S.C.M. ATACAMA KOZAN

PROYECTO: AUMENTO DE VIDA ÚTIL DE FAENA MINERA ATACAMA KOZAN, INCORPORANDO RELAVES FILTRADOS EN QUEBRADA EL GATO

N° 5009-GE-INF-001_0

OBRAS DE DESVÍO DE AGUAS NATURALES

Preparado por

Ágora Soluciones SPA

Aprobado por

Jefe de Disciplina	PVarela
Gerente de Proyecto	AHolgado

Rev.	Por	Emitido para	Fecha	Fecha de Revisión	Aprobado
A	PVM	Coordinación Interna	20-11-2017		
B	PVM	Revisión y comentarios	21-11-2017		
0	PVM	Revisión y comentarios	15-12-2017		
Comentarios:					

PROYECTO: AUMENTO DE VIDA ÚTIL DE FAENA MINERA ATACAMA KOZAN, INCORPORANDO RELAVES FILTRADOS EN QUEBRADA EL GATO

OBRAS DE DESVÍO DE AGUAS NATURALES

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN 4
2 ANTECEDENTES Y REFERENCIAS 4
3 DESCRIPCION DEL SITIO 5
3.1 TOPOGRAFIA 5
3.2 DESCRIPCION DE LOS CAUCES 6
4 DESCRIPCION DE LAS OBRAS 7
4.1 DEPOSITOS DE RELAVES 7
4.2 OBRAS DE DESVIO DE AGUAS NATURALES 8
4.3 DESCRIPCION DE LAS FASES 10
4.3.1 Escenario de operación 11
4.3.2 Escenario de cierre 12
4.3.3 Escenario de lluvias extraordinarias durante la operación 13
5 ESTUDIO HIDROLOGICO 15
6 DIMENSIONAMIENTO HIDRAULICO 17
6.1 CANALES 18
6.2 VERTEDERO DE EMERGENCIA 20
6.3 DISIPADOR DE ENERGIA 20

LISTADO DE TABLAS

Tabla 4.1-1: Características de los depósitos de relaves de la Quebrada El gato. 8

Tabla 4.2-1: Definición de servicios para las obras de desvió. 9

Tabla 4.2-2: Características de las obras de desvió. 9

Tabla 5-1: Parámetros principales Estaciones DGA. 15

Tabla 5-2: Parámetros morfológicos de las cuencas del sitio. 15

Tabla 5-3: Precipitación para distintos periodos de retorno. 16

Tabla 5-4: Caudales para PMP de cuencas del proyecto. 17

Tabla 6.1-1: Parámetros para el dimensionamiento hidráulico. 19

Tabla 6.1-2: Condiciones de escurrimiento para los canales. 19

Tabla 6.3-1: Verificación de Tanque disipador de energía. 22

Tabla 6.3-2: Calculo de D_{50}. 22

LISTADO DE FIGURAS

Figura 3-1: Sector de emplazamiento del Depósito de relaves filtrados (destacado en verde). 5

Figura 3.2-1: Cauces en el área de influencia del proyecto. 6

Figura 4.1-1: Disposición de depósitos de relaves en el sector del proyecto. 7

Figura 4.1-2: Perfil de los depósitos de relaves en el sector del proyecto. 8

Figura 4.3-1: Diagrama sinóptico del flujo de aguas naturales durante el escenario de operación. 11

Figura 4.3-2: Diagrama sinóptico del flujo de aguas naturales durante el escenario de cierre. 12

Figura 4.3-3: Diagrama sinóptico del flujo de aguas naturales durante el escenario extraordinario durante la operación. 13

Figura 4.3-4: Volumen de agua embalsado en cubeta de Tranque El Gato producto de la PMP. 14

Figura 5-1: Definición de cuencas para el estudio de hidrología. 16

Figura 6.1-1: Definición de cuencas para el estudio de hidrología. 18

Figura 6.1-2: Variables de sección trapecial. 19

Figura 6.2-1: Vertedero Creager. 20

Figura 6.3-1: Geometría básica de disipador de energía 21

1 INTRODUCCIÓN

Para la tramitación de la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) del proyecto “Aumento de vida útil de Faena Minera Atacama Kozan, incorporando relaves filtrados en quebrada El Gato”, se ha desarrollado el presente informe técnico con la descripción de las obras de desvió de aguas naturales que intervienen en el proyecto, consecuencia de las cuencas existentes en el sitio.

El objetivo de las obras de desvió de aguas naturales es mantener la seguridad de las personas, las instalaciones del proyecto y el medio ambiente mediante el adecuado manejo de los cursos de agua proveniente de las quebradas aportantes al proyecto.

El Depósito de relaves filtrados proyectado tiene la particularidad que se emplaza junto al Tranque El Gato, aguas abajo de él, y comparten la interferencia con la quebrada El Gato, por lo cual en la definición de las obras de desvió de aguas naturales se consideró una solución en conjunto para ambos depósitos, buscando la sinergia de las obras de tal forma que su servicio cumpla con ambas instalaciones y se complementen en las distintas fases del proyecto.

En los puntos siguientes se presenta el desarrollo de las obras de desvió, descripción del sitio de su emplazamiento, su concepto operativo y su dimensionamiento básico para la DIA del proyecto.

2 ANTECEDENTES Y REFERENCIAS

Antecedentes del proyecto:

Ref 1 RCA aprobatoria del Proyecto “Aumento de capacidad del tranque de relaves el gato de la S.C.M. Atacama Kozan". Resolución Exenta N°76, Copiapó 4 abril de 2012.

Antecedentes de S.C.M. ATACAMA KOZAN:

Ref 2 Informe de Permisos a DGA: ANEXO D, “Crecida Máxima Probable”, Tranque de Relaves Quebrada El Gato, ARCADIS Geotecnia, Julio de 2004.

Ref 3 3070-GE-INF-003: “Informe Hidrológico del Sitio”, JO Ingeniería, Noviembre de 2016.

Referencias SERNAGEOMIN:

Ref 4 Decreto Supremo Nº 248. Reglamento para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Cierre de los Depósitos de Relaves. Ministerio de Minería.

Referencias bibliográficas:

Ref 5 Manual de Carreteras Volumen III: “Instrucciones y criterios de Diseño”, Ministerio de Obras Publicas, 2017.

Ref 6 Bureau of Reclamation (2007). Diseño de Pequeñas Presas. Madrid: Grupo Bellisco.
Ref 7 Hidráulica Aplicada al Diseño de Obras. Horacio Mery. RII, Edición 2013.
Ref 8 Hidráulica de canales abiertos. Ven Te Chow. Mc Graw-Hill, Edición 2004.

3 DESCRIPCION DEL SITIO

El Deposito de relaves filtrados se encuentra ubicado en la Quebrada el Gato, aguas abajo del Tranque de relaves El Gato y colindante con la Quebrada Paipote. Se accede al sector del proyecto por medio de la ruta C-35 al sur y luego por 31-CH “Carretera del Inca” al norte desde la localidad de Paipote.

En la figura siguiente se muestra el emplazamiento general del depósito y su ubicación con respecto al Tranque El Gato de S.C.M. ATACAMA KOZAN.



Figura 3-1: Sector de emplazamiento del Depósito de relaves filtrados (destacado en verde).

3.1 TOPOGRAFIA

El área de influencia del proyecto presenta características topográficas definidas por la presencia de las Quebradas El Gato y Paipote, que definen la geomorfología del sector.

En la parte alta del sitio el terreno es escarpado y dominado por las laderas empinadas de los cerros circundantes y a medida que se baja en cota los lechos de las quebradas dominantes se amplían y se suavizan sus pendientes hasta formar una zona de confluencia con la Quebrada Paipote compuesta de depósitos aluviales y de topografía relativamente

llana, la cual ha sido aprovechada para el emplazamiento del Tranque existente y el depósito de relaves filtrados proyectado.

3.2 DESCRIPCION DE LOS CAUCES

En el sitio del proyecto se diferencian claramente tres cuencas aguas arriba del Tranque El Gato y del depósito de relaves filtrados, las cuales son denominadas Cuenca El Gato, Cuenca A y Cuenca B. De ellas solo la cuenca El Gato y la cuenca A son intervenidas por los depósitos de relaves. En cambio la Cuenca B descarga libremente en la Quebrada Paipote, como se muestra en la figura siguiente.

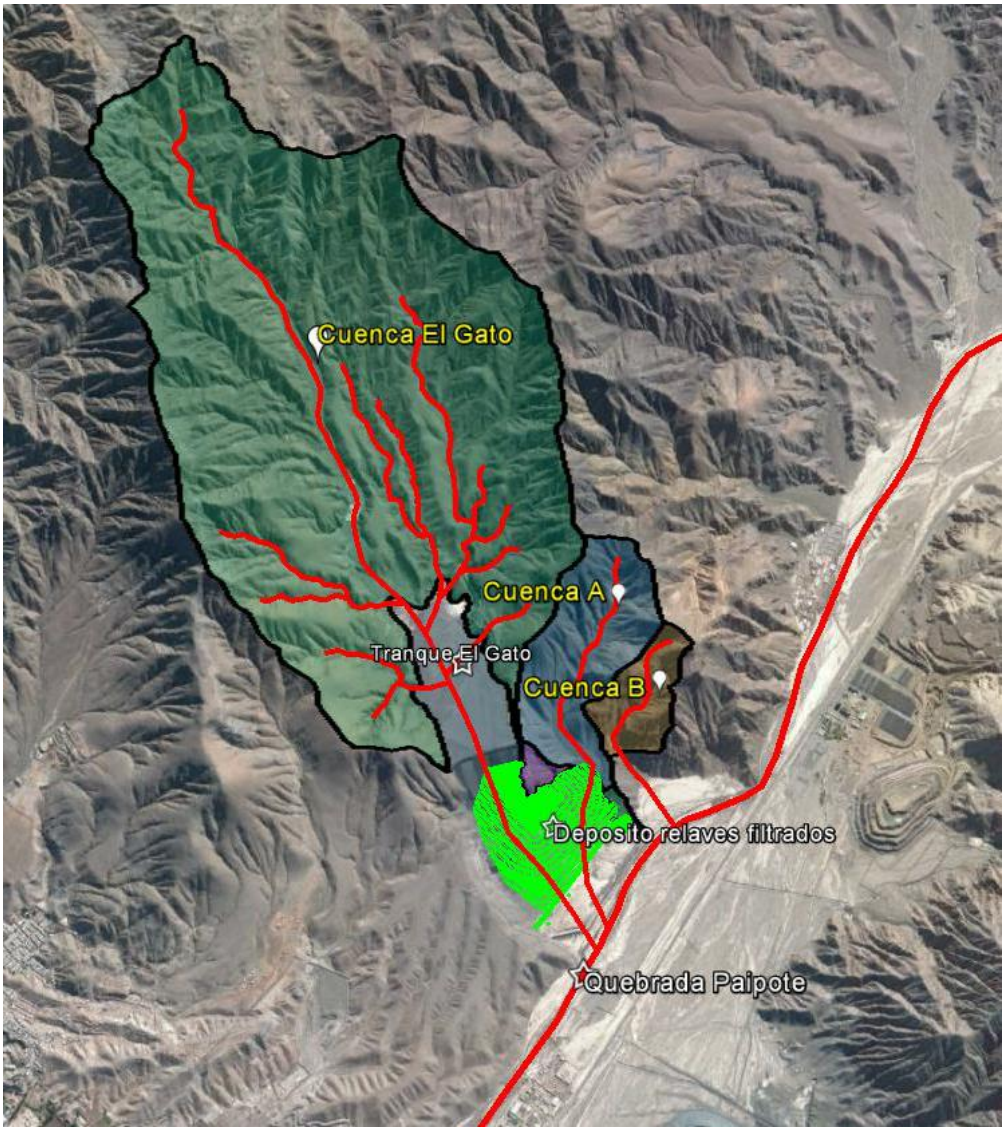

Figura 3.2-1: Cauces en el área de influencia del proyecto.

La cuenca El Gato presenta una serie de quebradas de segundo orden que confluyen en un cauce principal que actualmente es ocupado por el Tranque El Gato, donde la cubeta del Tranque pasa a ser receptora de las quebradas circundantes. Aguas abajo del Tranque se encuentra el emplazamiento del depósito de relaves filtrados proyectado, el cual queda

protegido de la acción directa de las quebradas de la cuenca El Gato debido a la presencia del Tranque y solo es afectado directamente por la quebrada de la Cuenca A.
La cuenca B también dispone de un cauce principal, bien definido, el cual descarga hacia la quebrada Paipote en forma libre, formando un cono de deyección aluvial sin intervenciones de ningún tipo.

Las obras de desvió de aguas naturales proyectadas y descritas en los puntos siguientes buscan el adecuado manejo de los cauces mencionados, tomando en consideración lo ya definido para el Tranque El Gato existente, buscando una sinergia en las instalaciones operativas de este Tranque con las obras necesarias para el Depósito de relaves filtrados.

4 DESCRIPCION DE LAS OBRAS

4.1 DEPOSITOS DE RELAVES

En la zona del proyecto se presentan dos depósitos de relaves, los cuales tienen características distintas, pero un emplazamiento geográfico común, afecta la forma en que deben ser consideradas las obras de desvió de aguas naturales, estos depósitos son:

- **Tranque de relaves "El Gato":** Deposito existente y en operación desde el año 2003. El método empleado para la construcción del tranque es del tipo "aguas abajo" a partir de la clasificación de relaves, depositando las arenas gruesa en el muro resistente del tranque y la pulpa restante en la cubeta para su decantación.
- **Depósito de relaves filtrados:** Es el deposito proyectado para el aumento de la vida útil de la Faena, el cual considera el desarrollo de un depósito de relaves filtrados en la Quebrada "El Gato" aguas debajo del Tranque de relaves "El Gato".

Ambos depósitos se muestran en la imagen siguiente:



Figura 4.1-1: Disposición de depósitos de relaves en el sector del proyecto.

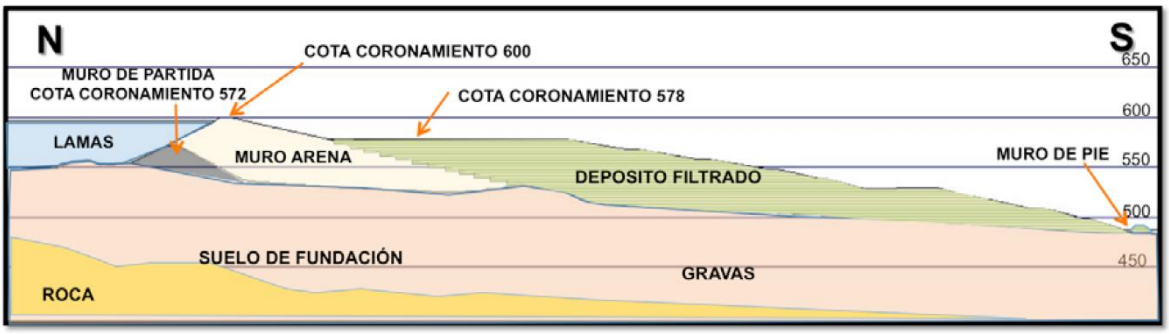

Figura 4.1-2: Perfil de los depósitos de relaves en el sector del proyecto.

Las características generales de los depósitos son las siguientes:

Tabla 4.1-1: Características de los depósitos de relaves de la Quebrada El gato.

Parámetro	Tranque El Gato	Depósito de relaves filtrados
Tipo de obra según DS50	Tranque de relaves	Depósito de relaves filtrados
Tipo de construcción	Relave clasificado con hidrociclones, disponiendo arenas compactadas en prisma resistente con crecimiento aguas abajo y vertiendo lamas en cubeta del depósito para su decantación.	Relave filtrado dispuesto en plataformas compactadas con crecimiento en terrazas sucesivas.
Capacidad total de almacenamiento	13.6 Millones toneladas 8.5 Millones m^3	24.5 Millones toneladas secas 12.2 Millones m^3
Altura característica	62m Muro arenas	92m Deposito con 9 terrazas
Cota de coronamiento [m.s.n.m]	600	578
Interviene cauces naturales	Si	Si
Cauce natural intervenido	Quebrada El Gato	Quebrada El Gato Quebrada Cuenca A
Categoría de embalse según DS50	Categoría C Grande, altura de muro mayor a 30m.	No aplica

4.2 OBRAS DE DESVIO DE AGUAS NATURALES

Las obras de desvió de aguas naturales se proyectan de tal forma que desvíen las aguas provenientes de la Quebrada El Gato y la Quebrada de la Cuenca A, la cuales actuaran durante los distintos escenarios donde están definidas, considerando que el proyecto tiene una etapa de operación y cierre bien definidos. Del mismo modo, en busca de optimizar el servicio de las obras proyectadas existen obras que prestan servicios en ambas etapa, en primer lugar durante la operación y luego forman parte de las obras de cierre, para cual su dimensionamiento queda definido por el escenario más desfavorable, en este caso, el escenario de cierre.

Las obras de desvió definidas para el proyecto son:

1. Canal de contorno

2. Canales secundarios
3. Rápida de descarga
4. Disipador de energía
5. Canales de restitución
6. Vertedero de emergencia
7. Canal de descarga vertedero

Estas obras prestan servicio en distintos momentos del proyecto, y desvían aguas desde diferentes cuencas según lo presentado en la siguiente tabla:

Tabla 4.2-1: Definición de servicios para las obras de desvió.

Obra de desvió de aguas naturales	Cuenca aportante	Etapa de servicio	Función de la obra
Canal de contorno	Cuenca A Cuenca El Gato + Cuenca A	Operación Cierre	Desviar las aguas desde las cuencas hacia el rápido de descarga.
Canales secundarios	Cuenca A Cuenca El Gato + Cuenca A	Operación Cierre	Desviar las aguas desde las quebradas de la cuenca A hacia el canal de contorno.
Rápida de descarga	Cuenca A Cuenca El Gato + Cuenca A	Operación Cierre	Desviar las aguas desde el canal de contorno hacia el disipador de energía.
Disipador de energía	Cuenca A Cuenca El Gato + Cuenca A	Operación Cierre	Entregar las aguas de desvió hacia la Quebrada de la cuenca B.
Canales de restitución	Cuenca El Gato	Cierre	Captar y conducir las aguas desde las quebradas de la Cuenca El Gato hacia el vertedero de emergencia.
Vertedero de emergencia	Cuenca El Gato	Cierre	Desviar las aguas de los canales de restitución hacia el canal de descarga del vertedero.
Canal de descarga de vertedero	Cuenca El Gato	Cierre	Desviar las aguas captadas por el vertedero de emergencia hacia el canal de contorno.

En general todas las obras de desvió de aguas naturales fueron dimensionadas para conducir los caudales producto de la precipitación máxima probable (PMP), debido a que son las que rigen el escenario de cierre, como se expone en el capítulo de Hidrología. Es por ello que obras como el canal de contorno quedarán sobredimensionadas en el escenario de operación dejando un amplio margen de seguridad en este caso.

Las características de las obras de desvió y su materialidad se definieron según se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4.2-2: Características de las obras de desvió.

Obra de desvió de aguas naturales	Tipo de obra hidráulica	Geometría	Materialidad
Canal de contorno	Canal de sección trapecial revestido	Trapecial B:2m H:2m	Canal excavado en terreno con revestimiento de mampostería de piedra con mortero de hormigón.

Obra de desvió de aguas naturales	Tipo de obra hidráulica	Geometría	Materialidad
		Z:0.5	
Canales secundarios	Canal de sección trapecial revestido	Trapecial B:1m H:1m Z:0.5	Canal excavado en terreno con revestimiento de mampostería de piedra con mortero de hormigón.
Rápida de descarga	Canal de sección rectangular revestido	Rectangular B:1m H:1m	Canal excavado en pendiente fuerte revestido con hormigón armado.
Disipador de energía	Tanque disipador de energía Tipo cuenco	Cuenco rectangular Li:8m Ai:6m Le:24m Ae:18m h:2m H/V: 3/1	Cuenco excavado en terreno, revestido con empedrado, bolones y hormigón.
Canales de restitución	Canal de sección trapecial revestido, con bocatomas de ancho variable.	Trapecial B:6m H:2.5m Z:1	Canal excavado en cubeta consolidada con revestimiento compuesto de: • Geotextil. • Lamina de HDPE. • Mampostería de piedra con mortero de hormigón. Bocatomas dispuestas en terreno natural revestidas con empedrado y hormigón.
Vertedero de emergencia	Vertedero rectangular de perfil tipo Creager.	Vertedero tipo Creager P:1m L:6m	Vertedero dispuesto sobre terreno natural y materializado con hormigón armado.
Canal de descarga de vertedero	Canal de sección trapecial revestido	Trapecial B:2m H:2m Z:0.5	Canal excavado en terreno con revestimiento de mampostería de piedra con mortero de hormigón.

4.3 DESCRIPCION DE LAS FASES

Las fases de servicio de las obras de desvió de aguas naturales ocurren durante el escenario de operación en primer lugar y luego una vez alcanzado la vida útil del depósito de relaves filtrados se desarrolla el escenario de cierre, de acuerdo a lo descrito en los siguientes puntos. También se ha considerado la descripción del funcionamiento de las obras e infraestructura del proyecto frente al escenario extraordinario en donde se presenta lluvias severas producto de la PMP durante el periodo de operación del Depósito.

4.3.1 Escenario de operación

En el escenario de operación se considera que la Empresa se encuentra en el sitio operando los depósitos de relaves, por lo cual mantiene bajo control los sistemas de recuperación de agua de contacto desde la cubeta del Tranque el Gato, las cuales son retornadas a la Planta de Beneficios por medio del sistema de Torres de captación y tuberías existentes para estos efectos.

Para proteger al Depósito de relaves filtrados proyectado se considera un canal de contorno y canales secundarios que tributan a él con el objeto de desviar las aguas naturales desde las Quebradas de la Cuenca A hacia la Cuenca B, por medio del canal de contorno, un rápido de descarga y un disipador de energía, tal como se muestra en el diagrama siguiente.

La disposición general de estas obras puede ser consultada en el plano 5009-HD-SK-001, adjunto a este documento.

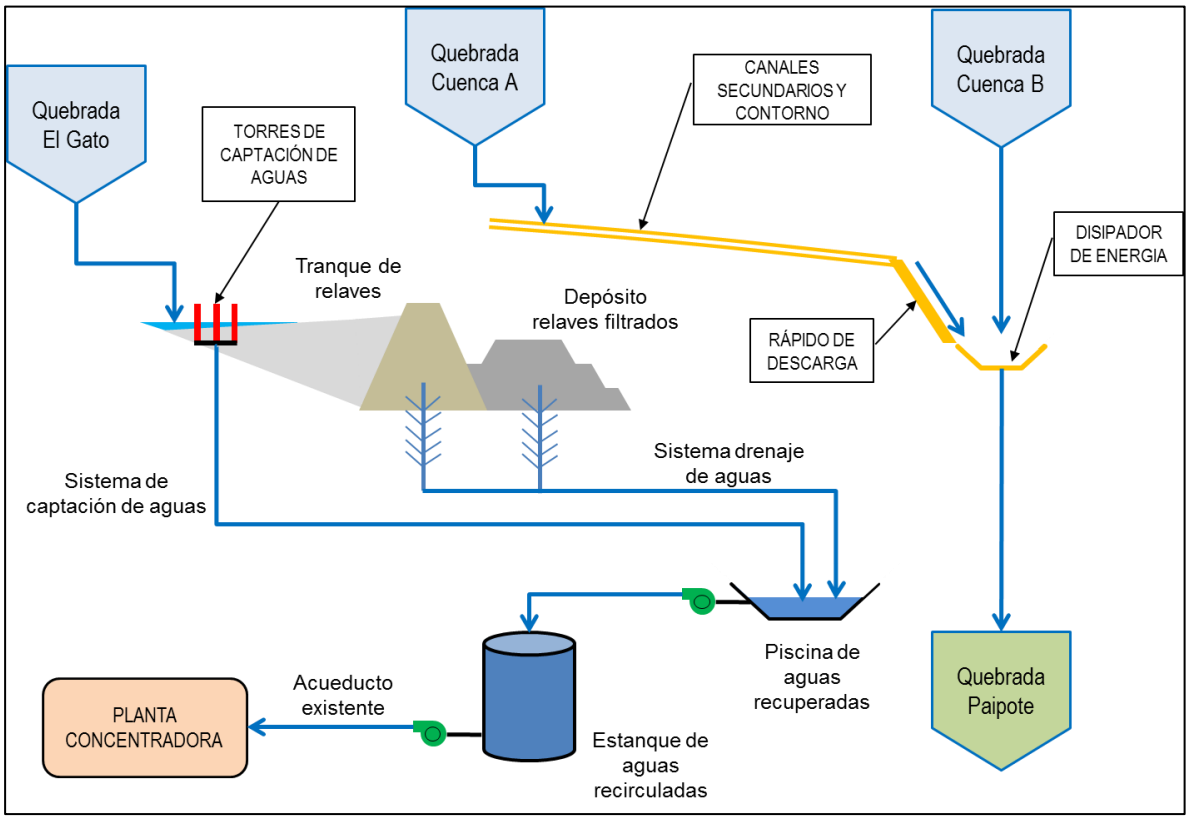

Figura 4.3-1: Diagrama sinóptico del flujo de aguas naturales durante el escenario de operación.

De esta forma las aguas provenientes de las cuencas que tributan al proyecto son controladas por las instalaciones existentes y las obras del proyecto ante un evento de precipitaciones que produzca escorrentías superficiales.

4.3.2 Escenario de cierre

En el escenario de cierre considera que la Empresa no se encuentra operando la depositación de relaves en el sitio, por lo cual se deben considerar que las obras de desvió manejen adecuadamente los flujos de aguas naturales que acceden a los depósitos existentes en ese momento: Tranque El Gato y Depósito de relaves filtrados. Para ello se ha considerado que las obras ya construidas del escenario de operación, sigan en servicio mediante la continuidad de ellas con las obras necesarias para el cierre del Tranque El Gato, aguas arriba de estas, de esta forma quedan todas dimensionadas para soportar la PMP y evacuar las aguas en forma controlada y segura hacia la cuenca B, tal como se muestra en el diagrama siguiente.

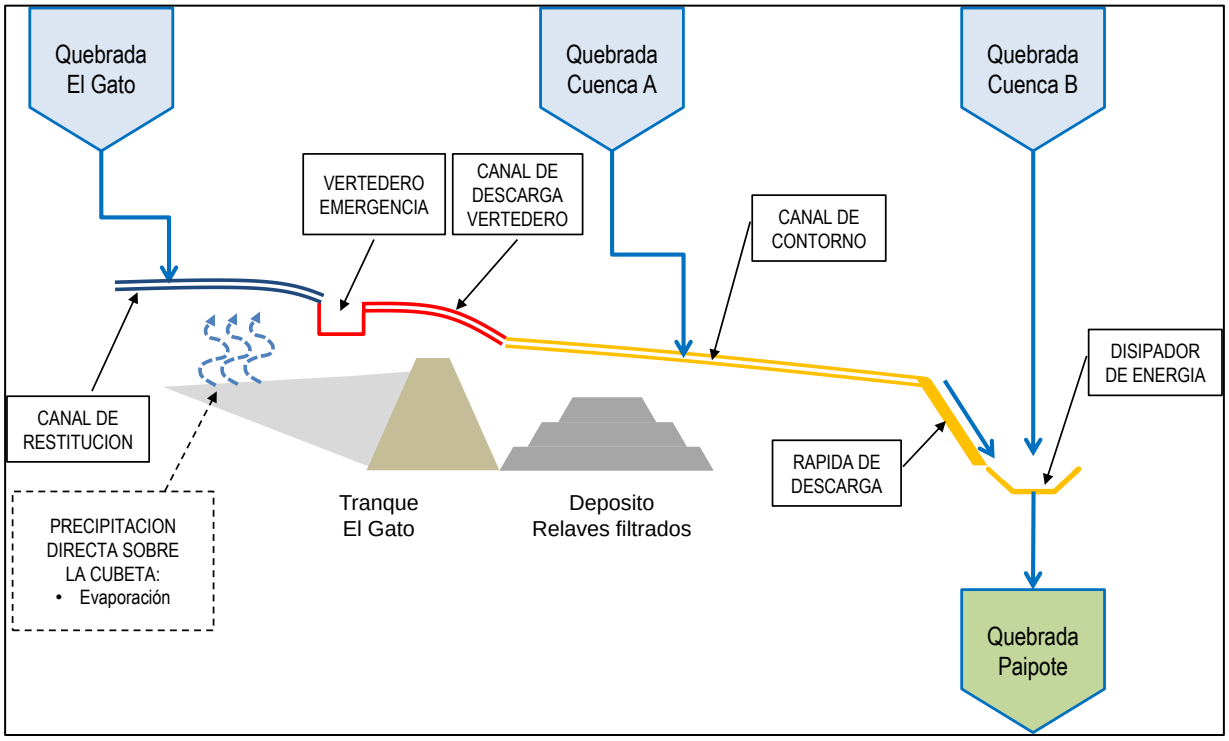

Figura 4.3-2: Diagrama sinóptico del flujo de aguas naturales durante el escenario de cierre.

La precipitación directa sobre la cubeta del Tranque El Gato, se considera menor y esta será evaporada y en el caso extremo evacuada por el canal de restitución con el fin de mantener la integridad de las obras ante todo evento pluviométrico.

La disposición de estas obras se puede consultar en el plano de disposición general 5009-HD-SK-001 adjunto a este documento.

4.3.3 Escenario de lluvias extraordinarias durante la operación

En un caso extremo y poco probable, en donde ocurra la PMP durante la operación del proyecto, las obras dispuestas y la infraestructura existente en el sitio son suficientes para controlar este escenario de lluvias extremas, para ello se considera que:

- Los canales de contorno, rápida de descarga y disipador de energía serán dimensionados para la PMP, por lo que tendrán capacidad de porteo suficiente para desviar las aguas provenientes de la cuenca A.
- La cubeta del Tranque El Gato puede contener en forma segura cerca de 330,000 m^3, lo que es suficiente para contener la totalidad de la crecida producto de la PMP, (Ref 2). Ver figura 4.3-3, en donde se ilustra este volumen.
- Los sistemas de las torres existentes y bombas adicionales, en caso de ser necesario, serán destinados a evacuar el agua embalsada hacia la piscina de emergencia y desde ahí hacia la Planta de beneficio con las instalaciones existentes.

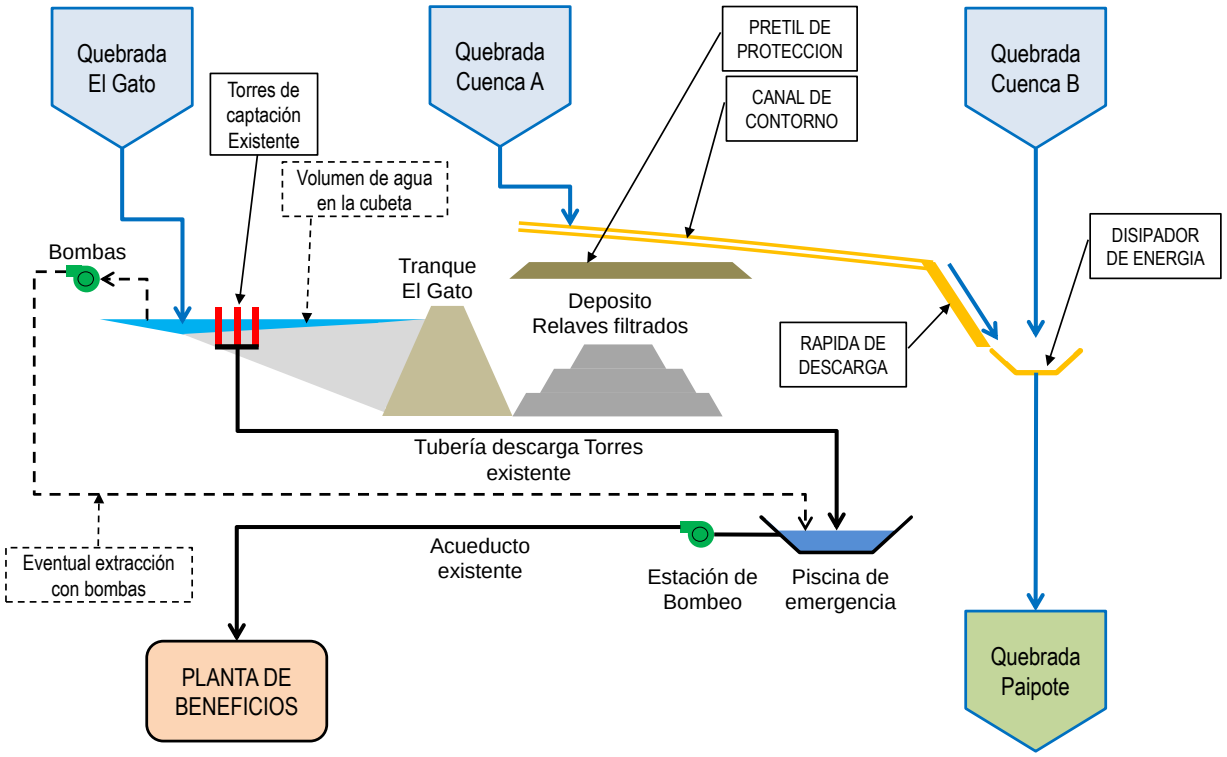

Figura 4.3-3: Diagrama sinóptico del flujo de aguas naturales durante el escenario extraordinario durante la operación.

De esta forma, en el escenario adverso se mantendrá el control sobre la obras y se resguardará la integridad de ambos depósitos.

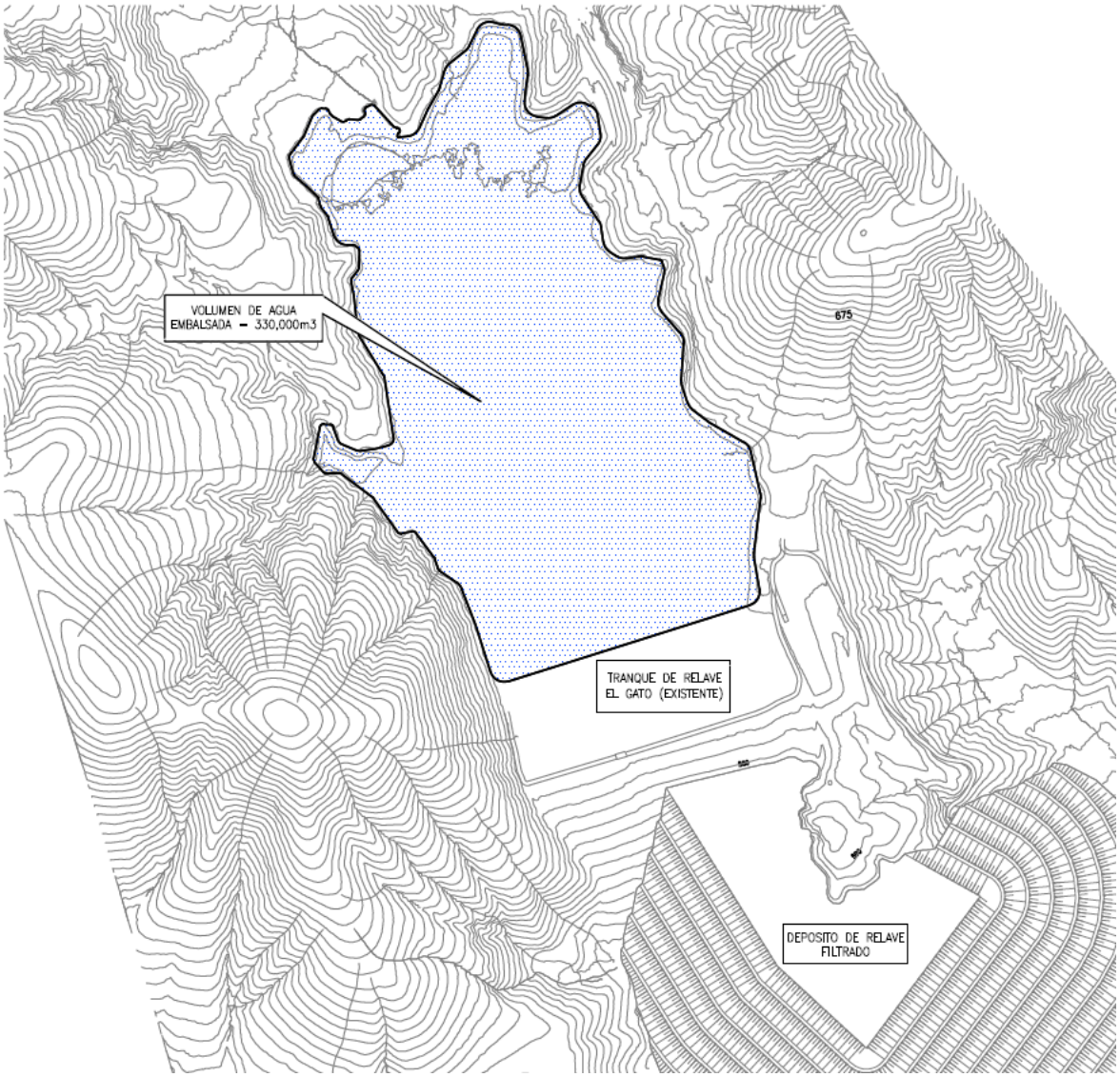

Figura 4.3-4: Volumen de agua embalsado en cubeta de Tranque El Gato producto de la PMP.

5 ESTUDIO HIDROLOGICO

Los estudios de Hidrología: “Crecida Máxima Probable, Tranque de Relaves Quebrada El Gato” (Ref 2) y 3070-GE-INF-003: “Informe Hidrológico del Sitio” (Ref 3), fueron tomados en cuenta para el dimensionamiento de las obras de desvió de aguas naturales del proyecto. Estos estudios fueron realizados en base la información de precipitaciones máximas diarias de las estaciones Copiapó y Embalse Lautaro de DGA.

Tabla 5-1: Parámetros principales Estaciones DGA.

Parámetro	Unidad	Estación DGA	
		Copiapó	Embalse Lautaro
Código BNA		03450004-5	03430006-2
Cuenca		Rio Copiapó	Rio Copiapó
Cota	m.s.n.m.	385	1110
Año inicio registro		1962	1962
Año final registro		2017	2017
N° de datos		56	56
Promedio	mm	9.57	16.42
Desviación estándar	mm	12.31	17.18
Error estándar	mm	1.64	2.30
Coeficiente Asimetría		2.42	1.74
Coeficiente de Curtosis		8.37	3.89

Como el sitio de emplazamiento del proyecto tiene una elevación intermedia entre ambas estaciones, con una cota de referencia de 770 m.s.n.m., característica de la cuenca de la Quebrada El Gato, los cálculos de las precipitaciones para los periodos de retorno del proyecto se han interpolado de los cálculos de las estaciones DGA consideradas para el estudio.

Las cuencas involucradas en el estudio son: Las Cuenca de la Quebrada EL Gato, la cuenca A como cuecas aportantes y la cuenca B como cuenca evacuadora de los caudales desviados por las obras. En la tabla siguiente se presentan las principales características de estas, obtenidas desde el análisis de la información morfológica disponible de Google Earth.

Tabla 5-2: Parámetros morfológicos de las cuencas del sitio.

Parámetro		Cuenca		
		Cuenca Quebrada El Gato	Cuenca A	Cuenca B
Área [Km^2]		6.47	0.66	0.24
Longitud cauce principal [Km]	L	3.5	1.4	0.8
Cota máxima [m.s.n.m]	Z_{max}	993	745	762
Cota mínima [m.s.n.m]	Z_{min}	608	530	532
Cota media [m.s.n.m]	Z_{med}	800	637	647
Cota máxima – Cota mínima [m]	H	385	215	230
Pendiente promedio [%]	S	11	15	29

En la imagen siguiente se presentan las cuencas y las obras del proyecto.

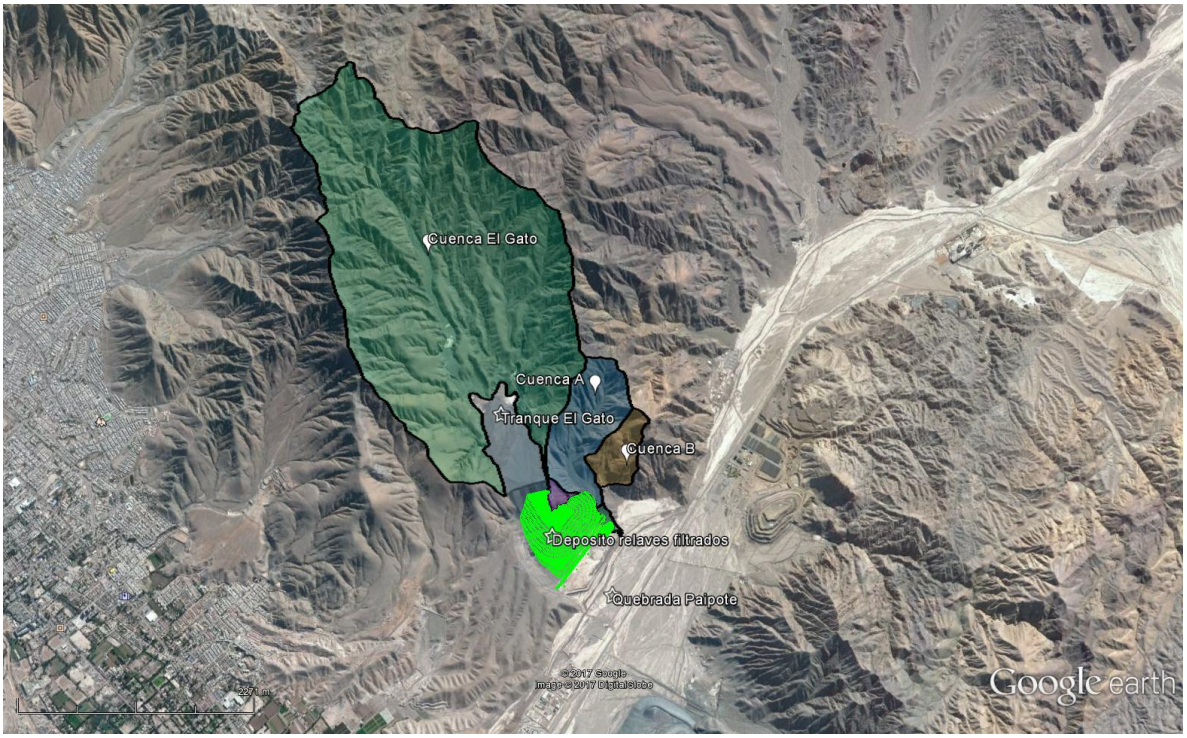

Figura 5-1: Definición de cuencas para el estudio de hidrología.

De los estudios hidrológicos realizados (Ref 2 y Ref 3), se han obtenido los valores para las precipitaciones con un periodo de retorno de 50, 100, 1000 y 10,000 años, junto con el cálculo de la PMP. En la siguiente tabla se presentan estos valores:

Tabla 5-3: Precipitación para distintos periodos de retorno.

Periodo de retorno [años]	Precipitación [mm]
50	50.6
100	61.7
1,000	99.5
10,000	138.3
Tr = 12,000 PMP (Estación Copiapó, Ref 3)	146.5
Tr = 12,000 PMP (Cuenca Quebrada El Gato, Ref 2)	200

Por lo tanto, y considerando el DS50, para el caso de las obras de desvió de aguas naturales del proyecto, en la etapa de cierre se debe considerar en su dimensionamiento los caudales producto de la PMP al tener un periodo de retorno mayor a 10,000 años.

Los caudales para la precipitación máxima probable (PMP), calculados en Ref 2, son los que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5-4: Caudales para PMP de cuencas del proyecto.

Cuenca	Caudal [m^3/s]
Cuenca El Gato	22
Cuenca A	2.5
Cuencas B	0.9

Con los caudales de la tabla 5-4 y los antecedentes topográficos se han dimensionado las obras de desvío de aguas naturales del proyecto.

6 DIMENSIONAMIENTO HIDRAULICO

El dimensionamiento de las obras se realiza según las recomendaciones del Manual de Carreteras y de la bibliografía especializada (ver referencias bibliográficas), aplicando la teoría de la hidráulica de canales en régimen uniforme y gradualmente variado en superficie libre.

La mayoría de las obras de desvió corresponde a canales revestidos en sección trapecial o rectangular (en el caso de la rápida) y se consideran estructuras especiales como el vertedero de emergencia y el disipador de energía que también son materializados con hormigón armado o enrocados y mampostería de piedra.

Se han considerado los siguientes criterios de diseño:

- Canales en régimen uniforme:
  - Caudal de diseño correspondiente a la PMP.
  - Sección trapecial
  - Talud H:V=1:2 o Z=0.5 (Suelo competente de densidad alta o Roca).
  - Sección revestida con mampostería de piedra.
  - Coeficiente de Manning n=0.025 (Empedrado cementado).
  - Revancha igual al 20% de la altura normal de escurrimiento con un mínimo de 20cm.
  - Pendientes según terreno natural, considerando la sección 100% excavada y transiciones suaves entre los distintos tramos.
- Rápida de descarga:
  - Caudal de diseño correspondiente a la PMP.
  - Sección rectangular
  - Sección revestida con hormigón armado.
  - Coeficiente de Manning n=0.015 (Hormigón).
  - Revancha según recomendaciones para canales en pendiente fuerte.
  - Pendiente uniforme según terreno natural.
- Vertedero de emergencia:
  - Tipo de vertedero: Rectangular con perfil Creager.
  - Materialidad: Hormigón armado.

En los siguientes puntos se resume el dimensionamiento de las obras.

6.1 CANALES

Los canales se diseñaron para un caudal producto de la PMP según las áreas aportantes a ellos, considerando régimen uniforme y escurrimiento normal según los criterios de diseño utilizados.

El trazado de los canales se muestra en la figura siguiente y se corresponde con las pendientes naturales del terreno considerando que la sección del canal se excava en un 100%.

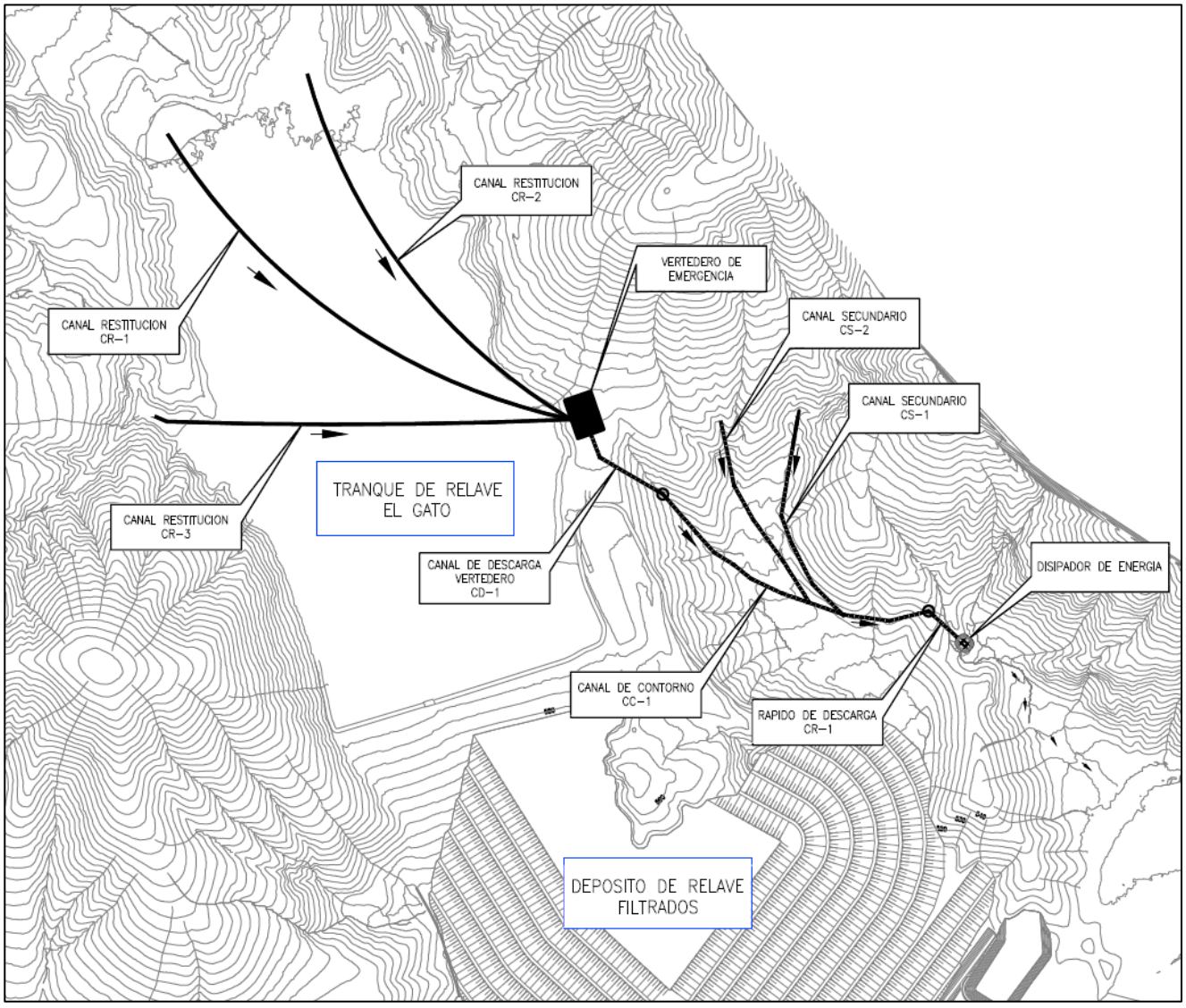

Figura 6.1-1: Definición de cuencas para el estudio de hidrología.

Para todas las secciones se ha calculado la altura de la sección a un valor constructivo que cubra las revanchas mínimas a partir de las pendientes más desfavorables del tramo considerado.

En las tablas siguientes se presenta el resumen del dimensionamiento hidráulico realizado, en el cual se presenta el canal, su cuenca aportante, el caudal, la sección adoptada y las condiciones de escurrimiento.

Tabla 6.1-1: Parámetros para el dimensionamiento hidráulico.

Tipo de Canal	Nombre	Cuenca Aportante	Caudal [m3/s]	Sección	B [m]	H [m]	Z [m]	i
Canal de restitución	CR-1	El Gato	22.0	Trapecial	6	1.5	1	1.0%
Canal de restitución	CR-2	50% de El Gato	11.0	Trapecial	3	1.5	1	1.0%
Canal de restitución	CR-3	25% de El Gato	5.5	Trapecial	2	1.5	1	1.0%
Canal de descarga vertedero	CD-1	El Gato	22.0	Trapecial	2	2	0.5	5.0%
Canal de contorno	CC-1	El Gato + Cuenca A	24.3	Trapecial	2	2	0.5	5.0%
Canal secundario	CS-1	Cuenca A	2.3	Trapecial	1	1	0.5	10.0%
Canal secundario	CS-2	15% de Cuenca A	0.3	Trapecial	1	1	0.5	10.0%
Rapida de descarga	CR-1	El Gato + Cuenca A	24.3	Rectangular	1.5	1.5	0	50.0%

Tabla 6.1-2: Condiciones de escurrimiento para los canales.

Nombre	n	h [m]	revancha [m]	revancha [%]	hc [m]	V [m/s]	Fr	Flujo
CR-1	0.025	0.950	0.55	36.7	1.045	3.33	1.16	Supercrítico
CR-2	0.025	0.932	0.57	37.9	0.989	3.00	1.10	Supercrítico
CR-3	0.025	0.774	0.73	48.4	0.7971	2.56	1.05	Supercrítico
CD-1	0.025	1.224	0.78	38.8	1.949	6.88	2.21	Supercrítico
CC-1	0.025	1.299	0.70	35.1	2.0629	7.06	2.21	Supercrítico
CS-1	0.025	0.387	0.61	61.3	0.7174	4.99	2.76	Supercrítico
CS-2	0.025	0.110	0.89	89.0	0.2022	2.59	2.57	Supercrítico
CR-1	0.015	0.683	0.82	54.5	2.99	23.73	9.17	Supercrítico

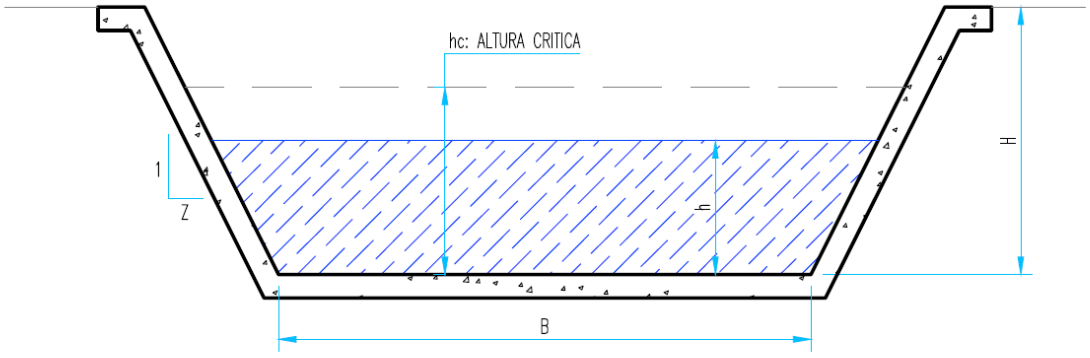

Figura 6.1-2: Variables de sección trapecial.

En las tablas anteriores las variables se definen como:

- B: Ancho basal de la sección.
- H: Altura de la sección.
- Z: Talud.
- i: Pendiente de diseño en %.

- n: Coeficiente de Manning.
- h: Altura de escurrimiento normal.
- hc: Altura crítica.
- V: Velocidad de escurrimiento normal.
- Fr: Numero de Froude.

6.2 VERTEDERO DE EMERGENCIA

El vertedero de emergencia se ha dimensionado como un vertedero rectangular considerando la ecuación de vertedero:

$$Q = C_d (L - 0.1nh) h^{\frac{3}{2}}$$

Con perfil Creager, por lo que Cd es igual a 2 y sin contracciones se obtiene que para portear un caudal de 22 m^3/s es necesario una longitud de vertedero L igual a 6m con una carga sobre el vertedero de h igual a 1.5m y se ha estimado una altura de la pared de 1m.

En la siguiente figura se presenta un perfil típico de este tipo de vertederos:

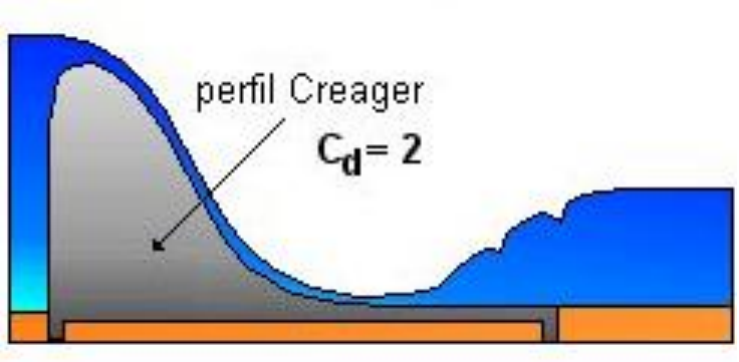

Figura 6.2-1: Vertedero Creager.

6.3 DISIPADOR DE ENERGIA

Para el diseño del disipador de energía se optó por una geometría simple, ver figura siguiente, que favorece su construcción y limpieza, junto con ello su funcionamiento no obstaculiza los flujos provenientes de la quebrada de la cuenca B, por lo que su implementación favorece la inclusión de los caudales captados y derivados desde las obras de desvió hacia la cuenca B en forma controlada y segura.

Las dimensiones del disipador de energía corresponden a las de un rectángulo interior de 3 m de ancho, 4 m de largo y 1 m de profundidad. Considerando el talud recomendado para las paredes del cuenco (H/V=3/1), las dimensiones exteriores son 9 m de ancho y 10 m de largo, se considera además la incorporación de empedrados de protección en torno a la descarga de la rápida y en la zona de descarga del disipador la quebrada de la cuenca B.

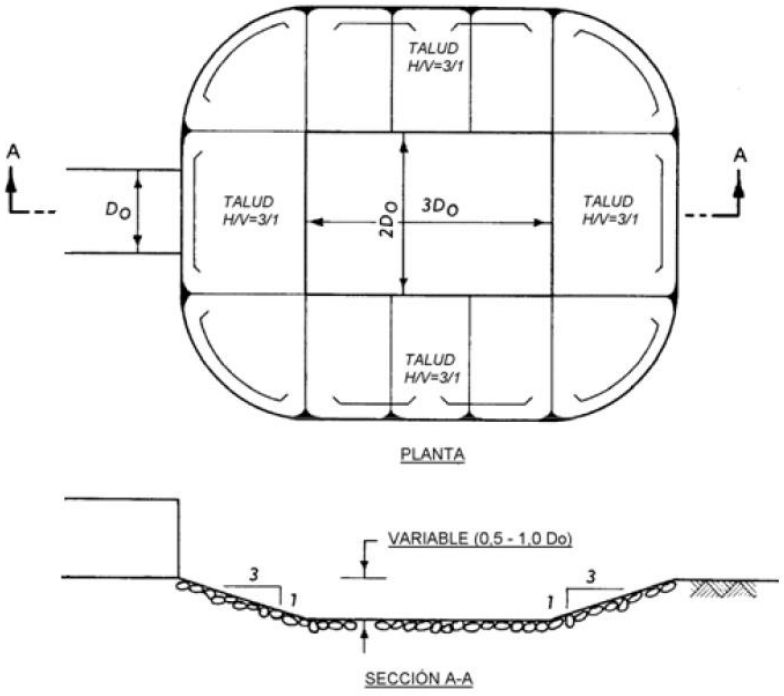

Figura 6.3-1: Geometría básica de disipador de energía.

El funcionamiento de esta obra se verifico considerando un resalto horizontal contenido en el cuenco de sección trapecial, para lo cual se calcularon las alturas conjugadas para alturas de torrente que alimentan el disipador para cada periodo de retorno considerado, lo cual exige resolver la siguiente ecuación para un régimen supercrítico conocido:

$$\left(\frac{y_2}{y_1}\right)^4 + \left[\frac{5}{2}\,t_1 + 1\right]\left(\frac{y_2}{y_1}\right)^3 + \left[\frac{3}{2}\,t_1^2 + \frac{5}{2}\,t_1 + 1\right]\left(\frac{y_2}{y_1}\right)^2$$

$$+ \left[\frac{3}{2}\,t_1^2 + t_1 - \frac{3\,\mathbf{F}_{M1}^2}{t_1 + 1}\right]\left(\frac{y_2}{y_1}\right) - 3\,\mathbf{F}_{M1}^2 = 0$$

$$\mathbf{F}_{M1} = \frac{Q}{\sqrt{g}\;k\;y_1^{5/2}} \qquad t_1 = \frac{b}{k\,y_1}$$

Una vez resuelta la ecuación se obtiene la longitud de resalto Lr mediante la ecuación de Sieñchin:

$$\frac{L_j}{y_1} = A\left[\frac{y_2}{y_1} - 1\right]$$

La cual se compara con la dimensión del cuenco disipador, ya que este cálculo no considera el aporte del talud del cuenco disipador contrario a la dirección del flujo se estima que los valores serán sobreestimados y por lo tanto conservadores para las condiciones reales del disipador, en la tabla siguiente se presenta el resumen de estos cálculos:

Tabla 6.3-1: Verificación de Tanque disipador de energía.

Tr	Q	Y1	F1	k	b	T1	FM1	Y2/Y1	Y2	Lr
años	m3/s	m	m	talud	m				m	m
100	0.50	0.053	8.81	3	3	18.87	82.3	5.15	0.3	1.5
1000	5.00	0.227	9.85	3	3	4.41	21.7	4.58	1.0	5.6
12000	24.30	0.683	9.17	3	3	1.46	6.7	3.03	2.1	9.6

El diseño del enrocado de protección debe cuidar que las rocas no sean removidas por la fuerza del flujo, siendo recomendable rocas con un diámetro promedio (D_{50}) de acuerdo a la siguiente relación:

$$D_{50} = D\left(\frac{v}{\sqrt{g \cdot D}}\right)^3$$

Donde,
D_{50}: tamaño mínimo promedio de las roca, en m.
D: profundidad del flujo o altura del flujo a la salida del canal, en m.
v: velocidad promedio en la salida del canal, en m/s.
g: aceleración gravitacional, 9,81 m/s^2.

Considerando que para el caso más desfavorable, se obtiene el siguiente valor para D_{50}:

Tabla 6.3-2: Calculo de D_{50}.

Caso:	Tr=12,000 (PMP)	
Variable	Magnitud	Unidad
V	15.00	m/s
D	0.30	m
D50	0.62	m

Por condiciones de seguridad se adoptó como tamaño medio para el enrocado un diámetro de 0.7m y máximo 1 m.