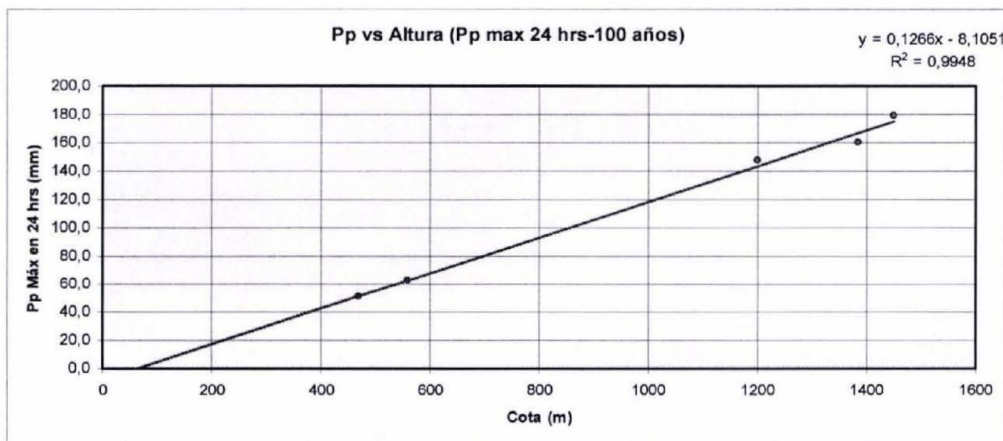


Figura 3.3.



Podrá advertirse que el coeficiente de determinación alcanzado en la correlación ( $R^2$ ) de las lluvias máximas en 24 horas para un período de retorno de 100 años y la altura es excelente.

El Cuadro 3.1., que se adjunta a continuación, muestra los valores que caracterizan a las estaciones consideradas y que se utilizaron para la correlación en comento.

<b>Estación</b>	<b>Cota (ms.n.m.)</b>	<b>Pp Máx. en 24 h Para 100 años</b>
Vallenar	469	51
Santa Juana	560	62,5
La Pampa	1200	147,5
Los Tambos	1385	160,4
Conay	1450	179

La expresión lineal que vincula las precipitaciones máximas con la altura resultó ser la siguiente:

$$y = 0,1266 * x - 8,1051$$

Esta fue la fórmula mediante la cual se transpuso la precipitación de la estación Trapiche hasta cada una de las bandas hipsométricas definidas en la hoya de la quebrada Puquios.

Ahora bien, tal como se indicara anteriormente, la hoya de respaldo en cuyo extremo distal se generaron los caudales de escorrentía, se subdividió en un total de 7 bandas según los valores que muestra el Cuadro 3.2.



<b>Cuadro 3.2.</b>			
<b>Bandas Hipsométricas</b>			
<b>Cotas</b>		<b>Cota me- dia (msnm)</b>	<b>Área km<sup>2</sup></b>
<b>Desde m</b>	<b>Hasta m</b>		
<1500		1375	1,34
1500	1750	1625	5,00
1750	2000	1875	7,10
2000	2250	2125	14,41
2250	2500	2375	10,30
2500	2750	2625	4,35
>2750		2805	0,61
<b>Área total cuenca</b>			<b>43,11</b>

La Figura 3.4. muestra la disposición espacial de las respectivas bandas hipsométricas.

Considerando las cotas medias de cada banda y la expresión resultante de la correlación entre las precipitaciones máximas y la altura, se determinó la magnitud de la lluvia en cada una de ellas. El Cuadro 3.3. muestra los resultados.

<b>Cuadro 3.3.</b>		
<b>Pp Máximas por Banda</b>		
<b>Desde m</b>	<b>Hasta m</b>	<b>Pp 24 hrs</b>
<1500		88,69
1500	1750	120,34
1750	2000	151,99
2000	2250	183,64
2250	2500	215,29
2500	2750	246,94
>2750		269,73

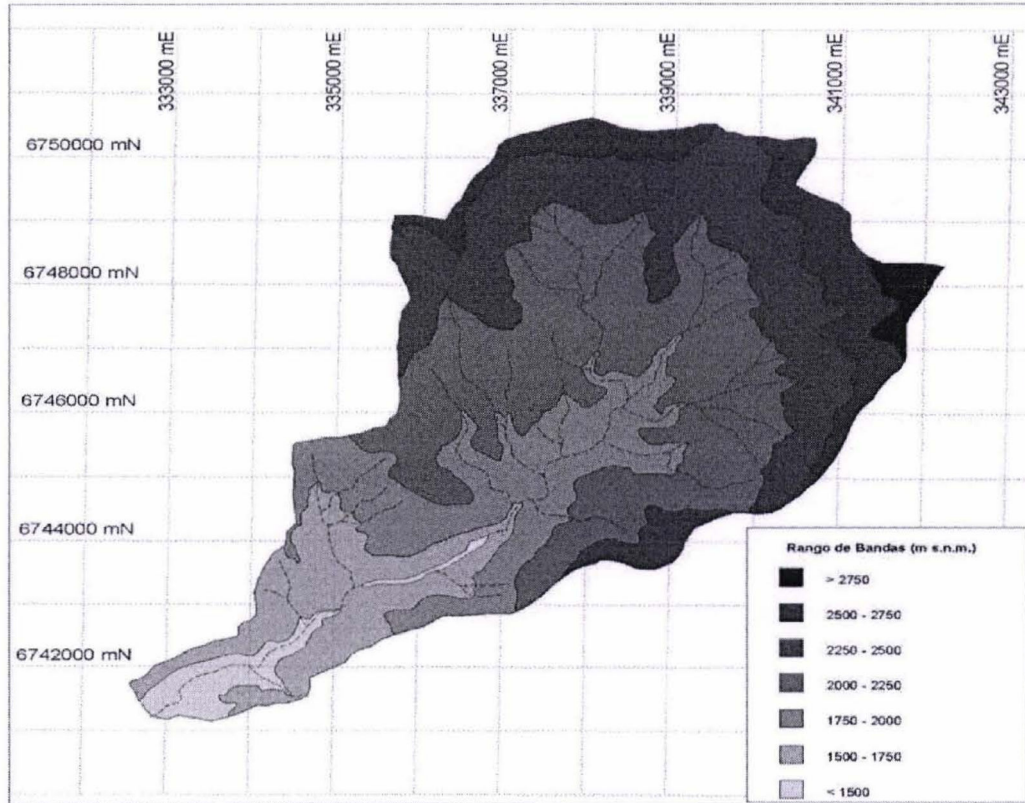


Figura 3.4.

Por último, para definir la totalidad de las variables que requiere el Método de la Curva Número fue necesario asignar a cada banda hipsométrica un valor de CN. Para estos efectos se recurrió a la información que entrega la geología de superficie y las imágenes disponibles en el sistema Google Earth.

Estos antecedentes señalan que casi la totalidad del área de cada banda está conformada por roca con una delgada cobertura regolítica. La superficie cubierta por rellenos sedimentarios, que se disponen hacia la línea de talweg de la quebrada, es realmente exigua. Pero además, la topografía es considerablemente abrupta lo que se evidencia en la fuerte pendiente de se evidencia en las vertientes de la estructura geomorfológica; estos dos factores, necesariamente implican valores de CN iguales o superiores a 70. En el Cuadro 3.4. se muestran los valores estimados para cada banda.



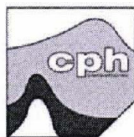
Cuadro 3.4. Valor de CN por Banda		
Desde m	Hasta m	CN
<1500		70
1500	1750	70
1750	2000	70
2000	2250	75
2250	2500	75
2500	2750	80
>2750		80

Como complemento a lo indicado, se adjunta a continuación la Figura 3.5. (tomada del Google Earth) que muestra, como se indicó, lo exiguo de los rellenos, incluso en el sector distal de la quebrada Coloradito.



Figura 3.5.

#### 4. RESULTADOS OBTENIDOS



Aplicando la metodología descrita, la escorrentía generada por la cuenca problema, inmediatamente aguas arriba del área de emplazamiento de los futuros relaves, resulta significativa. El Cuadro 4.1. muestra los caudales por banda y la escorrentía total expresada en  $m^3/s$ .

Cuadro 4.1.				
Escorrentía en la Qda. Coloradito				
Desde m	Hasta m	Área km <sup>2</sup>	Valor CN	Escorrentía m <sup>3</sup> /s
<1500		1,34	70	0,4
1500	1750	5,00	70	2,71
1750	2000	7,10	70	5,83
2000	2250	14,41	75	18,43
2250	2500	10,30	75	16,57
2500	2750	4,35	80	9,28
>2750		0,61	80	1,46
<b>Escorrentía Total</b>				<b>54,67</b>

El caudal total corresponde a aquel que genera la cuenca ante una precipitación extrema durante 24 horas, para un período de retorno de 100 años.

Por último, si se consideran lluvias para un período de retorno de 50 años la correlación de éstas versus la altura es también estupenda ( $R^2 = 0,995$ ), de forma que aplicando la misma metodología, se alcanza un valor de escorrentía en 24 horas de **32,68  $m^3/s$** .

CARLOS PARRAGUEZ DECKER  
CPH Consultores Ltda

0458

ATV

**NATASA**  
MINING LTD

# *Anexo N° 3*

*ADENDA N°1*

**PROYECTO MINERO PUQUÍOS**

---

**INFORME DE HIDROLOGIA**

**ELABORADO POR:**



**G E S C A M**  
CONSULTORES AMBIENTALES

IV REGION DE COQUIMBO, SEPTIEMBRE DE 2008

## INFORME DE HIDROLOGÍA

### 1. Generalidades.

El presente documento responde a la observación realizada por la DGA al informe de la Línea Base del Proyecto Minero Puquíos.

La observación es la siguiente:

*“En este caso que el proyecto o parte del proyecto se ubica en quebradas o cercanías de cursos de agua superficial (botadero, pila de lixiviación, etc.) se deberá realizar un estudio hidrológico detallado que de cuenta de las áreas o zonas afectas a inundación y periodos de retorno de crecidas. Para este tipo de proyectos se debe verificar que la obra no se inunde para un período de retorno 100 años.”*

### 2. Antecedentes utilizados

Para responder a la observación se revisó la información siguiente:

- A. Informe “Determinación de la escorrentía superficial en la Quebrada Coloradito”. CPH Consultores Ltda.
- B. Proyecto Puquíos. Diseño Pila de Lixiviación Ingeniería Básica Avanzada: Bases Técnicas N° 911-3700-HI-BT-001. Licitación Desvío de Quebrada Coloradito. Arcadis Geotecnia Consultores.
- C. Proyecto Puquíos. Diseño Pila de Lixiviación Ingeniería Básica Avanzada: Informe Técnico N° 911-3700-HI-MC-001. Memoria de Cálculo Hidráulico Obra de Toma. Arcadis Geotecnia Consultores.
- D. Proyecto Puquíos. Diseño Pila de Lixiviación Ingeniería Básica Avanzada: Informe Técnico N° 911-3700-HI-MC-002. Memoria de Cálculo Hidráulico Desvío de Quebradas Afluentes a Quebrada Coloradito. Arcadis Geotecnia Consultores.
- E. Proyecto Puquíos. Diseño Pila de Lixiviación Ingeniería Básica Avanzada: Informe Técnico N° 911-3700-HI-INF-002 Informe de Cubicaciones Desvío Quebrada Coloradito. Arcadis Geotecnia Consultores.
- F. Proyecto Puquíos. Diseño Pila de Lixiviación Ingeniería Básica Avanzada: Informe Técnico N° 911-3700-HI-MC-003. Memoria de Cálculo Hidráulico Canal Desvío Quebrada Coloradito. Arcadis Geotecnia Consultores.

G. Proyecto Puquíos. Diseño Pila de Lixiviación Ingeniería Básica Avanzada: Informe Técnico N° 911-3700-HI-MC-004. Memoria de Cálculo Hidráulico Protección Rivera Quebrada Puquíos. Arcadis Geotecnia Consultores.

### 3. Respuesta

En el área de influencia del proyecto (Anexo N° 1 Plano de Ubicación de las Obras), no existen escurrimientos superficiales sostenidos en el tiempo a lo largo del cauce de ninguna de las quebradas. Pero como el proyecto minero considera la disposición del mineral en pilas de lixiviación en el cauce de la Quebrada Coloradito, es necesario el desvío de la Quebrada Coloradito y dos quebradas afluentes a la misma (ubicadas debajo del muro de desvío proyectado), de manera que el agua no interfiera con las pilas. El desvío de la Quebrada Coloradito, se proyecta mediante un muro en el cauce que detiene el agua y la desvía por medio de un canal de 2,5 Km. de largo hasta su descarga a la Quebrada Rajo que descarga a la Quebrada Puquíos.

Para el diseño de las obras, fue necesario determinar el escurrimiento ante una precipitación extrema durante 24 horas, para un periodo de retorno de 100 años en la Quebrada Coloradito en sus dos quebradas afluentes y en la Quebrada Puquíos.

En la Tabla1, se presenta esta información:

Nombre de la Quebrada	Escoorrentía m <sup>3</sup> /s
Coloraditos	55
Quebrada afluente I	0.9
Quebrada afluente II	2.1
Puquíos	90

#### **Desvío de Quebrada Coloradito**

Los elementos que constituyen el sistema de desvío de la Quebrada Coloradito, son:

- ✓ Un rebaje del cauce de la Quebrada Coloradito, un muro y un canal de desvío
- ✓ El rebaje del cauce consiste en aplanar el fondo del cauce de la Quebrada Coloradito a la cota 1.553 desde la posición del muro de desvío, hasta 30 metros aguas arriba.
- ✓ El muro de desvío tiene la función de desviar el flujo proveniente por la Quebrada Coloradito y conducirlo por el canal de desvío. Este muro será de material granular, con una pantalla de hormigón aguas arriba, taludes aguas