



CODELCO

Informe factibilidad técnica para el cierre parcial del Dren de Agua Helada Salar de Pedernales

0	15-04-2021	Revisión final	RO/BZ
B	15-04-2021	Revisión interna	RO
A	14-04-2021	Revisión interna	RO
REV.	FECHA	EMITIDO PARA	POR

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	3
2.	OBJETIVO.....	3
3.	ALTERNATIVA SELECCIONADA EN LA INGENIERÍA DE PERFIL.....	3
3.1.	RELLENO DEL TÚNEL CON HORMIGÓN MASIVO	3
3.1.1.	Secuencia constructiva relleno hormigón masivo	5
3.1.2.	Análisis de factibilidad técnica para ejecutar cierre parcial del DAH	7
3.1.3.	Cubicaciones relleno masivo con hormigón	7
3.1.4.	Carta Gantt Alternativa Relleno Masivo	7
4.	EFICIENCIA DE REDUCCIÓN DE CAUDAL	0
5.	ANÁLISIS AMBIENTAL PRELIMINAR.....	0
6.	CONCLUSIONES	0

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto de la existencia de la demanda interpuesta por Daño Ambiental por parte del Consejo de Defensa del Estado (CDE) contra CODELCO, y en el marco del proceso de conciliación que concluyó con un Avenimiento y Transacción entre las partes, CODELCO y el CDE acordaron una serie de medidas, las cuales fueron complementadas por el Primer Tribunal Ambiental. Entre estas medidas complementarias, CODELCO se comprometió a revisar la factibilidad técnica y ejecutar el cierre parcial o total del Dren Agua Helada, de ser posible, según el análisis de ingeniería hidráulica y ambiental que puedan determinar como medidas preventivas preliminares.

El Dren Agua Helada (DAH) corresponde a una obra hidráulica construida en la década de 1920, la cual conecta hidráulicamente la cuenca del Salar de Pedernales, originalmente endorreica, con la cuenca del río Salado (o río De la Sal) en el extremo Nor-poniente del salar. La zona donde se emplaza el dren coincide con ser la parte más baja de la cuenca del Salar de Pedernales (depocentro), presentando espesores de la costra salina que van entre 60 y 120m de potencia.

Posee un caudal estimado de entre 45 a 65 l/s, de acuerdo con los antecedentes que dispone el Proyecto Rajo Inca (PRI), los cuales son coincidentes con los registrados históricamente para este dren.

Cabe mencionar que desde la fecha del Avenimiento, Codelco ha desarrollado una campaña geotécnica consistente en calicatas, sondajes y reconocimiento en terreno de variables geológicas e hidrogeológicas que han permitido recabar una mínima base de información geocientífica para poder llevar a cabo una ingeniería de perfil, cuyo informe final está aún en desarrollo.

2. OBJETIVO

Mediante el presente informe, que nace de las conclusiones de la ingeniería de perfil desarrollada para evaluar el cierre definitivo del Dren de Agua Helada, se analiza la factibilidad técnica de definir medidas de cierre parcial del mencionado dren.

3. ALTERNATIVA SELECCIONADA EN LA INGENIERÍA DE PERFIL

3.1. RELLENO DEL TÚNEL CON HORMIGÓN MASIVO

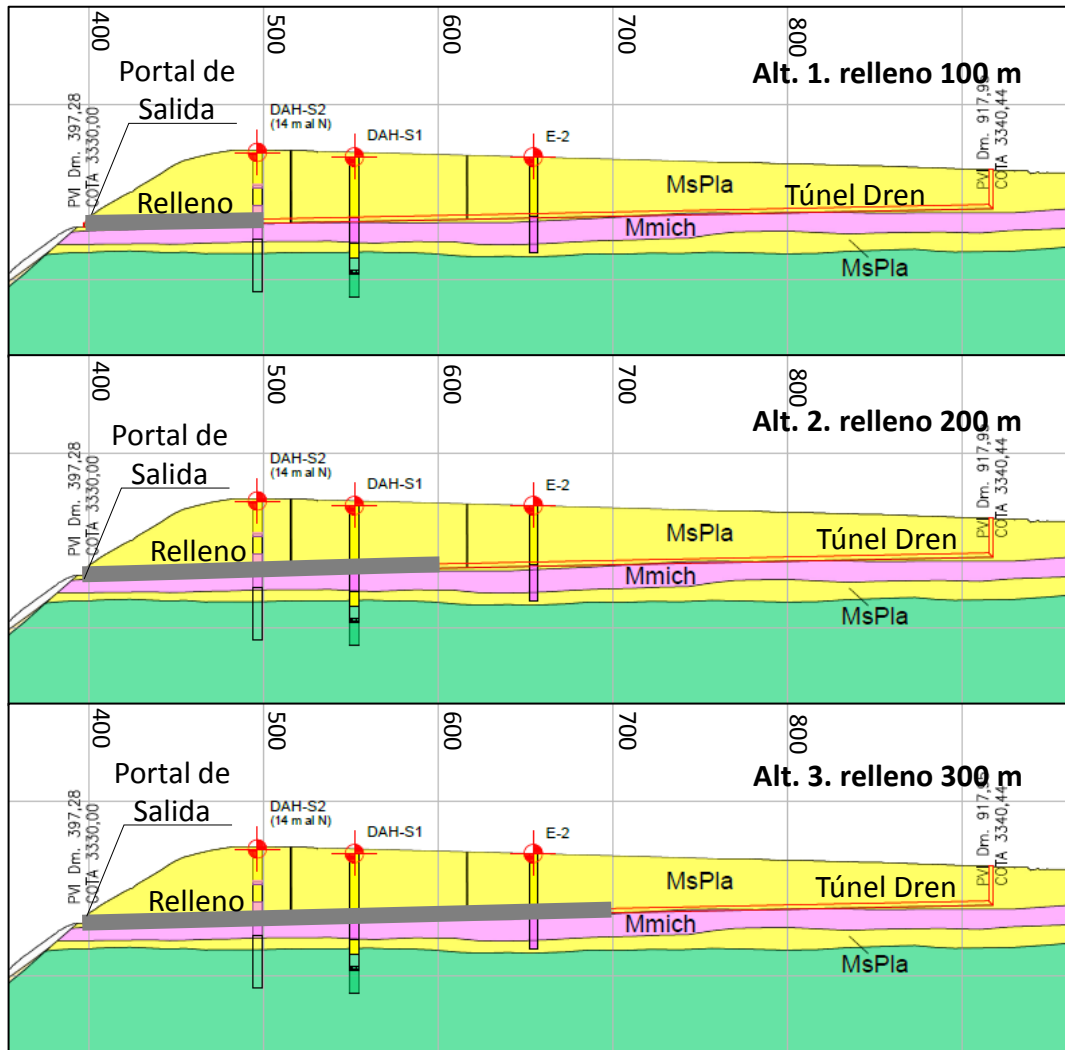
Esta alternativa consiste en evaluar hidrodinámicamente el efecto en el caudal de descarga del dren, al ser este relleno parcialmente con hormigón, sin considerar el

uso de inyecciones u otro tipo de técnicas de impermeabilización, sino solamente el bombeo de hormigón en toda la sección del túnel, con un posterior proceso de relleno de clave.

El relleno con hormigón masivo de un tramo del túnel, dependiendo del volumen de hormigón necesario para cumplir con los criterios de caudales máximos de salida, podría significar una alternativa más simple de ejecutar y con costos competitivos con las otras dos alternativas, ya que no se requeriría la aplicación de inyecciones.

En la Figura 1 a continuación, se muestra el relleno de 100, 200 y 300 metros de túnel, iniciando desde el portal de salida hacia el Oeste. Finalmente, luego de realizada una evaluación técnica, se definirá la opción que con los criterios de caudal de salida comprometidos en el proceso de conciliación que concluyó con un Avenimiento y Transacción.

Figura 1. Relleno con hormigón masivo. Tres escenarios.



3.1.1. Secuencia constructiva relleno hormigón masivo

La secuencia constructiva para el relleno del dren consta de las siguientes etapas:

- Etapa 1: Inspección, acuñadura y eventual fortificación temporal del túnel dren Agua Helada. En esta etapa se habilitará el túnel para hacer ingreso y realizar trabajos en su interior. En caso de identificarse bloques sueltos o inestables en el techo, se realizará acuñadura manual. Adicionalmente se efectuará una inspección geomecánica para establecer la necesidad de realizar una fortificación de carácter temporal (pernos tipo Split-Set u otro), de tal forma que se cumpla con los estándares de seguridad para realizar trabajos dentro del túnel. Otro aspecto importante corresponde a la limpieza de las capas salinas que puedan presentarse en las paredes del túnel, con el fin de garantizar el buen funcionamiento posterior del tapón. Esto último se efectuará en todo el tramo a rellenar

- Etapa 2: Ventilación auxiliar. Para efectuar las operaciones de relleno de hormigón, se evaluará la necesidad de ventilación auxiliar, en función de los aforos efectuados en el túnel, la utilización de equipos diésel y la presencia de personas en el interior del túnel.
- Etapa 3: Construcción de obra de desvío del agua. Para poder efectuar adecuadamente las labores de tapado y relleno con hormigón del túnel, será necesario generar un desvío del agua hacia una de las cajas. Dado el bajo caudal de descarga registrado en el dren, este puede ser canalizado mediante sistemas simples de canaletas y tuberías, las cuales serán selladas en una etapa posterior, o bien se instalará una válvula.
- Etapa 4: Construcción de tapado inicial. Aguas arriba de la zona a rellenar, es necesaria la construcción de un tapado o moldaje perdido, de tal forma que cubra la sección completa del túnel. Este tapado corresponderá al inicio del relleno del túnel aguas arriba. Cabe señalar que, en este tapado es posible instalar una tubería para drenar agua de forma controlada mediante válvulas.
- Etapa 5: Instalación de tuberías de relleno de clave. Se instalará un sistema de tuberías ranuradas a lo largo del centro del techo del túnel, de tal forma que permita bombear mortero o lechada en etapas posteriores, con el fin de rellenar los espacios vacíos que no hayan podido ser rellenados en la etapa de bombeo de hormigón masivo (principalmente en el techo del túnel) o vacíos asociados a la retracción del hormigón. Cabe señalar que, para estas labores usualmente son utilizadas tuberías del tipo "Fuko", con terminales aguas abajo de cada panel que se rellene. Dada la longitud de túnel a rellenar (mínimo 100 m), se descarta la utilización de inyecciones de contacto en toda la longitud del túnel, sin embargo, en una etapa posterior de análisis, podrían diseñarse en tramos cortos para garantizar la impermeabilización.
- Etapa 6: Relleno con hormigón masivo. Mediante el uso de bombas de hormigón, se rellenará el túnel en toda su sección, en tramos limitados por la capacidad de las bombas a utilizar. Se instalará un moldaje o tapado del túnel aguas abajo, que luego será retirado para el relleno del siguiente tramo.
- Etapa 7: Relleno de clave. Se realizará un bombeo de mortero o lechada a través de las tuberías instaladas en el techo del túnel, rellenando los espacios que no hayan podido ser alcanzados por el relleno masivo.
- Etapa 8: Se retira el moldaje aguas abajo y se repiten los pasos 5 a 7.

Cabe destacar que el diseño de la solución definitiva para el cierre del DAH ha sido realizado a partir de ingeniería de perfil, por lo que podría variar dependiendo de las siguientes etapas de desarrollo de la ingeniería.

3.1.2. Análisis de factibilidad técnica para ejecutar cierre parcial del DAH

Con respecto a la posible implementación de obras previas para desarrollar esta alternativa, es posible ejecutar de forma adelantada los trabajos de habilitación del túnel para el ingreso de personal y equipos (acuñadura, fortificación, ventilación, etc.). Sin embargo, en lo que respecta a las obras necesarias para reducir el caudal de filtración, se recomienda no adelantar obras, ya que el relleno o cierre parcial del túnel podría generar condiciones hidrodinámicas más exigentes que las modeladas, tales como altos gradientes hidráulicos y posibles vías preferenciales para la filtraciones aguas abajo del relleno, afectando la efectividad del relleno con hormigón. Esto sin perjuicio de la necesidad de evaluación ambiental de estas obras que se señala más adelante.

3.1.3. Cubicaciones relleno masivo con hormigón

A continuación la Tabla 1 muestra las cubicaciones estimadas asociadas para la reducción de filtraciones en el túnel.

Tabla 1: Cubicaciones estimadas para la implementación de la alternativa seleccionada

Cubicaciones Alternativa Relleno hormigón Masivo				
Partida	Un	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Relleno de Túnel				
Tramo de túnel a rellenar	m	100	200	300
Volumen de hormigón	m ³	625	1250	1875
Tubería relleno de clave (24 mm)	m	120	220	320
Mortero relleno de clave (2% hormigón)	m ³	12,5	25	37,5
Relleno Pique con hormigón	m ³	35	35	35

3.1.4. Carta Gantt Alternativa Relleno Masivo

La Tabla 2 presenta la programación tentativa definida para la ejecución de esta alternativa. El plazo total estimado es de 9 meses. Para las alternativas de relleno masivo de 200 m y 300 m, el plazo de ejecución asciende a 10 y 11 meses respectivamente¹.

¹ Tener presente que se encuentra en fase final el estudio de ingeniería de perfil, por lo tanto podrían existir cambios a esta propuesta los cuales se presentarán a fines del mes de abril.

Tabla 2: Carta Gantt Alternativa Relleno Masivo 100 m.

ALTERNATIVAS DE SELLADO DREN DE AGUA HELADA														
ALTERNATIVA 3A: Relleno Con Hormigón Masivo (Tramo L=100 m)														
Nombre Actividad	Mes Inicio	Duración (Meses)	Meses											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Acreditación e Instalación de Faena	1	3	█	█	█									
Inspección, acuñadura y eventual fortificación temporal del túnel, y ventilación auxiliar	3	1			█									
Construcción de obra de desvío del agua	4	0,5				█								
Construcción de un tapado o moldaje perdido	4	0,5				█								
Instalación de tuberías de relleno de clave (tramo 1)	5	0,5					█							
Relleno con hormigón masivo y Relleno de clave (tramo 1)	5	2					█	█	█					
Instalación de tuberías de relleno de clave (tramo 2)	6	0,5						█						
Relleno con hormigón masivo y Relleno de clave (tramo 2)	7	2							█	█				
Hormigonado Pique	8	0,5									█			
Retiro de moldajes	9	0,5										█		
Desmovilización	9	1										█		

Este Documento es propiedad de CODELCO CHILE.

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE.

Copyrights © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

4. EFICIENCIA DE REDUCCIÓN DE CAUDAL

A partir de la información disponible se ha implementado un modelo numérico de flujo para el Dren de Agua Helada para simular el comportamiento del sistema subterráneo, en conjunto a las obras propuestas para su cierre.

De esta forma se evaluó que la alternativa de sello de hormigón masivo de 100 m corresponde a la de mayor eficiencia en cuanto a la reducción del caudal promedio medido en el Dren de Agua Helada, alcanzando ésta a 98% y que corresponde al escenario 1: Relleno de 100 metros.

Tabla-4. Resumen de Alternativa

Alternativa	Caudal Inicial del dren (L/s)	Caudal del dren con Alternativa (L/s)	Eficiencia de la alternativa
Sello con Hormigón masivo (100m.)	61	1,1	98%

5. ANÁLISIS AMBIENTAL PRELIMINAR

Según el análisis preliminar de pertinencia de ingreso al SEIA las obras de sellado del DAH propuesta por Arcadis, deberán someterse al SEIA. Ello debido a la letra p) de los art. 10 de la Ley 19.300 y art. 3 del D.S. N°40/2012, señala que deben someterse a dicho sistema la ejecución de obras programas o actividades en áreas colocadas bajo protección oficial.

Al respecto la Dirección Ejecutiva del SEA mediante oficio ordinario N°161081 de fecha 17 de agosto del año 2016, señaló que los Humedales declarados sitios prioritarios para la conservación de la Biodiversidad, corresponden a áreas colocadas bajo protección oficial. A su vez, el Ministerio de Medio Ambiente mediante el ordinario N°0298 del 3 de noviembre definió el Salar de Pedernales como uno de los 64 Sitios Prioritarios para la conservación de la Biodiversidad en el país. De este modo, según las instrucciones dictada por la autoridad ambiental, estas obras deben someterse al SEIA.

Es por ello que las obras descritas, ya sean las preliminares o definitivas, van a requerir una evaluación ambiental, por lo que no resulta factible adelantar o diferir actividades relacionadas con el cierre del dren hasta no evaluarse ambientalmente la obra completa.

6. CONCLUSIONES

Si bien el informe de alternativas de cierre definitivo del Dren de Agua Helada se encuentra en desarrollo, los antecedentes muestran que la solución del relleno de 100 metros de túnel con hormigón masivo es la solución más efectiva en cuanto a reducción de caudal, alcanzando un 98% de eficiencia, respecto del caudal promedio considerado.

De acuerdo a los antecedentes expuestos en este informe la ejecución de esta alternativa y su eficiencia dependen de que sea un proceso de construcción continuo desde su inicio y, por lo tanto no se recomienda adelantar o diferir obras relativas al cierre con fines de reducción de caudal a corto plazo, ya que el relleno o cierre parcial del túnel podría generar condiciones hidrodinámicas más exigentes que las modeladas, tales como altos gradientes hidráulicos y posibles vías preferenciales para la filtraciones aguas abajo del relleno, afectando la efectividad del relleno con hormigón.

Como se evidencia, el grado de incertidumbre en cuanto a la eficiencia asociado a posibles obras preliminares es aún mayor que para las propias alternativas de cierre final consideradas en esta fase de ingeniería de perfil. La solución de cierre definitivo a su vez debería reforzarse con mayor investigación de terreno para alimentar una ingeniería más detallada de la solución final.

Por último, según el análisis ambiental preliminar, toda intervención en el sector del dren requerirá de una evaluación ambiental, dado su emplazamiento en un sitio prioritario para la conservación de la biodiversidad, como lo es el Salar de Pedernales, por lo que un cierre parcial de todas formas requerirá de tiempos asociados a tramitación ambiental, lo que no permitiría reducir el caudal en un plazo significativamente distinto a un cierre total de la obra.