ANEXO Nº 5.4.
PERMISO AMBIENTAL SECTORIAL Nº 157

ANTECEDENTES PARA LA OBTENCIÓN DEL PERMISO AMBIENTAL DEL ARTÍCULO N°157 DEL REGLAMENTO DEL SEIA

PROYECTO CANAL PERIMETRAL AL DEPÓSITO DE RELAVE FILTRADOS

Rev. B

Para: Compañía Minera Florida

Preparado por

cph y Asociados S.A.

Noviembre de 2016

ÍNDICE DE MATERIAS

1 INTRODUCCIÓN....1
2 CONTENIDOS TÉCNICOS REQUERIDOS....2
2.1. Descripción del lugar de emplazamiento de la obra, incluyendo un croquis de ubicación general de ésta.... 2
2.2. Descripción de la obra y de sus fases.... 3
2.3. Estimación de los plazos y periodos de construcción de la obra.... 5
2.4. Plano topográfico de planta y perfiles, georreferenciado, de la obra y del área susceptible de ser afectada.... 5
2.5. Memoria del cálculo del estudio hidrológico, hidráulico, de arrastre de sedimentos y de socavaciones, para la situación con y sin proyecto, según corresponda.... 7
2.5.1. Memoria del cálculo del estudio hidrológico 7
2.5.2. Memoria del cálculo del estudio hidráulico 13
2.5.3. Memoria del cálculo del estudio de socavaciones.... 16
2.5.4. Arrastre de sedimentos:.... 24
2.6. Plan de Monitoreo 25
2.6.1. Fase de construcción.... 25
2.6.2. Fase de operación 26
2.6.3. Fase de abandono 26
2.7. Medidas tendientes a minimizar los efectos sobre la calidad de las aguas, aguas abajo del lugar de construcción de las obras.... 26
2.8. Plan de contingencias. 27
2.9. Plan de emergencia, si aplica.... 28
3 CONCLUSION....28
4. REFERENCIAS 28

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas puntos de inicio y entrega. 4
Tabla 2. Datos morfométricos cuencas de interés 8
Tabla 3. Parámetros hidrológicos cuencas de interés 10
Tabla 4. Razón C (T)/C (10) propuesta en la metodología de Verni-King 11
Tabla 5. PP máxima en 24 hrs. estación La Serena 11
Tabla 6. Compilado de resultados análisis de frecuencias 12
Tabla 7. Cálculo de caudales para distintos PR cuenca aportante 1 12
Tabla 8. Cálculo de caudales para distintos PR cuenca aportante 2 13
Tabla 9. Datos ejes hidráulicos perfiles 1-1 y 2-1 16
Tabla 10. Resultado análisis granulométrico calicata Socava-1 19
Tabla 11. Resultado análisis granulométrico calicata Socava-2 20
Tabla 12. Resultado análisis granulométrico calicata Socava-3 21
Tabla 13. Estimación de socavación general Perfil 1-1 23
Tabla 14. Estimación de socavación general Perfil 2-1 23

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Plano de ubicación general de las obra. 2
Figura 2. Verificación hidráulica del canal. 3
Figura 3. Trazado del canal y puntos de inicio y entrega 4
Figura 4. Plano topográfico de detalle 5
Figura 5. Perfil transversal modelo hidráulico 6
Figura 6. Perfil longitudinal modelo hidráulico 6
Figura 7. Cuencas hidrológicas aportantes en Google Earth 7
Figura 8. Plano planta cuencas aportantes 8
Figura 9. Curva Coeficiente Duración Promedio 10
Figura 10. Perfil topográfico 1.1 cuenca 1 13
Figura 11. Perfil topográfico 1.2 cuenca 1 14
Figura 12. Perfil topográfico 2.1 cuenca 2 14
Figura 13. Perfil topográfico 2.2 cuenca 2 15

Figura 14. Eje hidráulico caudal 0,77 m^3/s perfil 1-1 Cuenca 1 15
Figura 15. Eje hidráulico caudal 0,79 m^3/s perfil 2-1 Cuenca 1 16
Figura 16. Ubicación perfiles hidráulicos y de estimación de socavación 17
Figura 17. Ubicación calicatas, perfiles y obra. 18
Figura 18. Perfil granulométrico calicata Socava 1 19
Figura 19. Perfil granulométrico calicata Socava 2 20
Figura 20. Perfil granulométrico calicata Socava 2 21
Figura 21. Perfil del suelo de la zona del proyecto 25

ANEXO 1 Plano topográfico de detalle

ANEXO 2 Cálculo de distribución de probabilidades precipitación máxima 24 hrs

1 INTRODUCCIÓN

El presente informe presenta los antecedentes técnicos para la evaluación ambiental de las obras destinadas a interceptar eventuales aguas de escurrimiento superficial, consistentes en un canal perimetral al proyecto de Tranque de Relaves Filtrados de Cía. Minera Florida. Estas se instalarán en un predio de su propiedad, donde se encuentran las instalaciones de Faena Tambillos. Este depósito permitirá dar continuidad operacional a la Planta de Beneficio a una tasa de producción de 3.000 tpd de mineral, ampliando la vida útil a siete años; considerando una generación de relaves de 2.880 ton/día y una capacidad de almacenamiento de 3.540.293 m^3, equivalentes a 7.256.600 t.

En este caso, el canal perimetral constituye una obra de regularización de cauces naturales, por cuanto está destinado interceptar eventuales aguas de escurrimiento superficial para desviarlas perimetralmente de la obra y disponerlas aguas abajo de la misma.

El permiso para efectuar obras de regularización o defensa de cauces naturales, será el establecido en los incisos 1º y 2º del artículo 171 del Decreto con Fuerza de Ley Nº 1.122, de 1981, del Ministerio de Justicia, Código de Aguas.

El requisito para su otorgamiento consiste en no afectar la vida o salud de los habitantes, mediante la no alteración significativa del escurrimiento y de los procesos erosivos naturales del cauce y la no contaminación de las aguas.

Los contenidos técnicos y formales a presentarse para acreditar su cumplimiento son:

a) Descripción del lugar de emplazamiento de la obra, incluyendo un croquis de ubicación general de ésta.
b) Descripción de la obra y de sus fases.
c) Estimación de los plazos y periodos de construcción de las obras.
d) Plano topográfico de planta y perfiles, georreferenciado, de la obra y del área susceptible de ser afectada.
e) Memoria del cálculo del estudio hidrológico, hidráulico, de arrastre de sedimentos y de socavaciones, para la situación con y sin proyecto, según corresponda.
f) Plan de Monitoreo.
g) Medidas tendientes a minimizar los efectos sobre la calidad de las aguas, aguas abajo del lugar de construcción de las obras.
h) Plan de contingencias.

i) Plan de emergencia, si aplica.

2 CONTENIDOS TÉCNICOS REQUERIDOS

2.1. Descripción del lugar de emplazamiento de la obra, incluyendo un croquis de ubicación general de ésta.

La obra se ubica en la Faena que Minera Florida posee en la localidad de Tambillos, Región de Coquimbo. Puntualmente, la obra comprende un canal perimetral que se ubicará bordeando el depósito de relaves filtrados, por el sector sur-este del mismo, constituyéndose en un elemento destinado a impedir aguas de contacto. Las obras se emplazarán en una planicie cercana que colinda con el depósito de relave. En la **Figura 1** puede apreciarse la ubicación de la obra.

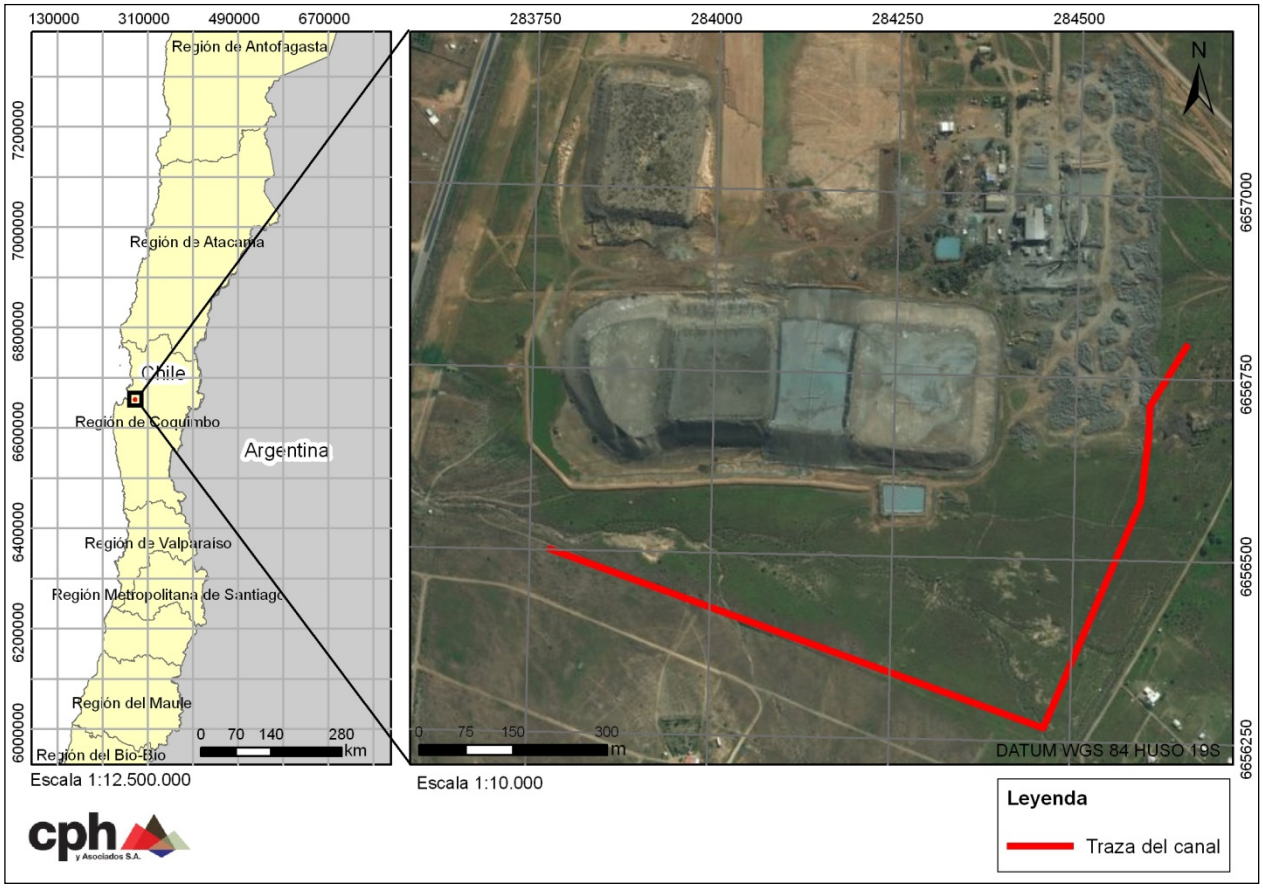

Figura 1. Plano de ubicación general de las obra.
Fuente: Elaboración propia.

2.2.Descripción de la obra y de sus fases.

La obra de construcción del canal tiene por objeto interceptar las aguas que eventualmente escurran por las quebradas de dos cuencas ubicadas en el sector sur-este del depósito de relaves.

En la **Figura 2** se muestra el detalle de los cálculos que definen las dimensiones del canal.

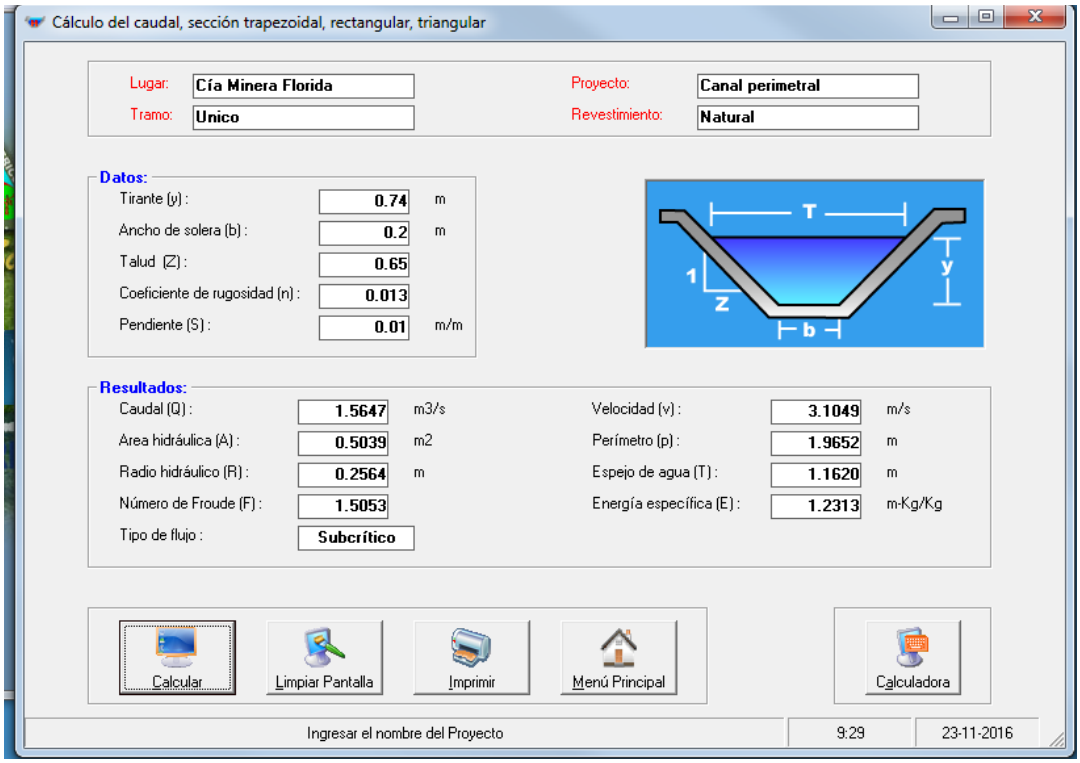

Figura 2. Verificación hidráulica del canal.
Fuente: cálculos propios en software H-canales.

Con los datos anteriores se proyecta una profundidad de excavación de 1,10 m para dejar una revancha de 0,36 m, esto genera una mesa de 1,64 m y una sección transversal total de 1,1 m^2. La longitud del canal es de 1.320 m = 1,32 km. Dado el tipo de flujo sub crítico, la pendiente de 1% y las características del terreno a excavarse manifestada en el coeficiente de rugosidad de 0,013, correspondiente a fondo y a paredes fuertemente cementados y con ripios (**Figura 21**), se propone un canal sin recubrimiento artificial.



Figura 3. Trazado del canal y puntos de inicio y entrega
Fuente: Elaboración propia sobre imagen satelital

Tabla 1. Coordenadas puntos de inicio y entrega.

Punto	Coordenadas UTM Datum WGS 1984	
	Este (m)	Norte (m)
Inicio	284656	6656792
Entrega	283780	6656497

Fuente: cálculos propios

Finalmente, las fases y actividades de la construcción son las siguientes.

- Fase de Construcción:
  - ✓ Replanteo y demarcación topográfica.
  - ✓ Excavación y movimiento de tierras.
- Fase de Operación:
  - ✓ Mantención de las obras.
  - ✓ Aplicación planes de monitoreo, contingencias y emergencias.
- Fase de Cierre:
  - ✓ Mantención de las obras.
  - ✓ Aplicación planes de monitoreo, contingencias y emergencias.

2.3. Estimación de los plazos y periodos de construcción de la obra.

Dadas las dimensiones del canal: sección transversal de una profundidad total del orden de 1,1 m, una longitud de 1.320 m, se estima que utilizando una máquina retroexcavadora será construido en un plazo máximo de 10 días, en un sólo período y con 1 turno de trabajo.

2.4. Plano topográfico de planta y perfiles, georreferenciado, de la obra y del área susceptible de ser afectada.

En la **Figura 4** y **Anexo 1** se observa el plano topográfico de detalle.

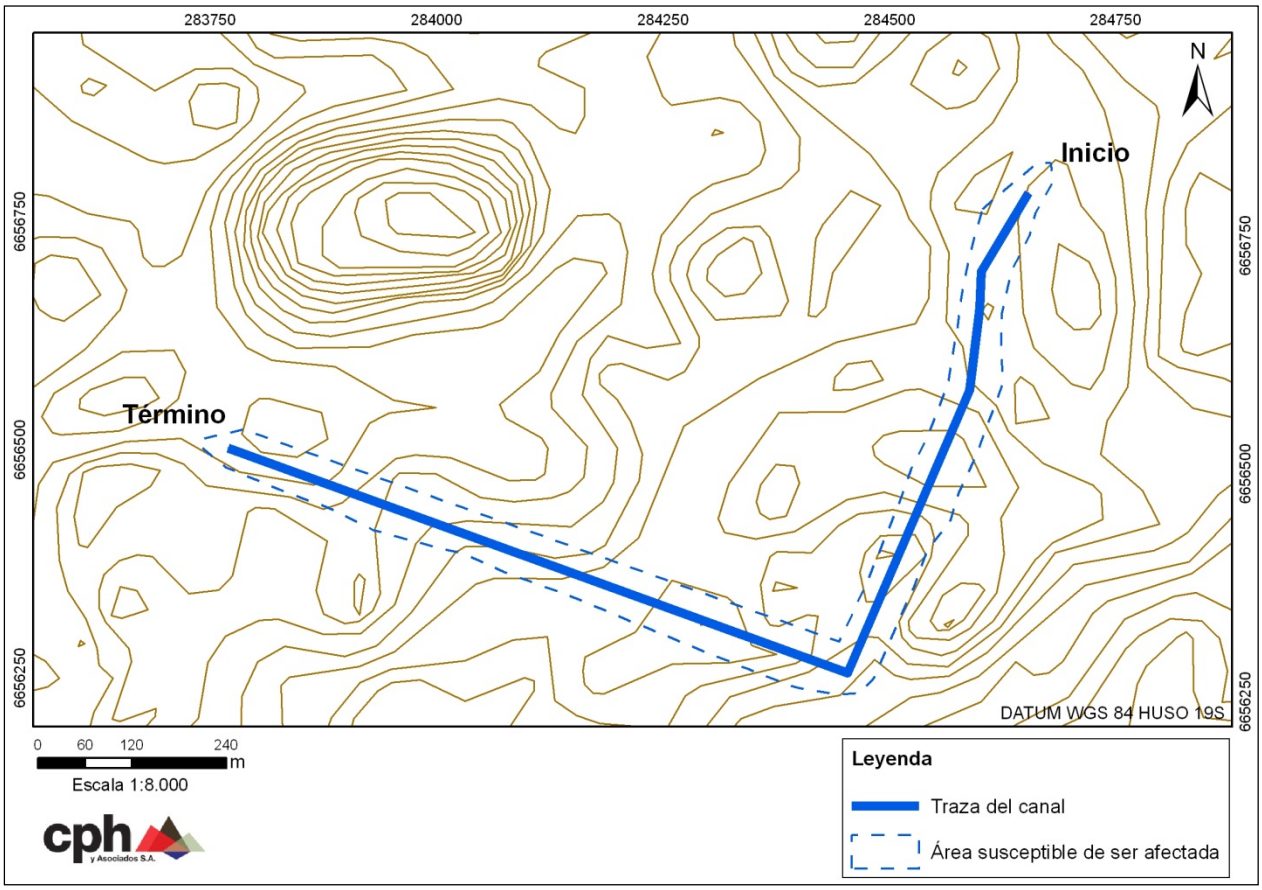

Figura 4. Plano topográfico de detalle

Fuente: Elaboración propia sobre curvas de nivel en base a NASA - ASTER GDEM V2 Worldwide Elevation Data.

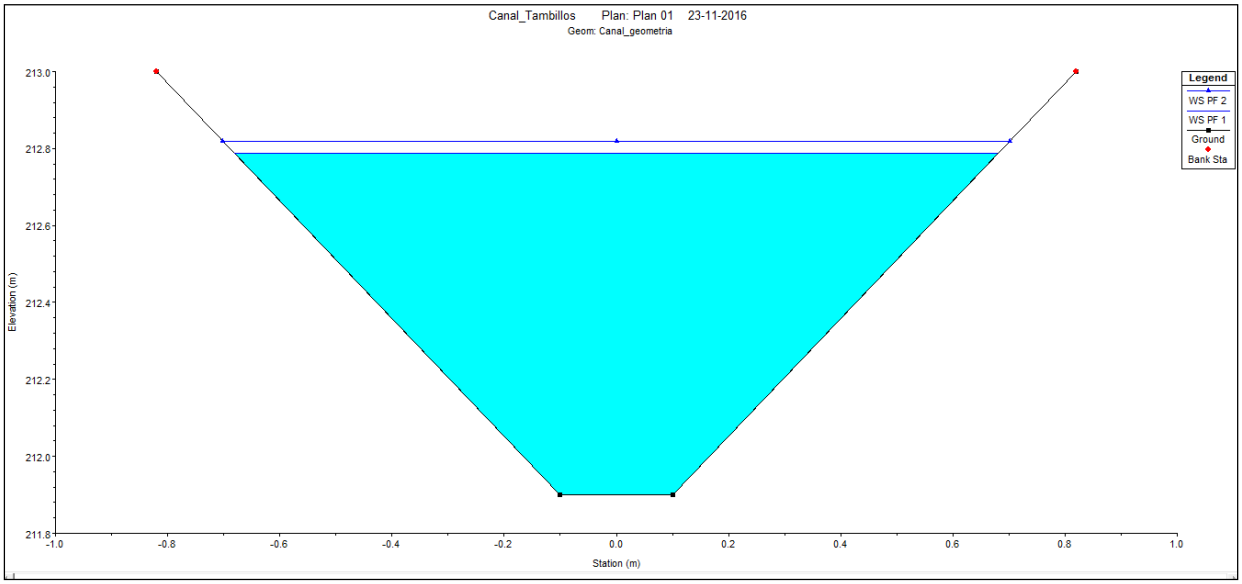

Figura 5. Perfil transversal modelo hidráulico
Fuente: Elaboración propia.

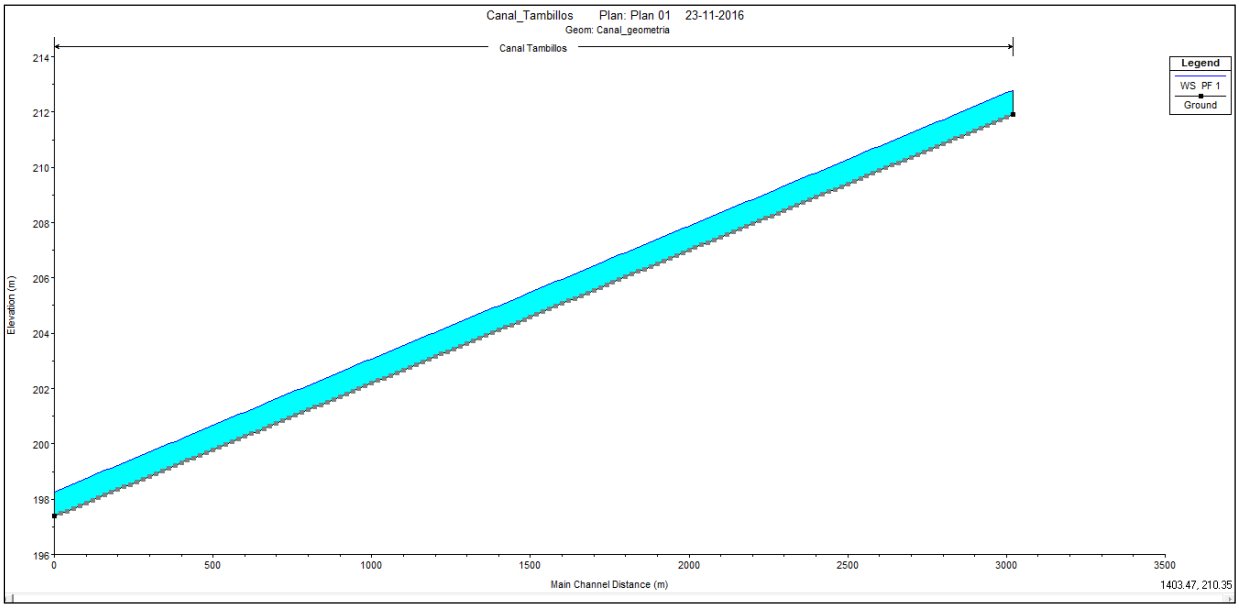

Figura 6. Perfil longitudinal modelo hidráulico
Fuente: Elaboración propia.

2.5. Memoria del cálculo del estudio hidrológico, hidráulico, de arrastre de sedimentos y de socavaciones, para la situación con y sin proyecto, según corresponda.

2.5.1. Memoria del cálculo del estudio hidrológico

El estudio hidrológico ha sido elaborado con la finalidad de establecer los caudales aportantes a la obra, los cuales definen su diseño en cuanto a dimensiones de sección transversal y condiciones de escurrimiento.

Las cuencas aportantes a la obra, que será protegida por el canal perimetral se determinaron mediante topografía obtenida de NASA - ASTER GDEM V2 Worldwide Elevation Data cuya resolución en planta es de 1 arcosegundo o su equivalente de 30 m, con este apoyo más imágenes Google Earth se elaboró un plano de divisoria de cuencas, con el cual se dimensionaron las características de las cuencas aportantes en cuanto a superficie y desniveles. La equidistancia de las curvas de nivel bajadas fue de 2 m.

La **Figuras 5** y **Figura 6** muestran el reconocimiento de las cuencas aportantes al canal perimetral.



Figura 7. Cuencas hidrológicas aportantes en Google Earth
Fuente: Elaboración propia sobre imagen satelital

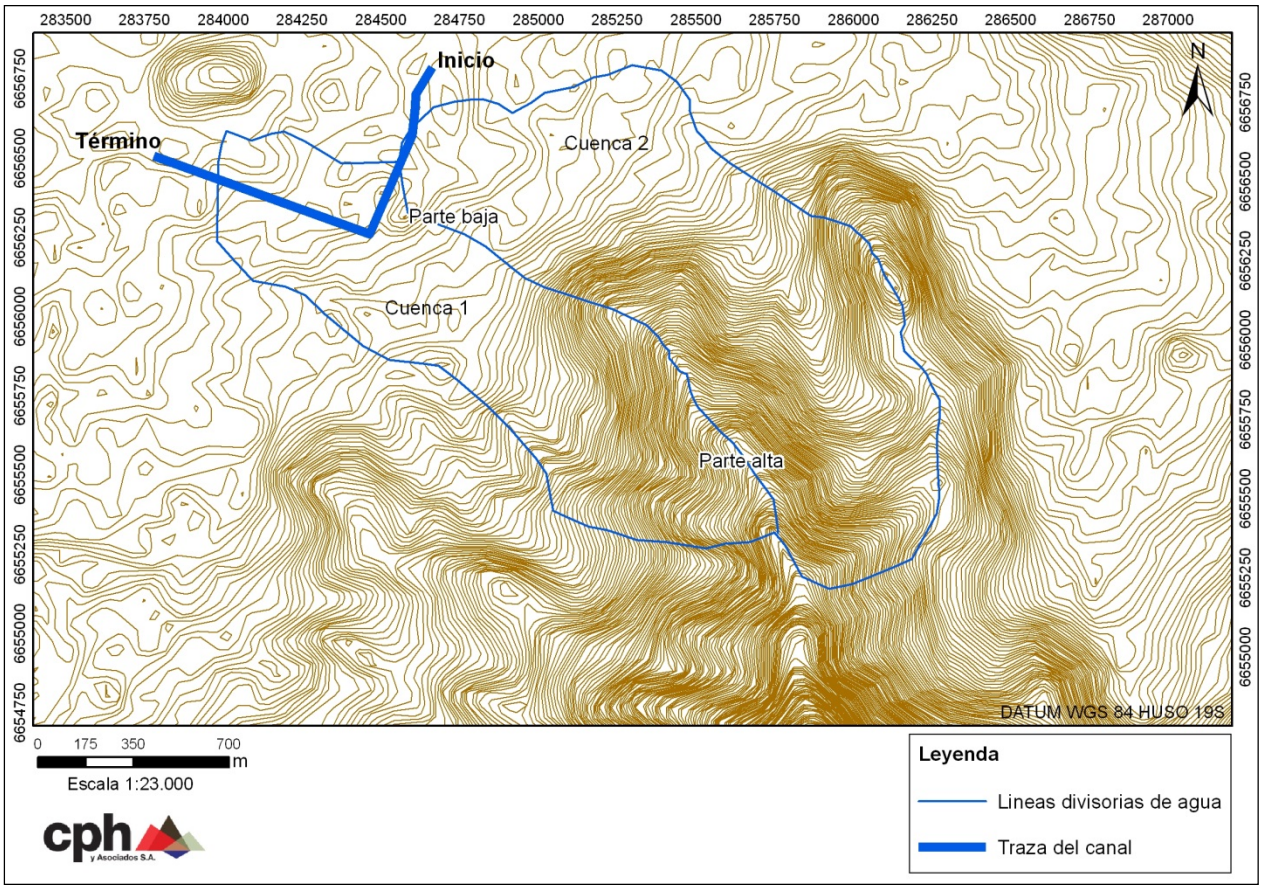

Figura 8. Plano planta cuencas aportantes
Fuente: Elaboración propia

Las características morfométricas de interés para el cálculo son las siguientes:

Tabla 2. Datos morfométricos cuencas de interés

Cuenca	Superficie arriba canal	Largo cauce principal	Desnivel
	km^2	m	m
1	0,8	858	186
2	1,3	2200	220

Fuente: cálculos propios

El método de cálculo que se desarrolla en esta memoria para obtener el caudal máximo asociado a un determinado periodo de retorno, es el Método Racional, siguiendo la aplicación propuesta por DGA en el Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas sin Información Fluviométrica (DGA, 1995).

El cálculo de caudales que se realiza a través del método Racional, utiliza la fórmula que se expresa a continuación:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{3.6}$$

En que:

Q	:	Gasto máximo en crecida, en m3/s
C	:	Coeficiente de escorrentía
I	:	Intensidad máxima, correspondiente a una lluvia de duración igual al tiempo de concentración del sector analizado, en mm/hr.
A	:	Superficie de la zona aportante, en km^2.

Los cálculos efectuados implican los siguientes antecedentes y el Nº indica la columna de la tabla de resultados de la aplicación.

Columna 1 Período de retorno (PR)

Columna 2 Coeficiente empírico de período de retorno 10 años (Ref 1)1

Columna 3 Curva de frecuencias de coeficientes empírico referido al valor de período de retorno 10 años (Ref 1)

Columna 4 Coeficiente de período de retorno T años (Ref 1)

Columna 5 Precipitación diaria máxima de período de retorno 10 años

Columna 6 Coeficiente de frecuencia de la cuenca (Ref 2)2

Columna 7 Curva de frecuencias de precipitación diaria máxima

Columna 8 Tiempo de concentración de la cuenca

Columna 9 Coeficiente de duración para el tiempo de concentración

Columna 10 Intensidad media de la precipitación para una duración igual al tiempo de concentración y para un período de retorno T

Columna 11 Curva de frecuencia del caudal instantáneo máximo para cada PR

En este caso, el tiempo de concentración de la cuenca se calculó mediante la sugerencia efectuada por la DGA (Ref. 1) aplicando la fórmula del California Highways and Public Work de EEUU. Este señala lo siguiente.

$$t_c = 0{,}95(L^3 / H)^{0{,}385}$$

[1] DGA. 1995. Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas sin Información Fluviométrica

[2] DGA. s/f. Balance Hídrico de Chile.

Donde, L corresponde al largo del cauce principal (Km) y H al desnivel máximo de la cuenca (m).

Los coeficientes de duración de cada cuenca, parámetro asociado al tiempo de concentración, se calculan extrapolando la tabla 2.2 (pg. 31) del manual de la DGA, cuyo rango mínimo es de 1 hora, tal como se muestra en la **Figura 9.**

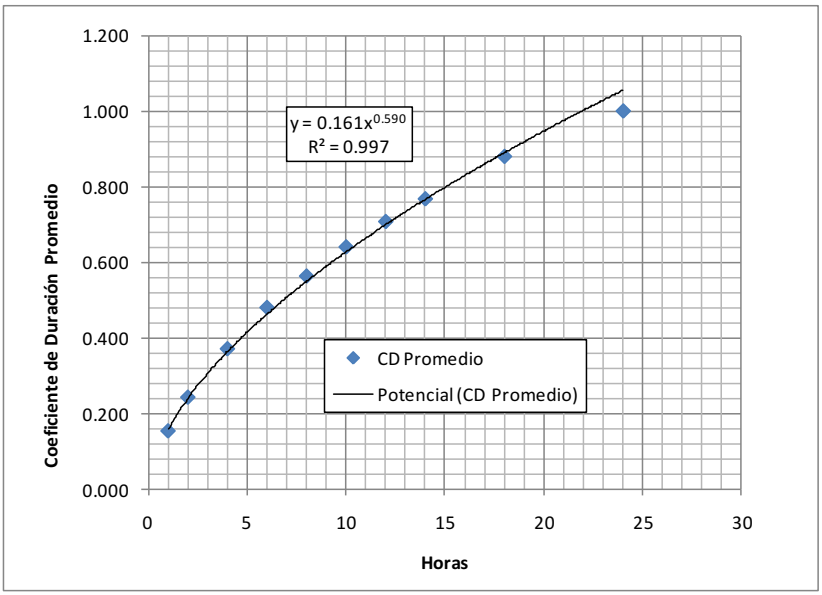

Figura 9. Curva Coeficiente Duración Promedio
Fuente: Modificado de Ref. 1

Aplicando la curva de ajuste de la figura precedente, para los tiempos de concentración calculados para cada cuenca se obtiene un coeficiente de duración que se indican en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Parámetros hidrológicos cuencas de interés

Cuenca	Tiempo de concentración	Coeficiente de duración
	hrs	ad
1	0,11	0,044
2	0,31	0,081

Fuente: cálculos propios
Nota: ad= adimensional

Para el cálculo del caudal de diseño se ha adoptado el coeficiente de escorrentía base C(T=10) propuesto para la IV región, Cuenca del Limarí que de acuerdo a la metodología toma un valor de C(T=10)=0,078. Para determinar el coeficiente de escorrentía C(T),

asociado a una frecuencia T años, se utiliza la razón C(T)/C(T=10) presentada en la tabla siguiente, propuesta en la metodología de Verni-King contenida en el "Manual de cálculo de crecidas y caudales mínimos en cuencas sin información fluviométrica", DGA, 1995.

Tabla 4. Razón C (T)/C (10) propuesta en la metodología de Verni-King

T (años)	C(T)/C(T=10) IV Región, Limari
2	0.44
5	0.75
10	1.00
20	1.26
50	1.62
100	1.91

Fuente: Ref. 1

La precipitación de diseño se calcula con los datos de lluvias máximas en 24 horas medidas en la estación meteorológica ubicada en La Serena, dependiente de la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas. Con estos datos actualizados se calculó, mediante software Frec de análisis de frecuencias, las probabilidades de excedencia asociadas a la serie de datos.

Tabla 5. PP máxima en 24 hrs. estación La Serena

Año	Máxima en 24 hrs	Año	Máxima en 24 hrs	Año	Máxima en 24 hrs
1978	20.00	1991	38.10	2004	33.20
1979	2.50	1992	71.50	2005	19.00
1980	29.50	1993	32.50	2006	20.90
1981	25.50	1994	20.90	2007	12.10
1982	17.50	1995	2.50	2008	48.80
1983	83.50	1996	16.00	2009	30.00
1984	43.00	1997	40.30	2010	20.80
1985	16.10	1998	16.00	2011	96.00
1986	12.40	1999	11.00	2012	15.50
1987	93.80	2000	21.00	2013	19.50
1988	5.00	2001	63.10	2014	71.00
1989	7.30	2002	52.80		
1990	11.00	2003	44.50		

Fuente: Ref 2

El análisis de frecuencia, cuyo análisis completo se muestran en el **Anexo 1**, da cuenta de los siguientes resultados.

Tabla 6. Compilado de resultados análisis de frecuencias

PR (años)	PE (%)	Normal	Log Normal	Log Normal 3	Gumbell	Gamma	Gamma 3
1000	0.10	109.88	363.22	243.04	137.75	92.05	97.11
500	0.20	104.35	298.72	208.17	126.05	92.05	97.11
200	0.50	96.69	227.81	167.80	110.57	92.05	97.11
150	0.67	sd	sd	150.01	sd	sd	sd
100	1.00	90.45	182.70	140.67	98.84	92.05	97.10
50	2.00	83.60	143.39	115.78	87.06	92.04	97.10
20	5.00	73.33	99.70	86.22	71.34	78.11	81.20
10	10.00	64.20	72.19	66.12	59.20	63.55	65.13
5	20.00	53.14	48.82	47.65	46.54	48.39	48.60
3.33	30.00	45.18	36.83	37.42	38.63	39.07	38.67
2.50	40.00	38.30	28.95	30.29	32.57	32.07	31.33
2.00	50.00	32.00	23.11	24.74	27.42	26.41	25.45
1.67	60.00	25.64	18.45	20.07	22.72	21.39	20.39
1.43	70.00	18.83	14.50	15.90	18.11	16.82	15.87
1.25	80.00	10.86	10.94	11.92	13.21	12.45	11.68
1.18	85.00	5.96	9.20	9.87	10.44	10.13	9.62
1.11	90.00	0.00	7.40	7.66	7.17	7.82	7.57
1.04	96.00	0.00	5.36	5.00	2.13	5.12	5.30
Test Chi^2 calculado		18.35	3.43	2.57	13.81	4.30	2.14
Test Chi^2 límite		11.10	11.10	9.49	11.10	11.10	9.49

Fuente: cálculos propios

Para determinar el caudal máximo para distintos Períodos de Retorno (PR), según indica el método, se adopta el monto de 66,12 mm como precipitación máxima en 24 horas, para un período de retorno de 10 años (P_{24}^{10}). La distribución de caudales aplicando la metodología propuesta se presenta a continuación.

Tabla 7. Cálculo de caudales para distintos PR cuenca aportante 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
T (años)	C(10)	C(T)/C(10)	C(T)	P_{24}^{10} (mm)	CF_T	P_{24}^{T} (mm)	tc (hrs)	CD_{tc}	I_{tc}^{T}	Q (m^3/s)
2	0.078	0.44	0.034	66.1	0.485	32.07	0.11	0.04	13.40	0.23
5	0.078	0.75	0.059	66.1	0.795	52.57	0.11	0.04	21.96	0.38
10	0.078	1.00	0.078	66.1	1.000	66.12	0.11	0.04	27.63	0.48
20	0.078	1.26	0.098	66.1	1.192	78.82	0.11	0.04	32.93	0.57
50	0.078	1.62	0.126	66.1	1.436	94.95	0.11	0.04	39.67	0.69
100	0.078	1.91	0.149	66.1	1.615	106.78	0.11	0.04	44.62	0.77

Fuente: Cálculos propios

Tabla 8. Cálculo de caudales para distintos PR cuenca aportante 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
T (años)	C(10)	C(T)/C(10)	C(T)	P_{24}^{10} (mm)	CF_T	P_{24}^{T} (mm)	tc (hrs)	CD_{tc}	I_{tc}^{T}	Q (m^3/s)
2	0.078	0.44	0.034	66.1	0.485	32.07	0.31	0.08	8.38	0.24
5	0.078	0.75	0.059	66.1	0.795	52.57	0.31	0.08	13.73	0.39
10	0.078	1.00	0.078	66.1	1.000	66.12	0.31	0.08	17.28	0.49
20	0.078	1.26	0.098	66.1	1.192	78.82	0.31	0.08	20.59	0.58
50	0.078	1.62	0.126	66.1	1.436	94.95	0.31	0.08	24.81	0.70
100	0.078	1.91	0.149	66.1	1.615	106.78	0.31	0.08	27.90	0.79

Fuente: Cálculos propios

El caudal de diseño del canal perimetral es de 1,56 m^3/s.

2.5.2. Memoria del cálculo del estudio hidráulico

El estudio hidráulico que se presenta para ambas cuencas en su parte distal establece cuales son las condiciones del escurrimiento.

Los perfiles topográficos para elaborar los perfiles hidráulicos con los caudales generados para cada cuenca se muestran en las figuras siguientes. Se elaboraron dos perfiles en cada cuenca, en la parte distal de cada una, a objeto de posteriormente evaluar hidráulicamente el tramo entre ambas secciones mediante Software Hec Ras.

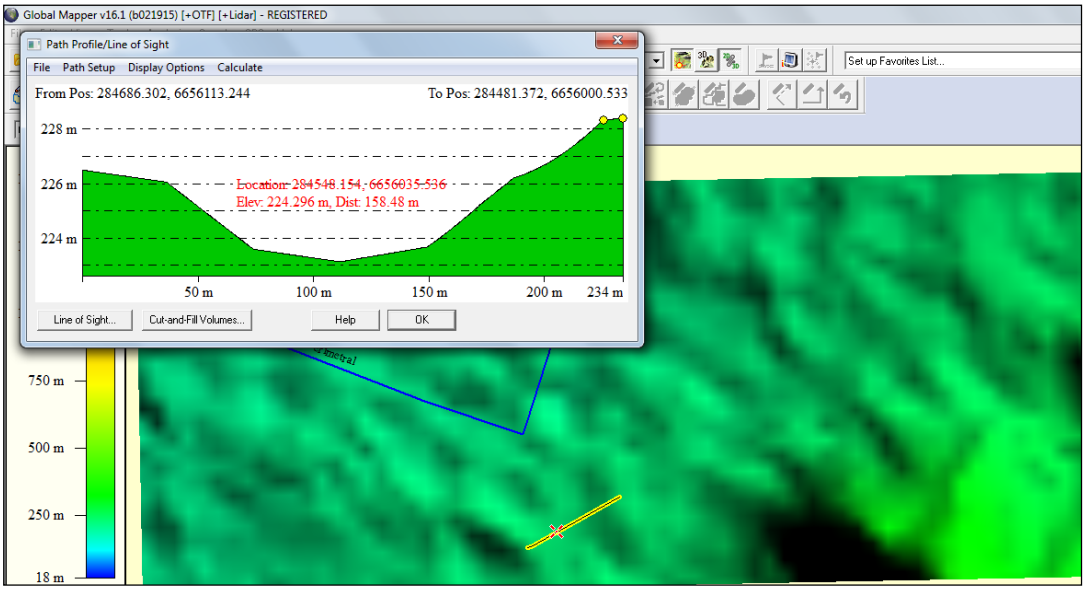

Figura 10. Perfil topográfico 1.1 cuenca 1
Fuente: Elaboración propia sobre ASTER GDEM

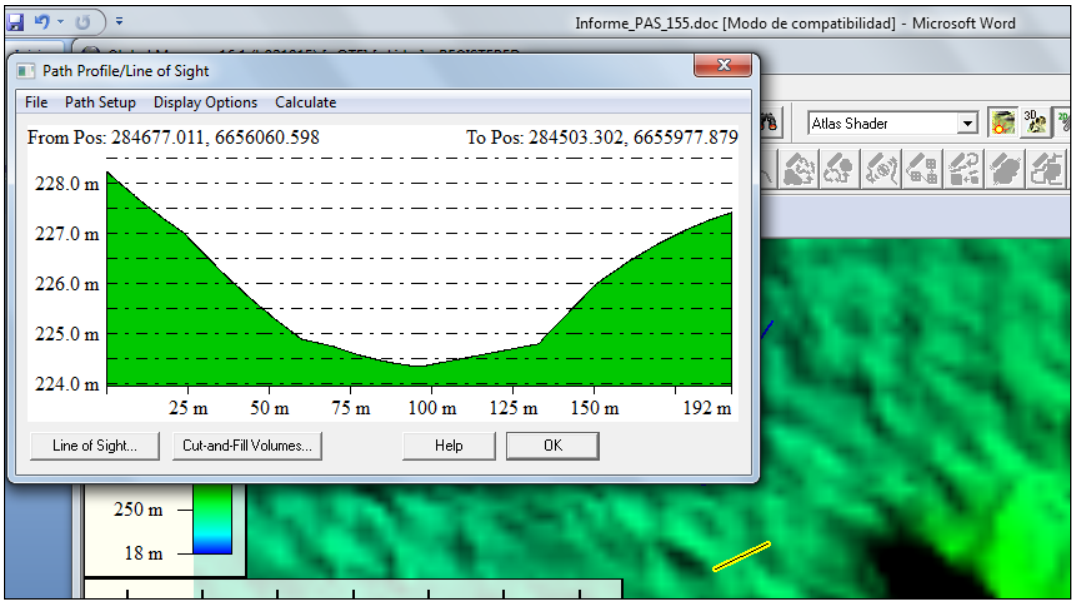

Figura 11. Perfil topográfico 1.2 cuenca 1
Fuente: Elaboración propia sobre ASTER GDEM

La distancia horizontal entre los perfiles 1-1 y 1-2 es de 30 metros.

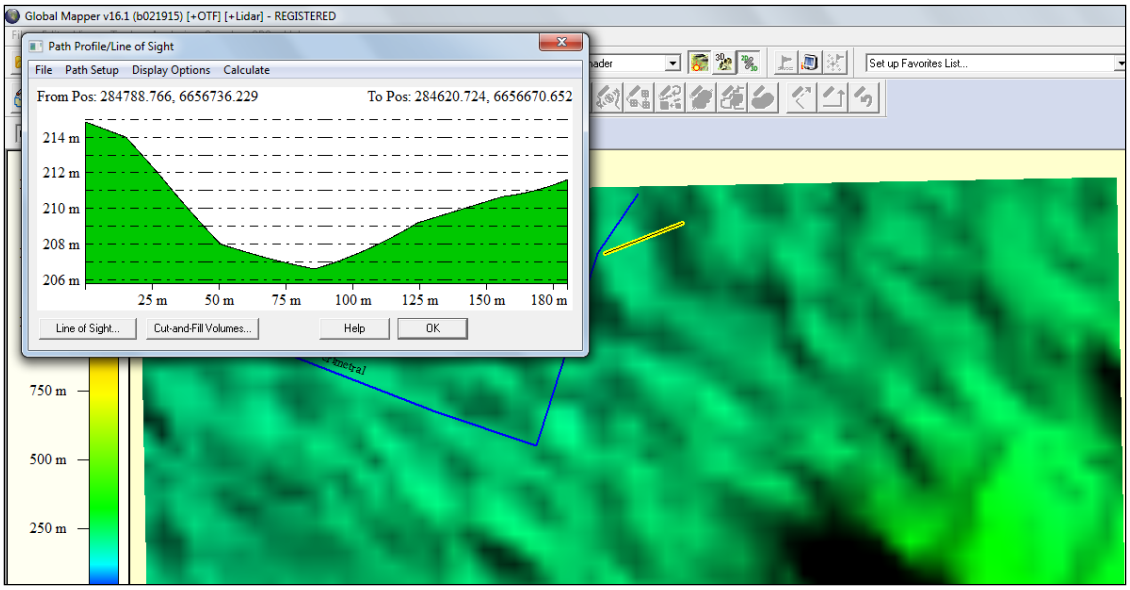

Figura 12. Perfil topográfico 2.1 cuenca 2
Fuente: Elaboración propia sobre ASTER GDEM

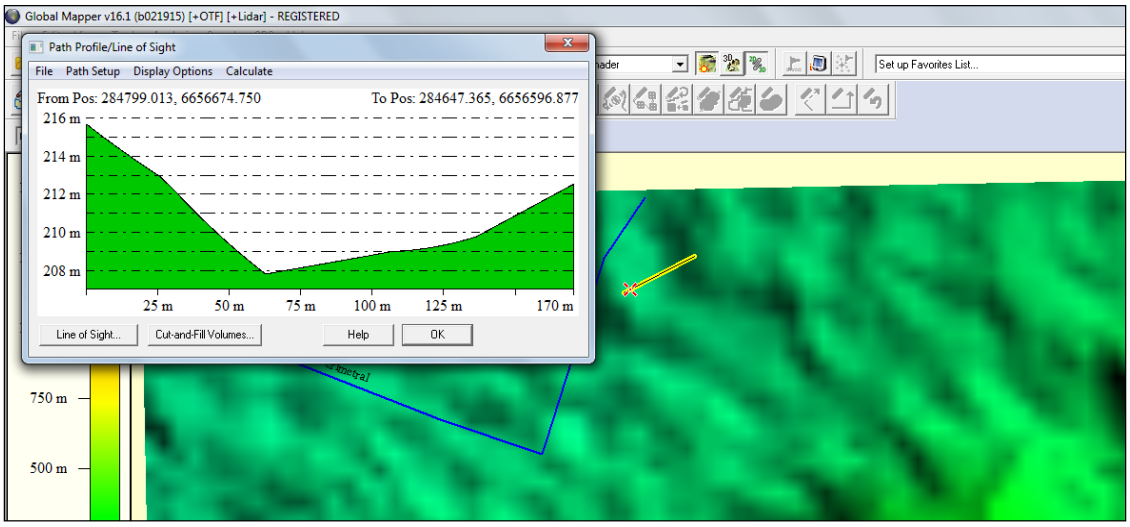

Figura 13. Perfil topográfico 2.2 cuenca 2
Fuente: Elaboración propia sobre ASTER GDEM

La distancia horizontal entre los perfiles 2-1 y 2-2 es de 47 m.

Con los datos de los perfiles se elaboró la hidráulica de ambos tramos entre las secciones identificadas. Para el caso que nos ocupa, interesa conocer el eje hidráulico de la sección de más abajo, donde se calculará posteriormente la socavación. Se usó un coeficiente de fricción (Manning) de 0,025 consistente con el tipo de suelo.

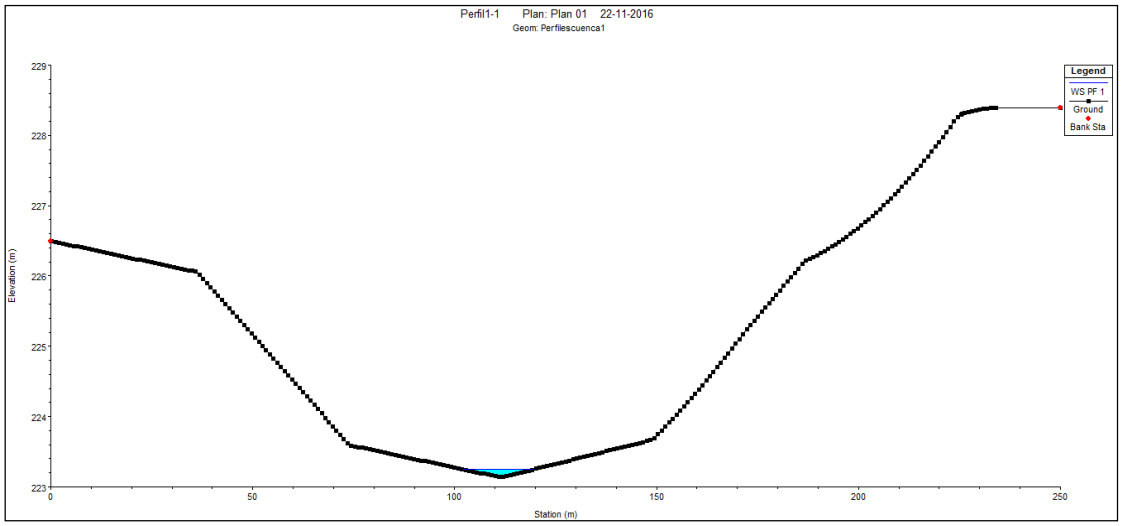

Figura 14. Eje hidráulico caudal 0,77 m^3/s perfil 1-1 Cuenca 1

Fuente: cálculos propios mediante software Hec Ras

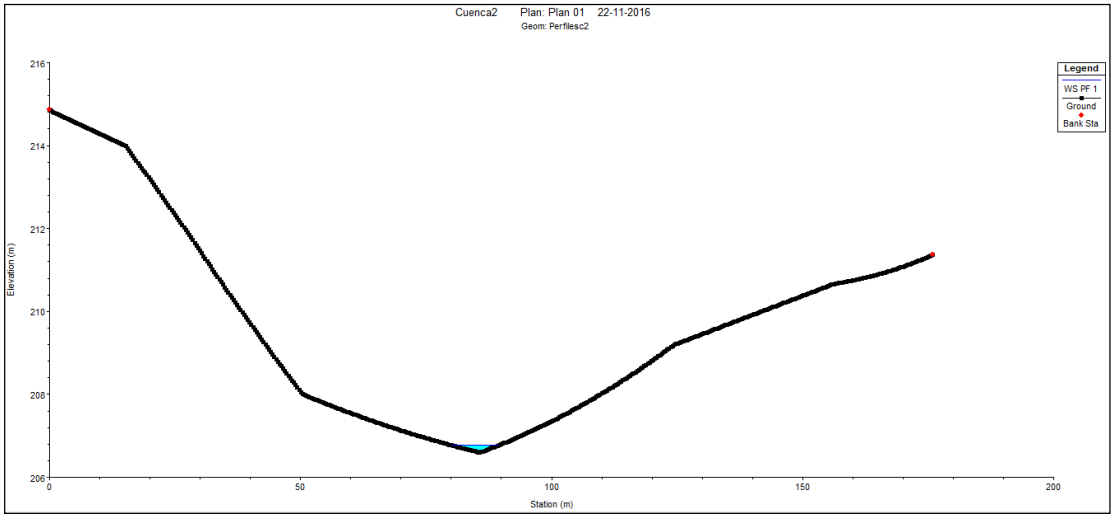

Figura 15. Eje hidráulico caudal 0,79 m^3/s perfil 2-1 Cuenca 1
Fuente: cálculos propios mediante software Hec Ras

Las características hidráulicas de las secciones de evaluación se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 9. Datos ejes hidráulicos perfiles 1-1 y 2-1

Perfil	PR	Caudal	Velocidad	Ancho	Area	Altura agua
	Años	m^3/s	m/s	m	m^2	m
1-1	100	0.77	0.74	18.92	1.04	0.13
2-1	100	0.79	0.97	8.67	0.81	0.24

Fuente: cálculos propios mediante software Hec Ras

2.5.3. Memoria del cálculo del estudio de socavaciones

La socavación esperada se calculó en dos perfiles transversales a los escurrimientos principales de cada cuenca aportante al canal perimetral. La ubicación de estos perfiles se muestra en la **Figura 16**.



Figura 16. Ubicación perfiles hidráulicos y de estimación de socavación
Fuente: Elaboración propia sobre imagen satelital

La estimación de la socavación requiere conocer ciertos parámetros hidráulicos y de la composición del suelo en el lugar donde se estimará la potencial socavación. Los datos para esto se obtuvieron de la modelación hidráulica efectuada en los perfiles 1-1-y 2-1 mediante software Hec Ras Versión 4.0 que se desarrolló en el acápite anterior.

La composición del suelo requirió efectuar tres calicatas en la zona de construcción del canal perimetral. De ellas se obtuvieron muestras que fueron sometidas a análisis de granulometría. Los puntos donde se hicieron las calicatas se muestran en la **Figura 17**.



Figura 17. Ubicación calicatas, perfiles y obra.
Fuente: Elaboración propia sobre imagen satelital

Los resultados de los ensayos granulométricos se muestran en la **Tabla 10**.

Tabla 10. Resultado análisis granulométrico calicata Socava-1
Fuente: Soc. Minera Florida.

ANALISIS GRANULOMETRICO A SUELOS SECTOR RELAVE FILTRADO					
MUESTRA SOCAVA_1					
	Tamaño	Peso		AC (+)	Ac (-)
TYLER	micrómetro	(g)	(%)	%	%
2,5"	63500	0	0,00	0,0	100,00
2"	50800	515	4,45	4,45	95,55
1,5"	38100	880	7,60	12,04	87,96
1"	25400	751	6,48	18,52	81,48
3/4	19050	560	4,83	23,36	76,64
1/2	12700	603	5,20	28,56	71,44
3/8	9520	467	4,03	32,59	67,41
1/4	6350	1190	10,27	42,86	57,14
1/8	3175	1110	9,58	52,44	47,56
12	1700	1940	16,75	69,19	30,81
18	1000	1239	10,69	79,88	20,12
30	600	973	8,39	88,28	11,72
50	300	881	7,60	95,88	4,12
100	150	382	3,29	99,17	0,83
140	106	11	0,09	99,27	0,73
200	75	73	0,63	99,90	0,10
-200	-75	12	0,10	100,00	0,00
		11586	100		

Calculo General	Abertura mm	Acum. Pasante (%)
Dato Mayor	25.400,000	81,48
Dato Menor	19.050,000	76,64
P(80)	23262,03	

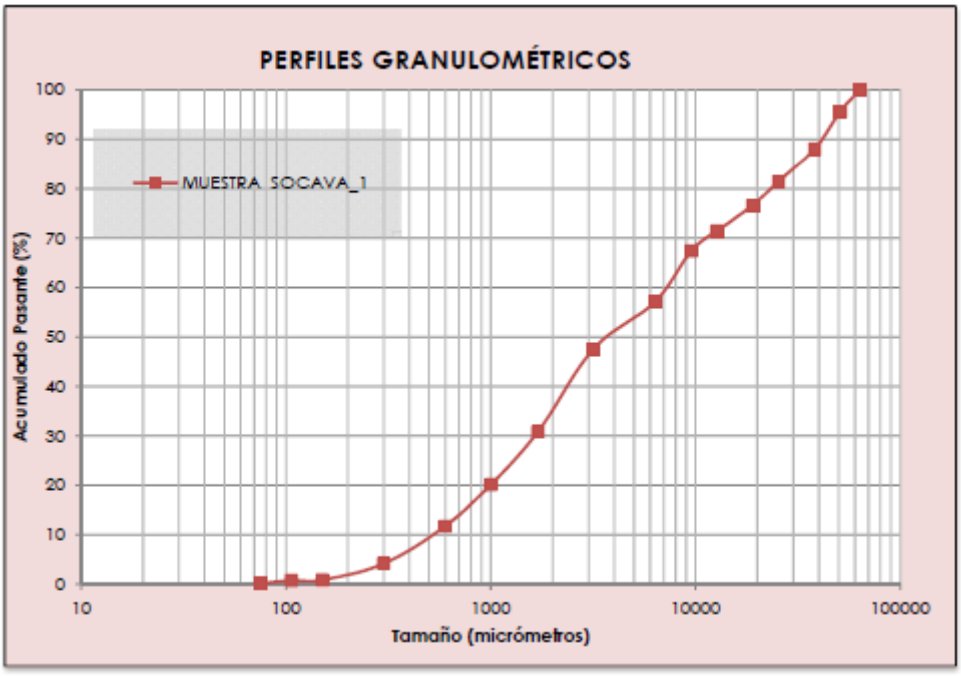

Figura 18. Perfil granulométrico calicata Socava 1
Fuente: Soc. Minera Florida.

Tabla 11. Resultado análisis granulométrico calicata Socava-2
Fuente: Soc. Minera Florida.

ANALISIS GRANULOMETRICO A SUELOS SECTOR RELAVE FILTRADO					
MUESTRA SOCAVA_2					
	Tamaño	Peso		AC (+)	Ac (-)
TYLER	micrómetro	(g)	(%)	%	%
2,5"	63500	0	0,00	0,0	100,00
2"	50800	974	8,82	8,82	91,18
1,5"	38100	1037	9,39	18,20	81,80
1	25400	1445	13,08	31,29	68,71
3/4	19050	615	5,57	36,85	63,15
1/2	12700	515	4,66	41,51	58,49
3/8	9520	487	4,41	45,92	54,08
1/4	6350	860	7,79	53,71	46,29
1/8	3175	1083	9,80	63,51	36,49
12	1700	1199	10,85	74,37	25,63
18	1000	1088	9,85	84,22	15,78
30	600	691	6,26	90,47	9,53
50	300	557	5,04	95,51	4,49
100	150	312	2,83	98,34	1,66
140	106	84	0,76	99,10	0,90
200	75	74	0,67	99,77	0,23
-200	-75	26	0,23	100,00	0,00
		11047	100		

Calculo General	Abertura mm	Acum. Pasante (%)
Dato Mayor	38.100,000	81,80
Dato Menor	25.400,000	68,71
P(80)	36037,51	

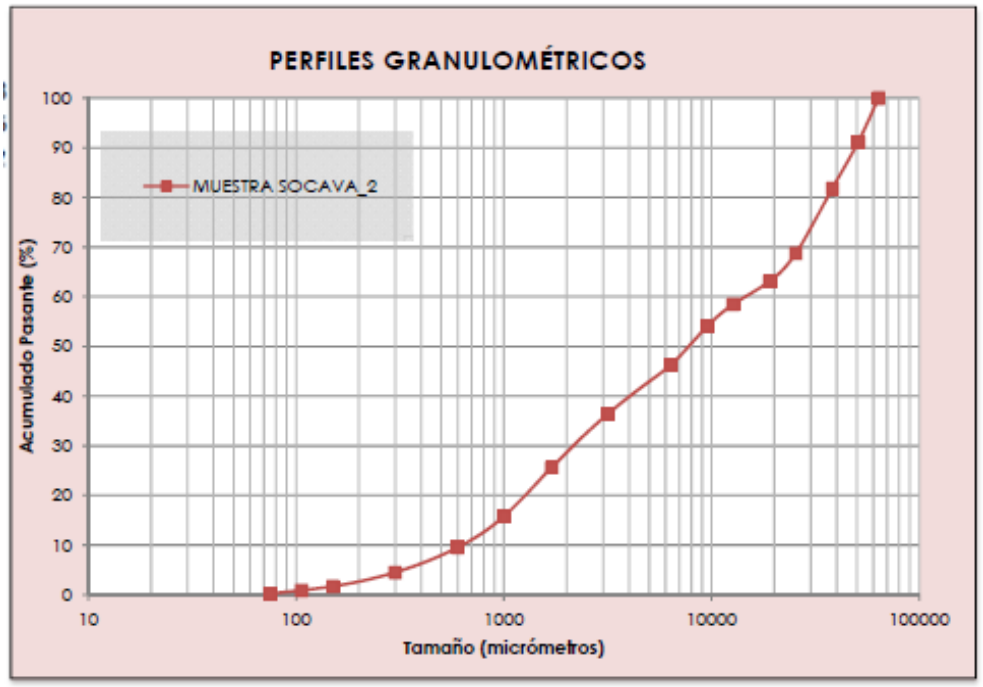

Figura 19. Perfil granulométrico calicata Socava 2
Fuente: Soc. Minera Florida.

Tabla 12. Resultado análisis granulométrico calicata Socava-3
Fuente: Soc. Minera Florida.

ANALISIS GRANULOMETRICO A SUELOS SECTOR RELAVE FILTRADO					
MUESTRA SOCAVA_3					
	Tamaño	Peso		AC (+)	Ac (-)
TYLER	micrómetro	(g)	(%)	%	%
2,5"	63500	0	0,00	0,0	100,00
2"	50800	672	5,97	5,97	94,03
1,5"	38100	924	8,21	14,19	85,81
1	25400	1344	11,95	26,14	73,86
3/4	19050	426	3,79	29,92	70,08
1/2	12700	576	5,12	35,04	64,96
3/8	9520	369	3,28	38,32	61,68
1/4	6350	779	6,92	45,25	54,75
1/8	3175	1937	17,22	62,47	37,53
12	1700	1439	12,79	75,26	24,74
18	1000	1105	9,82	85,08	14,92
30	600	703	6,25	91,33	8,67
50	300	543	4,83	96,16	3,84
100	150	258	2,29	98,45	1,55
140	106	74	0,66	99,11	0,89
200	75	74	0,66	99,77	0,23
-200	-75	26	0,23	100,00	0,00
		11249	100		

Calculo General	Abertura mm	Acum. Pasante (%)
Dato Mayor	38.100,000	85,81
Dato Menor	25.400,000	70,08
P(80)	32800,21	

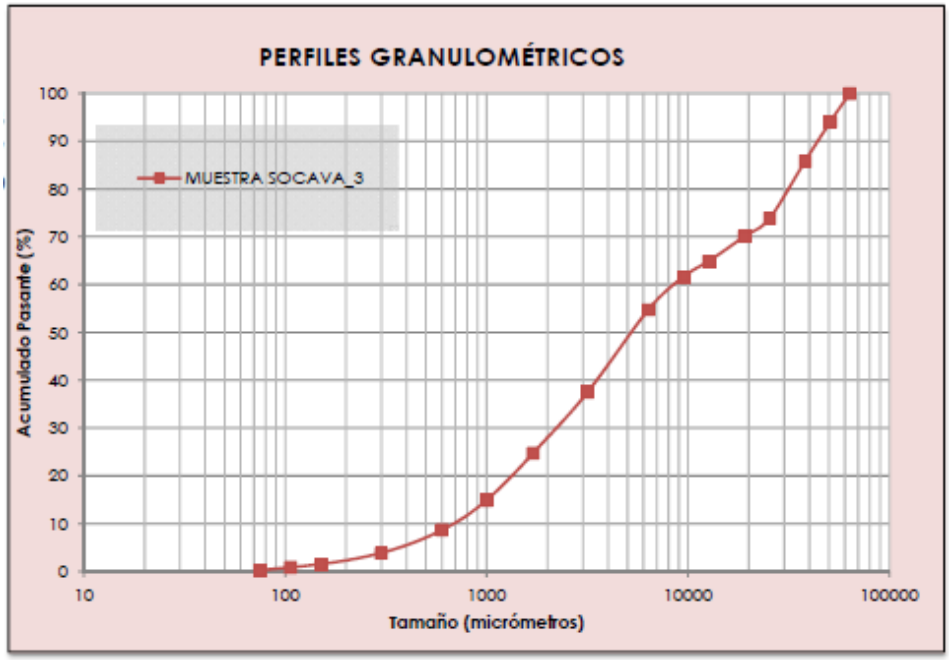

Figura 20. Perfil granulométrico calicata Socava 2
Fuente: Soc. Minera Florida.

La socavación se estimó mediante el método de socavación general ideado por Lischtvan & Levediev para el período de retorno de 100 años aplicado en cada cuenca.

La expresión de Lischtvan & Levediev es la siguiente:

$$hs = \left(\frac{\alpha * ho^{5/3}}{0.68 * \beta * D^{0.28} * \psi} \right)^{\frac{1}{x+1}}$$

$$\alpha = \frac{Qd}{\mu * B * hm^{5/3}}$$

$$S = hs - h$$

Donde S corresponde a la socavación o depositación según sea el caso.

Los parámetros para medios no cohesivos para X y B se presentan a continuación.

Valores β en función de la probabilidad de excedencia del caudal máximo (T)	
Probabilidad de Excedencia (%) Qmáx	Coeficiente β
100	0.77
50	0.82
20	0.86
10	0.9
5	0.94
2	0.97
1	1
0.3	1.03
0.2	1.05
0.1	1.07

Valores del coeficiente X para suelos No Cohesivos			
d (mm)	X	d (mm)	X
0.05	0.43	40.00	0.30
0.15	0.42	60.00	0.29
0.50	0.41	90.00	0.28
1.00	0.4	140.00	0.27
1.50	0.39	190.00	0.26
2.50	0.38	250.00	0.25
4.00	0.37	310.00	0.24
6.00	0.36	370.00	0.23
8.00	0.35	470.00	0.22
10.00	0.34	570.00	0.21
15.00	0.33	750.00	0.20
20.00	0.32	1000.00	0.19
25.00	0.31		

La composición de la partícula 80% se estimo como el promedio de los diámetros 80% de las tres calicatas, resultado un diámetro de 30 mm. No obstante es necesario hacer notar que en el eje del cauce hay gran cantidad de clastos de diámetro mayor.

En páginas siguientes se muestran los resultados de la aplicación del método de estimación de socavación en ambas cuencas.

Tabla 13. Estimación de socavación general Perfil 1-1.

Concepto	Sigla	Unidades	Valor adoptado
Período de retorno	T	años	100.000
Caudal de diseño	Qd	m3/s	0.770
Area sección transversal	A	m2	1.040
Ancho superficial	L	m	18.920
Altura máxima de escurrimiento	ho	m	0.130
Altura media (A/L)	hm	m	0.055
Diamero 80 de la curva gnanulométrica	D	mm	30.000
Ancho superficial sección angosta	B	m	18.920
Coef. Dependiente de PE	β	---	1.000
Coef. Influencia sedimento suspensión	ψ	---	1.080
Parámetro de la formula de arrastre críti	x	---	0.300
Coeficiente de contracción	ω	---	1.000
Resultados	Sigla	Unidades	Resultado
resultado 1	ά	---	5.121
resultado 2	hs	m	0.157
Socavación genaralizada (hs-h)	S	m	0.027

Fuente: cálculos propios

Tabla 14. Estimación de socavación general Perfil 2-1

Concepto	Sigla	Unidades	Valor adoptado
Período de retorno	T	años	100.000
Caudal de diseño	Qd	m3/s	0.790
Area sección transversal	A	m2	0.810
Ancho superficial	L	m	8.670
Altura máxima de escurrimiento	ho	m	0.130
Altura media (A/L)	hm	m	0.093
Diamero 80 de la curva gnanulométrica	D	mm	31.000
Ancho superficial sección angosta	B	m	8.670
Coef. Dependiente de PE	β	---	1.000
Coef. Influencia sedimento suspensión	ψ	---	1.080
Parámetro de la formula de arrastre críti	x	---	0.300
Coeficiente de contracción	ω	---	1.000
Resultados	Sigla	Unidades	Resultado
resultado 1	ά	---	4.737
resultado 2	hs	m	0.146
Socavación genaralizada (hs-h)	S	m	0.016

Fuente: cálculos propios

Como puede verse la estimación de la socavación generada es bastante baja, el orden de 1,6 a 2,7 cm lo cual es esperable en cauces de planicie, como es éste caso.

2.5.4. Arrastre de sedimentos:

Dada la condición observada en los últimos años, donde no se han producido precipitaciones y consecuentemente no ha habido escorrentía, no es posible hacer una estimación del transporte de sólidos en suspensión en forma directa.

No obstante ello, la sedimentología de la zona que se evidencia en los análisis granulométricos, da cuenta de un material depositado con una fracción de ripios de poco diámetro y con bastantes finos.

De lo observado, se puede decir que el arrastre de sedimentos tiene alcances muy locales, del orden de metros. Los elementos que permiten tal aseveración son:

Se trata de cauces de escurrimiento discontinuo, sólo escurre agua en eventos de tormenta.

El caudal de las cuencas es pequeño para PR 2 años son del orden de 0,2 m^3/s y 0,79 m^3/s para PR 100 años.

La capacidad de transporte es de baja energía, pues el material que se encuentra hacia las zonas distales de las quebradas locales presenta pequeños conos aluviales, depósitos de corrientes de barro y fluviales actuales de pequeño diámetro: gravas, ripios, arenas y limos.

En la **Figura 21** se puede observar el perfil del suelo que existe en la zona del proyecto.



Figura 21. Perfil del suelo de la zona del proyecto
Fuente: Soc. Minera Florida.

Finalmente se puede indicar que en el sector distal de la quebrada principal, hacia aguas debajo de las obras, es posible observar rocas con poca esfericidad y poco redondeamiento lo que da cuenta del bajo poder de competencia del sistema hidrológico.

2.6. Plan de Monitoreo

A continuación se detallan las acciones a realizar para el monitoreo de la construcción, operación y abandono de la obra.

2.6.1. Fase de construcción

Dado que se trata de una obra inerte, desde el punto de vista de la calidad del agua, no se contempla un monitoreo de las aguas durante la construcción, sin embargo en esta etapa es necesario que las maquinarias utilizadas cuenten con sus certificados de revisión técnica que aseguren la inexistencia de filtraciones de hidrocarburos u otros líquidos.

2.6.2. Fase de operación

El monitoreo en esta fase se centra en mantener la integridad física de obra y consistirá en o una inspección visual que permita verificar la estructura del canal, con una frecuencia semestral.

El jefe de área planta realizará un informe en el que se indique el estado de la obra, indicado el día de la inspección, nombre de responsable y los hallazgos si los hubiera. Se deberá incluir un registro fotográfico georreferenciado. Este informe será archivado en el Departamento de Prevención de riesgos.

2.6.3. Fase de abandono

El monitoreo en esta fase se centrará en la integridad física de la obra y consistirá en una inspección visual que permita verificar la estructura del canal, con una frecuencia anual.

El jefe de área planta realizará un informe en el que se indique el estado de la obra, indicado el día de la inspección, nombre de responsable y los hallazgos si los hubiera. Se deberá incluir un registro fotográfico georreferenciado. Este informe será archivado en el Departamento de Prevención de riesgos.

2.7. Medidas tendientes a minimizar los efectos sobre la calidad de las aguas, aguas abajo del lugar de construcción de las obras.

2.7.1 Fase de construcción

Como se señaló en el acápite 2.6, la única actividad capaz de alterar la calidad de las aguas es la presencia de excavadoras u otras maquinarias usualmente usadas en este tipo de obras sin sus respectivos certificados de revisión técnica y que estuviesen filtrando hidrocarburos. Debido a ello es que es necesario tener un control estricto en esta materia. Por otra parte y como se indicó anteriormente, la construcción se estima en 10 días.

2.7.2. Fase de operación y abandono

No se contemplan medidas en estas fases, pues cuando llueva y entren en carga los canales, se estima que no habrá cambios en la calidad de las aguas, considerando que no se prevé ninguna acción que implique alterar las aguas.

2.8. Plan de contingencias.

Desde el punto de vista de las contingencias, estas se asocian a la posibilidad o riesgo de que ocurra algún accidente no previsible, en tal caso para cada fase del proyecto se contemplan lo siguiente.

2.8.1. Fase de construcción

Ante fenómenos de origen natural que pudieran ocasionar desplazamientos de tierra o rocas hacia la obra, se procederá a revisar la estructura del canal y al retiro de eventuales obstrucciones.

Se llevará un registro, asociado a la bitácora de los acápites 2.6.2 y 2.6.3 de este documento indicado el día de la inspección, nombre de responsable, de los hallazgos si los hubiera y de los trabajos a realizar.

2.8.2. Fase de operación y abandono.

Ante fenómenos de origen natural que pudieran ocasionar desplazamientos de tierra o rocas hacia las obras, se procederá a revisar la estructura de los canales, al retiro de eventuales obstrucciones.

Se llevará un registro, asociado a la bitácora de los acápites 2.6.2 y 2.6.3 de este documento indicado el día de la inspección, nombre de responsable, de los hallazgos si los hubiera y de los trabajos necesarios de realizar para restituir la integridad física de las obras.

2.9. Plan de emergencia, si aplica.

No aplica plan de emergencia particular para la obra de construcción del canal por cuanto los planes de monitoreo y de emergencias cubren los principales aspectos de riesgo asociados a la obra.

3 CONCLUSIONES

- La zona donde se construirá el canal perimetral presenta una topografía de planicie con leves ondulaciones.
- Los caudales de porteo del canal son menores a 2 m^3/s para PR de 100 años por lo que no aplica como obra del artículo 294 del Código de Aguas.
- Dada la pequeña envergadura de la obra, esta no afectará la vida o salud de los habitantes, ya que no altera significativamente el escurrimiento y de los procesos erosivos naturales del cauce, además no producirá contaminación de las aguas.

4. REFERENCIAS

1. DGA en el Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas sin Información Fluviométrica (DGA, 1995).
2. D.G.A. Banco Nacional de Aguas. Datos de precipitaciones Estación La Serena.

REGISTRO DE DISTRIBUCION

REVISION	A
EMITIDO PARA	Presentación
FECHA	29 de noviembre 2016

PERSONAL CPH PARTICIPANTE

Nombre	Cargo
Renzo Orlando Valenzuela	Ingeniero Especialista – Jefe Proyecto
Daniela Barrón Miranda	Ingeniera en Recursos Naturales-Proyectista
Fernando Krainz Rodriguez	Ingeniero Civil – Calculista.
María Rosa Rocco	Secretaria – Edición Informe