

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO DE LA IMPERMEABILIZACIÓN DEL
TRANQUE DE RELAVES PARA LAS ETAPAS 7 Y 8 MINERA CASERONES
LUMINA COPPER CHILE**

Trabajo de Titulación para optar al
Título de Técnico Universitario en
MINERÍA Y METALURGIA

Alumnos:

Diego Andrés Plaza Araya

Nicolás Ignacio Collao Bravo

Profesor Guía:

Mg. Ing. Luis Gutiérrez Meneses

2023

DEDICATORIA

En estas líneas quiero agradecer a todas las personas que hicieron posible el desarrollo de este trabajo de Titulación y que de alguna manera estuvieron con nosotros en los momentos difíciles, alegres, y tristes. Estas palabras son para nuestras familias. Especialmente a nuestros padres por todo su amor, comprensión y apoyo, pero sobre todo gracias infinitas por la paciencia que me ha tenido. No tengo palabras para agradecerles las incontables veces que me apoyado en todas las decisiones que he tomado a lo largo de mi vida, unas buenas, otras malas y otras locas. Gracias por darme la libertad de desenvolverme como ser humano.

Finalmente, agradecemos a la empresa Ingeniería Civil Vicente S.A., especialmente a Mg Cristián Plaza Peralta (Ingeniero Civil en Minas) por toda la documentación entregada para logro del término de este proceso de estudio.

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se analizó técnica y económicamente la impermeabilización del tranque de relaves de lamas La Brea de Minera Caserones Lumina Copper Chile para las etapas 7 y 8 para los años 2020 y 2021. Estas etapas corresponden al crecimiento del tranque debido al aumento de la cantidad de relaves considerados en el Plan Minero de dicho periodo.

Para realizar este análisis se revisaron las características generales de Minera Caserones, además de la legislación vigente relacionada con la construcción de tranques de relaves.

Posterior a ello, se revisaron las distintas técnicas y materiales usados comúnmente para la construcción e impermeabilización existentes. Para el análisis económico se revisó la propuesta técnico-económica entregada por Ingeniería Civil Vicente (ICV S.A.) en donde se detalla el costo necesario para realizar esta actividad, donde se obtiene que el costo estimado para la fase de construcción de las etapas 7 y 8 es de \$ 90.280.089.128 y para la fase de impermeabilización es de \$ 1.634.220.031, lo que da un total de \$ 91.914.309.159 equivalentes a US\$ 119.333.588 aproximadamente.

En contraparte, fue analizada la posible ganancia calculada en base al Plan Minero de Minera Caserones para el periodo 2020 -2021, obteniéndose un ingreso de US\$ 499.279.698,43 para el año 2020, y de US\$ 951.323.106,96 para el año 2021.

Finalmente se obtiene como resultado que el costo total asociado a la construcción e impermeabilización del tranque de relaves de lamas La Brea de Minera Caserones representa un 23,90% del posible ingreso por el concepto de concentrado de Cobre producido en el año 2020. Y al considerar la suma de los posibles ingresos para el periodo 2020 – 2021 el costo representa un 8,22% del total, lo que nos indica que es una inversión rentable para la continuidad operacional de Minera Caserones.

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| OBJETIVOS..... | 2 |
| PROBLEMÁTICA..... | 2 |
| CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES GENERALES | 3 |
| 1.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA | 4 |
| 1.1.1 UBICACIÓN DE ACCESO A MINERA CASERONES | 4 |
| 1.1.2 CLIMA..... | 5 |
| 1.1.3 PROCESO MINERO | 6 |
| 1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESAMIENTO DE MINERALES | 7 |
| 1.2.1 AREA MINA – RAJO CASERONES..... | 7 |
| 1.2.2 BOTADEROS DE LASTRE..... | 8 |
| 1.2.3 CHANCADOR PRIMARIO | 8 |
| 1.3 DESCRIPCION DEL AREA DE PROCESOS | 9 |
| 1.3.1 PLANTA CONCENTRADORA..... | 9 |
| 1.3.2. DEPOSITO DE ARENAS Y RECUPERACION DE AGUA | 10 |
| 1.3.3. ÁREA DISPOSICIÓN DE LAMAS TRANQUE LA BREA | 10 |
| 1.3.4. PRODUCCIÓN DE CÁTADOS | 11 |
| 1.4 DESCRIPCION DEL AREA DE DEPOSITOS DE LAMAS | 12 |
| 1.4.1. CARACTERISTICAS DEL EMBALSE DE LAMAS..... | 12 |
| 1.5 MARCO NORMATIVO Y BUENAS PRACTICAS EN CHILE | 13 |
| 1.5.1 DECRETO SUPREMO 248 | 13 |
| 1.5.2 LEY 20.551 | 15 |
| 1.5.3 DECRETO 41 | 15 |
| 1.5.4 DECRETO 50 | 17 |
| 1.5.5 EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL Y RESOLUCIONES DE APROBACIÓN..... | 19 |
| 1.5.6 GUÍA TÉCNICA DE OPERACIÓN Y CONTROL DE DEPOSITOS DE RELAVES | 20 |
| CAPÍTULO 2 MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN E IMPERMEABILIZACIÓN DEL TRANQUE DE RELAVES LA BREA..... | 23 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 2.1 | CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL UTILIZADO PARA LA CONSTRUCCIÓN ETAPA 7 Y 8..... | 24 |
| 2.1.1 | CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL DE RELLENO..... | 24 |
| 2.1.2 | CLASIFICACION DEL MATERIAL DE RELLENO..... | 25 |
| 2.1.3 | MODO CONSTRUCTIVO | 25 |
| 2.2 | MATERIALES PARA LA IMPERMEABILIZACIÓN DE LOS TRANQUES DE RELAVES | 26 |
| 2.2.1 | TIPOS DE GEOMENBRANAS..... | 27 |
| 2.2.2 | CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS EN LOS MATERIALES DE IMPERMEABILIZACIÓN..... | 28 |
| | CAPÍTULO 3 PROCESO TÉCNICO – ECONÓMICO DE LA IMPERMEABILIZACIÓN DEL TRANQUE LA BREA..... | 30 |
| 3.1 | DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA OBRA..... | 31 |
| 3.2 | PROCESO TÉCNICO PARA LA IMPERMEABILIZACIÓN | 33 |
| 3.2.1 | FASE DE IMPERMEABILIZACION | 33 |
| 3.2.2 | CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES PARA LA IMPERMEABILIZACIÓN PARA EL TRANQUE RELAVES LA BREA..... | 34 |
| 3.3 | METODOLOGIA PARA LA IMPERMEABILIZACION..... | 38 |
| 3.4 | CUBICACIONES PARA LA IMPERMEABILIZACION | 43 |
| 3.5 | COSTOS ASOCIADOS A LA ETAPA 7 Y 8 DE LA CONSTRUCCIÓN E IMPERMEABILIZACIÓN DEL MURO DE RELAVES LA BREA | 45 |
| 3.5.1 | COSTOS ASOCIADOS A LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN..... | 45 |
| 3.5.2 | COSTOS ASOCIADOS A LA ETAPA DE IMPERMEABILIZACIÓN | 48 |
| 3.5.3 | PLAN MINERO AÑO 2020 – 2021..... | 50 |
| 3.5.4 | ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 53 |
| | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 54 |
| | BIBLIOGRAFIA..... | 56 |
| | ANEXOS..... | 57 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.1 Mapa de localización de caminos a Mina Caserones..... | 5 |
| Figura 1.2 Diagrama de flujo de Minera Caserones..... | 7 |
| Figura 1.3 Muro construido con material de empréstito | 22 |
| Figura 2.1 Escalonamiento aguas abajo del muro previo colocación del material Tipo 1 .. | 26 |
| Figura 3.1. Ubicación general proyecto muro La Brea. | 31 |
| Figura 3.2. Ortofoto depósito de lamas La Brea - año 2028 | 33 |
| Figura 3.3. Geometría anclaje geomembrana y geotextil..... | 39 |
| Figura 3.4. Zona de anclaje con afloramiento rocoso..... | 40 |
| Figura 3.5. Detalle zanja con hormigón proyectado..... | 41 |
| Figura 3.6. Zanja anclaje suelo..... | 42 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1.1 Parámetros meteorológicos sector la Brea..... | 6 |
| Tabla 1.2 Reservas estimada en Millones de Toneladas v/s Ley Cu (%)..... | 8 |
| Tabla 1.3 Características de acopio de gruesos | 9 |
| Tabla 1.4 Características técnicas del depósito de arenas | 10 |
| Tabla 1.5 Características técnicas del depósito de lixiviación..... | 11 |
| Tabla 1.6 Características técnicas del depósito de Lamas La Brea | 12 |
| Tabla 1.7 Periodos de retorno para diseño..... | 18 |
| Tabla 2.1 Cubicaciones de materiales de rellenos para Etapas 7 y 8..... | 25 |
| Tabla 3.1. Etapas de crecimiento del muro..... | 32 |
| Tabla 3.2. Propiedades mínimas del geotextil | 34 |
| Tabla 3.3. Características del Polylock..... | 35 |
| Tabla 3.4. Características de la geomembrana..... | 35 |
| Tabla 3.5. Granulometrías de aceptación hormigón | 36 |
| Tabla 3.6. Granulometría de aceptación | 37 |
| Tabla 3.7. Cubicaciones de Geosintéticos | 43 |
| Tabla 3.8. Cubicaciones de materiales para el estribo norte..... | 43 |
| Tabla 3.9. Cubicaciones de materiales para la fase de impermeabilización | 44 |
| Tabla 3.10. Costos asociados al movimiento de tierra y construcción del muro - Etapas 7 y 8 (Parte 1)..... | 47 |
| Tabla 3.11. Costos asociados al movimiento de tierra y construcción del muro - Etapas 7 y 8 (Parte 2)..... | 48 |
| Tabla 3.12. Costos estimados para la fase de Impermeabilización - Etapa 7 y 8..... | 50 |
| Tabla 3.13. Plan Minero Año 2020 Minera Caserones..... | 51 |
| Tabla 3.14. Valores Anuales del precio del Cobre (cUS\$/lb) | 52 |
| Tabla 3.15. Valorización Concentrado Producido 2020..... | 52 |
| Tabla 3.16. Valorización Concentrado Producido 2021 | 53 |
| Tabla 3.17. Valorización Concentrado Producido 2020..... | 57 |

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

SIGLA

| | |
|----------------|--|
| B.M.L./L.M.E. | : Bolsa de Metales de Londres / London Metal Exchange |
| Cp | : Concentración de sólidos en peso |
| DMCS | : Densidad Máxima Compactada Seca. |
| EETT | : Especificaciones Técnicas. |
| GC | : Grados de compactación. |
| HDPE | : High Density Polyethylene (Polietileno de Alta Densidad). |
| LLDPE | : Linear low-density polyethylene (Polietileno baja densidad lineal). |
| Oc | : Cuaternarios coluviales. |
| PLS | : Pregnant Leach Solution (Solución rica de lixiviación. Es la fase portadora del metal disuelto). |
| PPC | : Pan Pacific Copper. |
| Pzsg | : Basamente paleozoico. |
| m.s.n.m | : Metros sobre el nivel del mar. |
| SCMMLCC o MLCC | : Sociedad Contractual Minera Lumina Copper Chile. |
| SX-EW | : Solvent Extraction – Electrowinning (Extracción por solventes y Electro obtención) |
| ts | : Tonelada seca |
| TMS | : Tonelada Por Mes |
| tmph | : Tonelada métrica por hora |
| tn | : toneladas |
| ZF | : Zona Fluvial |

SIMBOLOGÍA

| | | |
|-----------|---|--|
| A/m^2 | : | Unidad referida a la corriente que hay en un metro cuadrado de superficie. |
| Fc | : | Unidad referida a probetas cubicas. |
| Gl | : | Unidad referida a una cantidad en modo Global. |
| gr/m^2 | : | Unidad referida a gramos por metro cuadrado cubierto. |
| Hp | : | Unidad referida a caballos de fuerza. |
| kg/cm^2 | : | Unidad referida a kilogramo por centímetro cuadrado. |
| Km | : | Unidad referida a kilómetros. |
| Km^2 | : | Unidad referida a kilómetro cuadrado. |
| l/seg | : | Unidad referida a litros por segundo. |
| m / mts | : | Unidad metro. |
| m^2 | : | Unidad referida a metros cuadrados. |
| m^3 | : | Unidad referida a metros cúbicos. |
| Mm | : | Unidad referida a milímetro. |
| Mm^3 | : | Unidad referida a Millones de milímetro cúbicos. |
| Mt | : | Unidad referida a Millones de toneladas. |
| t/m^3 | : | Unidad referida a toneladas por metro cúbico. |

INTRODUCCIÓN

La importancia de la minería dentro del contexto económico del país es sin duda preponderante, por lo tanto, siempre será significativo que las empresas mineras se mantengan en operación, sin embargo, no se puede desconocer que la explotación minera genera también un impacto en el entorno donde se localiza, debido a esto existen reglamentos y normas dentro de la legislación de nuestro país que regulan las distintas actividades de la operación minera. Una parte muy importante dentro del proceso para la obtención del cobre es el manejo de los relaves que se generan en dicho proceso, por lo cual, la legislación pone especial énfasis en dichas actividades.

En el proceso productivo de Minera Caserones, perteneciente a la empresa Lumina Copper Chile, se generan relaves los que son tratados y depositados en dos puntos distintos separados por tamaño de partículas. Las arenas o partículas más gruesas son enviadas a un depósito ubicado en la Quebrada Caserones, y la fracción más fina del relave o lamas son depositadas en el Embalse de Lamas La Brea. De acuerdo con el Plan de Minerero de Caserones este embalse debe crecer en su capacidad para dar respuesta a las metas productivas y darle continuidad a la operación. Este aumento de capacidad, correspondiente a la etapa 7 y 8, implica el crecimiento del muro y su impermeabilización.

Estas actividades deben cumplir con la legislación vigente, requisitos técnicos acordes al proceso productivo y al entorno donde se ubica la faena minera, considerando siempre que el costo total de este crecimiento no genere un impacto negativo en el balance económico de la empresa.

El presente trabajo realiza un estudio técnico económico de la construcción e impermeabilización del tranque de relaves para las etapas 7 y 8 de Minera Caserones Lumina Copper Chile.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Analizar técnica y económicamente la impermeabilización del tranque de relaves de lamas de Minera Caserones Lumina Copper Chile.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reconocer la importancia del proceso minero de Minera Caserones, de acuerdo a las etapas del proceso productivo y las condiciones geográficas estableciendo el comportamiento del relave con legislación vigente.
- Describir el proceso técnico para la construcción e impermeabilización del tranque de relaves de lamas la Brea, señalando las características técnicas y mecánicas de los materiales utilizados.
- Evaluar la viabilidad Técnica - Económica del proceso de impermeabilización del tranque de relaves de lamas la Brea en sus etapas 7 y 8.

PROBLEMÁTICA

Actualmente el tranque de depósitos de Lamas “La Brea” se encuentra en la cota 2.888 m.s.n.m, correspondiente al término de la Etapa 7 la que tiene una capacidad de 104,8 millones de toneladas (Mt) para la depositación de relaves de acuerdo con el plan Minero 2020. Para el año 2021 el Plan minero proyectado considera que la depositación aumentará en aproximadamente un 18% llegando a 123,4 (Mt) de lamas en su Etapa 8, para lo cual, la compañía requiere del crecimiento del tranque de relaves para lograr la continuidad operacional.

CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES GENERALES

1.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

En mayo del 2006 Pan Pacific Copper (PPC) adquirió los derechos de yacimiento Regalito, hoy Caserones, que actualmente pertenece a la Sociedad Contractual Minera Lumina Copper Chile (SCMMLCC o MLCC) quien tiene como objetivo maximizar la producción y venta de concentrado de molibdeno y cátodos de cobre a través de la explotación y procesamiento de minerales del rajo Caserones mediante una planta concentradora y una planta de extracción por solvente y electro obtención.

Caserones es un yacimiento de baja ley (0,34% promedio) expuesto a condiciones climáticas extremas y en la cabecera de un valle con escasez de recursos hídricos, lo que exige que su diseño y operación se ajusten a una condición de máxima eficiencia tanto en aspectos operacionales como sustentables.

Durante los 28 años de vida útil estimada para Caserones, se calcula una producción total de 3,141 millones de toneladas de cobre fino en concentrados y 86.844 toneladas finas de molibdeno. La operación estimada de 25 años para la lixiviación en botadero calcula una producción total de 411.000 toneladas de cátodos de cobre.

1.1.1 UBICACIÓN DE ACCESO A MINERA CASERONES

Minera Caserones se localiza en la Tercera región de Atacama, en el norte de Chile, en el valle de Copiapó, comuna de Tierra Amarilla, a 151 km al suroeste de la capital regional Copiapó, a 9 km de la frontera con Argentina y a una altura máxima de 4.600 m.s.n.m. en el cerro que le da su nombre. El centro poblado más cercano al proyecto es la comuna de Tierra Amarilla, cuya economía se sustenta principalmente en la minería y agricultura. La Figura 1.1 resume las rutas de acceso para llegar a minera Caserones.

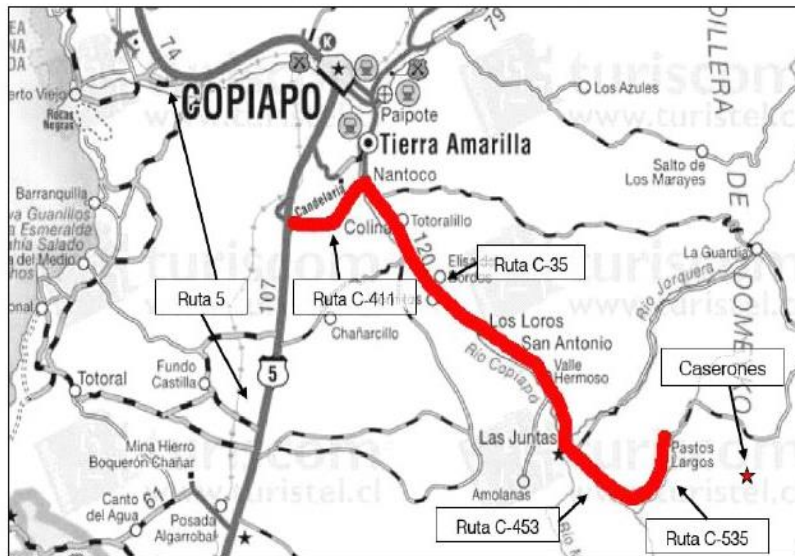


Figura 1.1 Mapa de localización de caminos a Mina Caserones
Fuente: Bases Técnicas de Contrato (Lumina Copper Chile, 2021)

1.1.2 CLIMA

El área del proyecto presenta un Clima Desértico Marginal Bajo (BWH) y Clima Desértico Marginal de Altura (BWH). Por otro lado, según el Mapa Agroclimático de Chile, el área del proyecto se inserta en un agro-clima desértico de altura, particularmente en los agro-climas denominados Potrerillos y Putre.

La amplitud térmica es mucho mayor que en el litoral. La diferencia entre el mes más cálido y el más frío es de 7° a 8° C en Copiapó y Vallenar, mientras que se estima inferior a 6° C en la zona costera. Mucho mayor es la amplitud térmica diaria que alcanza del orden de 13° a 15° C.

Las zonas que presentan este clima se caracterizan por temperaturas moderadas y humedades suficientes para permitir la generación de algún tipo de vegetación de estepa en los sectores bajos. Las precipitaciones aumentan con la latitud y altura, concentrándose en los meses de invierno. Los totales anuales llegan a 12 mm en Copiapó (291 m.s.n.m.), 19 mm en El Salvador (2.400 m.s.n.m.), 32 mm en Vallenar (470 m.s.n.m.) y 34 mm en Los Loros (948 m.s.n.m.).

Se manifiesta sobre los 2.000 m.s.n.m. El régimen térmico es más frío, pero las oscilaciones térmicas son menores que en el desierto marginal bajo (debido a la altura). La humedad relativa es baja. Las precipitaciones son más abundantes en este clima y se producen casi exclusivamente en los meses de invierno, de mayo a agosto. Estas son de origen frontal y ocasionalmente nivosas.

De acuerdo con lo descrito en las Bases de Licitación (Lumina Copper Chile, 2021), los parámetros climáticos de las instalaciones del área mina son registrados en la estación meteorológica La Brea y sus valores medios se presentan en la Tabla 1.1

| Parámetro | Unidad | Base dato año 2022 |
|--------------------------|--------|--------------------|
| Presión Barométrica | kPa | 72 |
| Humedad relativa (prom.) | % | 37,97 |
| T° ambiental anual | °C | 29,3-8,3 |
| Precipitaciones | mm | 52,2 |
| Viento promedio anual | Km/h | 24 |
| Nieve | cm/año | 98 |

Tabla 1.1 Parámetros meteorológicos sector la Brea
Fuente: Elaboración propia en base a (Lumina Copper Chile, 2021)

1.1.3 PROCESO MINERO

Caserones considera una explotación a rajo abierto, con una planta para producir concentrados de cobre y molibdeno a partir de sulfuros primarios; y una planta de extracción por solvente y electro obtención (SX-EW) para producir cátodos de cobre mediante el procesamiento de minerales oxidados, mixtos y sulfuros secundarios.

Para el procesamiento de minerales, Caserones cuenta con un Dump Leach o “Lixiviación en Botadero” de alta montaña, el primero de este tipo en Chile, con una capacidad de 300 millones de toneladas de mineral depositado. Asimismo, contempla un domo de acopio mineral o Stock Pile, de estructura metálica de tubos de acero, con un diámetro de 145 metros y una altura de 96 metros. Además, la mina cuenta con una planta concentradora con una capacidad anual de tratamiento de 110.000 a 150.000 TMF concentrado de cobre, compuesta de un chancador primario de 1.000 HP, un molino semiautógeno (SAG) de 32.000 HP y dos molinos de bolas de 27.000 HP.

Las plantas SX/EW, en tanto, corresponden a un diseño Outotec con capacidad de 30.000 toneladas de cobre por año, que se alimentan de soluciones provenientes de la lixiviación de minerales en botadero. La SX cuenta con un circuito de extracción en configuración serie paralelo tradicional, con dos etapas de extracción en serie más una en paralelo. En tanto la EW se ubica

en un edificio que alberga dos filas de 30 celdas cada una, con 84 cátodos permanentes por celda, donde se trabaja con una densidad de corriente de 280 A/m^2 (la corriente que hay en un metro cuadrado de superficie) con un ciclo de depositación de siete días. Las pilas de lixiviación son run of mine, lo que quiere decir que el mineral es lixiviado tal como proviene de la mina después de la tronadura, por lo que no considera una etapa de chancado posterior.

A continuación, en la Figura 1.2 se representa el diagrama de flujo resumido del proceso minero de Caserones, desde el rajo hasta el depósito de lamas en tranque La Brea.

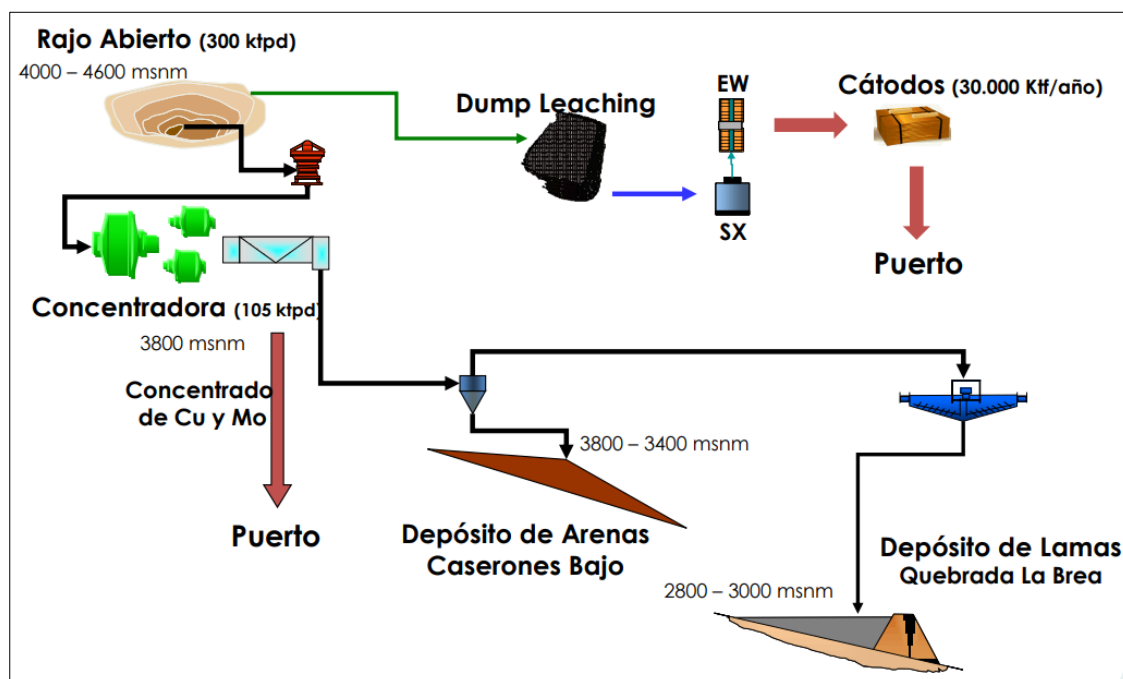


Figura 1.2 Diagrama de flujo de Minera Caserones
 Fuente: Bases Técnicas de Contrato (Lumina Copper Chile, 2021)

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESAMIENTO DE MINERALES

1.2.1 AREA MINA – RAJO CASERONES

El yacimiento es un depósito de mineral pórfido de cobre-molibdeno con explotación a rajo abierto de carácter masivo. El mineral de cobre se encuentra asociado a sulfuros y a material lixiviable.

La Tabla 1.2 presenta las reservas estimadas en rajo caserones:

| Reservas | Mt | Ley Cu (%) |
|-------------------------|-------|------------|
| Mineral a Lixiviación | 280 | 0,30 |
| Mineral a Concentración | 1.070 | 0,34 |
| Mineral Total | 1.350 | 0,33 |

Tabla 1.2 Reservas estimada en Millones de Toneladas v/s Ley Cu (%)

Fuente: Elaboración propia en base a (Lumina Copper Chile, 2021)

La explotación de la mina contempla en su inicio una extracción 28 Mt en la etapa de pre-stripping y posteriormente la extracción en promedio de 72 Mt anuales durante 26 años, con un máximo anual de 115 Mt.

El lastre es transportado al botadero de lastre, el mineral lixiviable al depósito de lixiviación y el mineral sulfurado al chancador primario. A todos estos sectores se accede por caminos mineros, los que deben tener un ancho de al menos 30 m. para permitir el tráfico de camiones de extracción.

1.2.2 BOTADEROS DE LASTRE

Para el lastre se considera el transporte al botadero mediante correas transportadoras. En este caso, los camiones llegan a una planta de chancado donde se reduce el tamaño del lastre y desde la cual es transportado al botadero mediante una serie de correas de cerca de 500 m. cada una, con plataformas de almacenamiento intermedio entre éstas.

El botadero de lastre se encuentra ubicado en el lado oeste del rajo con una capacidad total del botadero de 735 Mt y su llenado se realiza mediante un sistema de vaciado radial en terrazas.

1.2.3 CHANCADOR PRIMARIO

El mineral sulfurado es transportado por camiones al chancador primario, el que cuenta con una tolva de recepción de 500 t de capacidad viva y un equipo picador de roca para resolver los eventuales atascos y puentes de mineral en la tolva de recepción.

El mineral chancado descarga a un buzón regulador de 500 t de capacidad viva, con alimentador de correa, el cual alimenta la correa de 430 m. de longitud descendente que lo transporta al acopio de gruesos ubicado en el área de procesos. El acopio de gruesos está techado y cuenta con las características que se muestran en la siguiente Tabla 1.3.

| Variable | Unidad | Valor |
|-----------------|--------|---------|
| Capacidad total | Ton | 462.000 |
| Capacidad viva | Ton | 125.000 |
| Largo | m | 200 |
| Ancho | m | 97 |
| Altura | m | 52 |

Tabla 1.3 Características de acopio de gruesos
Fuente: Elaboración propia en base a (Lumina Copper Chile, 2021)

1.3 DESCRIPCION DEL AREA DE PROCESOS

1.3.1 PLANTA CONCENTRADORA

Minera Caserones produce concentrado de Cobre y Molibdeno a partir de mineral grueso que proviene del chancador primario. Las etapas que conforman esta área son las siguientes:

- Molienda SAG
- Chancado de pebbles
- Molienda secundaria
- Flotación colectiva
- Flotación selectiva de molibdeno
- Desaguado de concentrado de cobre
- Carguío de concentrado de cobre
- Desaguado de concentrado de molibdeno
- Envasado y carguío de concentrado de molibdeno

Los relaves de flotación son clasificados en arenas y lamas mediante hidrociclones. La fracción fina o lama es espesada y transportada en forma gravitacional a la quebrada La Brea, donde es dispuesta en un embalse denominado Deposito de Lamas Quebrada La Brea, el cual es construido por etapas.

El diseño del tratamiento de los relaves en Caserones fue concebido con el propósito de minimizar el consumo hídrico y energético, así como los posibles impactos ambientales en el entorno para ello, su depósito se clasifica de dos maneras: Arena, como la fracción gruesa del relave; y lamas, como la fracción fina del relave.

La fracción gruesa o arenas que representa entre el 40 y 60% de la masa de relave, se transporta gravitacionalmente a un depósito ubicado en la parte baja de la Quebrada Caserones.

1.3.2. DEPOSITO DE ARENAS Y RECUPERACION DE AGUA

El sistema de recuperación de agua desde la laguna de clarificación ubicada en el sector sur de la cubeta está constituido por bombas centrífugas horizontales montados sobre balsas flotantes. El depósito de arenas tiene un muro de pie enrocado de 20 m de altura. Las características del depósito se muestran en la Tabla 1.4

| Variable | Unidad | Valor |
|---------------------------|--------|-------|
| Capacidad total | mt | 500 |
| Pendiente de depositación | | 3 : 1 |
| Superficie máxima | m | 2,88 |
| Altura máxima | m | 250 |
| Volumen de depósito final | m | 333 |

Tabla 1.4 Características técnicas del depósito de arenas

Fuente: Elaboración propia en base a (Lumina Copper Chile, 2021)

El agua recuperada de las arenas es captada mediante drenes para luego ser conducidas gravitacionalmente a la sentina de recuperación de filtraciones. En caso de falla en el sistema de bombeo de la sentina las aguas son acumuladas en una piscina de aproximadamente 7.500 m³ ubicada al pie del depósito. Estas piscinas contemplan una protección con geomembrana, geotextil, geomembrana superior y un sistema de detección de fugas (geonet). La operación de la piscina considera todos los equipos necesarios para garantizar que la operación del sistema de recirculación de aguas de drenaje sea tal que no se produzcan vertimientos al río Ramadillas.

1.3.3. ÁREA DISPOSICIÓN DE LAMAS TRANQUE LA BREA

El transporte de lamas o la fracción fina de los relaves es espesada en el área de procesos y transportada gravitacionalmente por un lama ducto hasta el embalse ubicado en la Quebrada La Brea. Las lamas son captadas en la descarga de los espesadores desde donde son conducidas hasta llegar a la cola del embalse La Brea mediante tuberías de 19 km de largo. Durante los primeros 4 años de operación de la planta concentradora, las lamas son conducidas por una tubería de 20” de diámetro de acero revestido. Al quinto año, cuando

aumenta la producción se coloca una segunda tubería paralela de 16” de diámetro, además de disponer de 3 espesadores adicionales en el sector de la cola del embalse.

1.3.4. PRODUCCIÓN DE CÁTADOS

La producción de cátodos considera la lixiviación de minerales oxidados, mixtos y sulfuros de baja ley en un depósito de lixiviación, la solución lixiviada (PLS) pasará a una planta SW-EW. En el depósito de lixiviación es necesario regar con una solución de ácido sulfúrico y refino de cobre, el terreno se encuentra impermeabilizado con una membrana de HDPE y tiene sistemas de recolección de la solución rica en cobre (PLS). Las capas para cargar el mineral a lixiviar tienen una altura constante de 40 metros, con la excepción del primer escalón en el primer nivel, el cual considera tres capas de 20 mt. de altura cada una. La Tabla 1.5 resumen el proceso.

| Ítem | Unidad | Cantidad |
|--------------------------------------|--------------------|----------|
| Capacidad total estimado en la pila | Mt | 347 |
| Densidad del mineral acopiado | Ton/m ³ | 1,8 |
| Superficie impermeabilizada | Ha | 210 |
| Altura máxima de la pila en terreno | Mt | 212 |
| Máximo número de niveles | | 10 |
| Máximo número de escalones por nivel | | 3 |

Tabla 1.5 Características técnicas del depósito de lixiviación
Fuente: Elaboración propia en base a (Lumina Copper Chile, 2021)

El sistema de drenaje de soluciones está constituido por tuberías perforadas de HDPE, de 100 mm. de diámetro, las cuales se conectan directamente a una tubería colectora principal que descarga a la piscina de colección de solución PLS de 10.140 m³ ubicada al pie del depósito.

El depósito cuenta con un sistema de subdrenes que se encuentra instalado bajo la membrana de HDPE de forma de captar y drenar las aguas subterráneas presentes bajo el depósito (10 l/seg).

El sistema de subdrenes está formado por una tubería colectora primaria ubicada en la parte central de la pila de lixiviación con subdrenes secundarios ubicados en zonas donde actualmente existen potenciales filtraciones o área húmedas. La capacidad de conducción total del sistema es de 125 l/seg. Este sistema se encuentra conectado al sistema de manejo de aguas lluvias y a la

piscina de refino. La calidad de esta agua es permanentemente monitoreada para verificar que no se ha alterado su calidad de línea base en cuyo caso será enviada a la piscina de refino y desde allí recirculada al proceso.

En la Planta SX-EW se cuenta con dos trenes paralelos, cada uno con cuatro etapas de mezclado-decantación, tres de extracción y una de re-extracción. La planta de electro-obtención consta de áreas con celdas de hormigón polimérico en las que se produce el proceso, así como una máquina lavadora y despegadora de cátodos de cobre.

1.4 DESCRIPCION DEL AREA DE DEPOSITOS DE LAMAS

1.4.1. CARACTERISTICAS DEL EMBALSE DE LAMAS

El muro de La Brea está constituido por material de empréstito, obtenido de la explotación de canteras ubicadas en zonas adyacentes al muro y cubeta. Este muro considera un crecimiento aguas abajo con empinamiento de talud con membrana impermeabilizante en el talud agua arriba.

Las lamas (fracción fina del relave) son transportadas a través de un ducto para ser depositadas de manera segura en el lugar que la RCA aprobó para su depósito final.

Para el manejo de aguas lluvias se instalaron 4 bocatomas ubicadas en las principales quebradas afluentes al embalse y tuberías por el contorno del embalse que conducen las aguas captadas en las bocatomas.

Las características del depósito de lamas La Brea se resumen en la Tabla 1.6

| Parámetro | Unidad | Cantidad |
|-------------------------------|-----------------|----------|
| Capacidad total | Mt | 500 |
| Pendiente de depositación | % | 2,25 |
| Superficie máxima de cubeta | Km ² | 4,4 |
| Volumen de muro | Mm ³ | 118,3 |
| Altura de muro | M | 255 |
| Ancho de coronamiento de muro | M | 50 |
| Largo del muro | M | 2.450 |
| Revancha mínima | M | 5 |

Tabla 1.6 Características técnicas del depósito de Lamas La Brea
Fuente: Elaboración propia en base a (Lumina Copper Chile, 2021)

1.5 MARCO NORMATIVO Y BUENAS PRACTICAS EN CHILE

La documentación existente que legisla la construcción y operaciones de los tranques relaves, se pueden separar en aquellos que corresponden a normas y/o leyes, y en los que representan guías de buenas prácticas y/o recomendaciones de evaluación.

A continuación, se entregan los puntos de mayor relevancia de las normas chilenas que son fundamentales en la realización de proyectos de depósitos de relaves.

1.5.1 DECRETO SUPREMO 248

De acuerdo con el artículo de (Cecilia Riveros, 2021), “en Chile surgió el Decreto Supremo N°86/70, posterior a la catástrofe provocada por el sismo de La Ligua 1965, que generó el colapso del tranque de relaves El Cobre que sepultó cerca de 200 personas. Este decreto corresponde a un “Reglamento de Construcción y Operación de Tranques de Relaves”, el cual fue derogado el 2007 y reemplazado por el decreto vigente DS248, actualmente en proceso de modificación, que constituye un “Reglamento para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Cierre de los Depósitos de Relaves”.

Según lo indicado en el DS N°248 publicado por el (MINISTERIO DE MINERIA, 2007) “considera la diversidad de sistemas de depósitos de relaves, y los avances experimentados en los métodos de diseño, construcción y operación. Precisa también las exigencias técnicas para obtener aplicación de los conceptos más avanzados en la construcción de depósito de relaves de la minería chilena”.

Este documento, además, fija las normas de los procedimientos para la aprobación de los proyectos de depósitos de relaves mineros, y da a conocer los requisitos de diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves mineros, junto con la disposición de sus obras anexas, las que garantizan la seguridad de las personas y de los bienes.

Toda faena minera que genere y deba depositar relaves como parte del proceso productivo, está obligada a cumplir las disposiciones descritas en el presente reglamento.

Importante destacar algunos de los artículos que norman la construcción del tranque de relaves de Minera Caserones.

- **Artículo 8:** La empresa minera que lo requiera, deberá presentar al Servicio un proyecto de depositación de relaves. Dicho proyecto deberá cumplir con el presente Reglamento, el Reglamento de Seguridad Minera, Decreto Supremo N°72, de 1985, del Ministerio de Minería, cuyo texto refundido, coordinado y sistematizado fue fijado mediante Decreto Supremo N°132, de 2002, del Ministerio de Minería, y con toda la normativa legal, reglamentaria y disposiciones vigentes.
- **Artículo 9:** Los depósitos de relaves, cualquiera sea su tipo, ritmo de crecimiento, dimensión y ubicación, requieren la aprobación, por parte del Servicio, del proyecto correspondiente en forma previa a su Construcción y Operación. El incumplimiento de esta disposición facultará a SERNAGEOMIN para aplicar sanciones de acuerdo con el presente Reglamento.
- **Artículo 10:** Las modificaciones durante la construcción u operación del depósito de relaves, o de un proyecto aprobado, deberán ser informadas al Servicio antes de su implementación, para obtener su aprobación. A tal efecto, el usuario deberá presentar oportunamente los antecedentes técnicos de las modificaciones. En caso de modificaciones a los proyectos aprobados, el Servicio emitirá una nueva Resolución. Lo anterior, sin perjuicio de lo dispuesto por la legislación ambiental vigente.
- **Artículo 13:** En el caso de la presentación de un proyecto de Tranque de Relaves, conforme a lo que se establece en el artículo 14 el Servicio aprobará solo los proyectos donde el volumen de la cubeta sea a lo menos tres veces el volumen de los muros de contención.
- **Artículo 54:** El muro de inicio o muro de partida debe tener una altura mínima equivalente a 1/10 de la altura final del muro de contención proyectado, con un mínimo de dos (2) metros de altura. El muro de inicio debe contar con un sistema de impermeabilización en su coronamiento y en su talud interno.

- **Artículo 56:** El sistema de impermeabilización del fondo de la cubeta de los tranques y embalses de relaves o del área donde se depositan los relaves espesados, de ser necesario, deberá contemplar un tratamiento previo del terreno utilizado, por ejemplo, recubrimientos compactados compuestos con materiales del tipo arcillosos u otros con propiedades impermeabilizantes, o cualquier otro método (en el caso del Tranque de Relaves no es permitido el uso de una geomembrana), para impedir o minimizar filtraciones de agua contaminadas al exterior del depósito o infiltraciones a cursos de aguas subterráneas.

1.5.2 LEY 20.551

Corresponde a la ley que controla el cierre las faenas de la industria extractiva minera, el cual se lleva a cabo a través del Plan de Cierre.

Un plan de cierre tiene como objetivo principal la ejecución de medidas y acciones destinadas a mitigar los efectos que se derivan del desarrollo de la industria minera. En particular, busca asegurar la estabilidad física y química de los lugares donde se realiza la actividad. La importancia de esta ley radica en que el cierre de una faena minera debe ser planificado e implementado de forma progresiva durante las etapas de operación de la faena minera.

En el contexto de los depósitos de relave, éstos se consideran como parte de las faenas mineras, por lo que debe aplicarse la ley sobre éstos. En esta ley, la estabilidad física se considera como una situación de seguridad estructural que mejora la resistencia y disminuye las fuerzas que pueden afectar a las faenas mineras. Esta ley considera como medidas estabilizadoras a:

- Estabilización y perfilamiento de taludes.
- Reforzamiento o sostenimiento de éstos.
- Compactación del depósito.
- Otras que permitan mejorar las condiciones o características geotécnicas de las obras o depósitos mineros.

1.5.3 DECRETO 41

Como parte del Decreto Supremo 248, cada faena minera debe entregar un informe trimestral en el cual se informa sobre el manejo y control del depósito a lo largo de su operación. Este

informe debe incluir información solicitada en un formulario denominado E700. En términos generales, este formulario exige el siguiente contenido mínimo:

1. Identificación de la Faena Minera.

- Nombre de la Empresa.
- Rut de la Empresa.
- Dirección.
- Nombre del Representante Legal.
- Nombre de la Faena.
- Ubicación Geográfica.

2. Informe Técnico del Depósito de Relaves.

- Nombre del depósito.
- Tipo de depósito.
- Método constructivo del muro del tranque.
- Cantidad de relaves.
- Altura del muro.
- Largo berma de coronamiento.
- Ancho berma de coronamiento.
- Distancia borde de laguna-borde muro de arenas.
- Ancho aproximado sector playa en la cubeta.
- Revancha operacional mínima.
- Área ocupada.
- Ángulo de talud externo e interno del muro.
- Razón Arenas/Lamas.
- % de sólido en peso del relave total.
- % de humedad relave filtrado y/o espesado.
- Método de compactación del muro.
- Densidades de las arenas del muro.
- Granulometría de las arenas del muro.
- Granulometría del relave total.

3. Información Anexa.

- Detalles de los trabajos de mantención mensual y durante el periodo realizado en el depósito.
- Detalles de los trabajos de operación mensual y durante el periodo realizado en el depósito.
- Información de controles y estadísticas sobre monitoreos especiales realizados en el depósito durante el periodo si se dispone de los equipos.

No es obligación para las empresas mineras entregar datos sobre lo solicitado como Información Anexa.

1.5.4 DECRETO 50

Decreto del año 2015, que aprueba el reglamento del artículo 295, inciso 2º, del Código de Aguas, que establece las condiciones técnicas que deberán cumplirse en el proyecto, construcción y operación de las obras hidráulicas identificadas en el artículo 294 del Código de Aguas. Este último artículo hace referencia a las obras que requieren la aprobación del Director General de Aguas para su construcción. Estas obras son:

- a) Los embalses de capacidad superior a cincuenta mil metros cúbicos de material, o cuyo muro tenga más de 5 metros de altura.
- b) Los acueductos que conduzcan más de dos metros cúbicos por segundo.
- c) Los acueductos que conduzcan más de medio metro cúbico por segundo, que se proyecten próximos a zonas urbanas, y cuya distancia al extremo más cercano del límite urbano sea inferior a un kilómetro y la cota de fondo sea superior a 10 metros sobre la cota de dicho límite.
- d) Los sifones y canoas que crucen cauces naturales.

El artículo 295 del Código de Aguas indica que la Dirección General de Aguas debe otorgar la autorización de construcción una vez que se apruebe el proyecto definitivo, siempre que se haya comprobado que la obra no afectará la seguridad de terceros ni producirá la contaminación de las aguas. Para esto, un reglamento especial debe fijar las condiciones

técnicas que deberán cumplirse en el proyecto, construcción y operación de dichas obras. Este reglamento es el que se aprueba en el Decreto 50, cuyo objetivo es otorgar certeza y seguridad jurídica a todas las personas, respecto de los requisitos técnicos exigidos por la Dirección General de Aguas, en el proyecto, construcción y operación de las obras señaladas en el artículo 294 ya mencionado.

Es importante mencionar que los depósitos de relaves en pasta, filtrados y espesados con un 65% o más de concentración en peso de sólidos, quedan exentos de la aplicación de este reglamento.

El Título IV de este decreto trata sobre el diseño de las obras de los embalses de agua. El Párrafo II de este título, Art. 36 se refiere al diseño de embalses de relaves y de embalses industriales, en particular, trata de aquellos criterios que se aplican a embalses de relaves con capacidad superior a cincuenta mil metros cúbicos o cuyo muro tenga más de 5 metros de altura.

El diseño hidráulico de estas obras debe considerar los siguientes puntos:

- Proyecto de desvío: Para esto, debe determinarse un periodo de retorno de la crecida de diseño, el cual debe ser tal que el riesgo hidrológico no supere el 5%. Si se tiene un caso donde la desviación del cauce natural del agua sea permanente, la obra de desvío debe ser diseñada para la crecida máxima probable.
- Canales de contorno: El periodo de retorno mínimo a considerar en su diseño es de 50 años, pero serán verificados para un periodo de retorno de 100 años.
- Crecida de diseño para el evacuador de seguridad: Se debe implementar un vertedero de seguridad, el cual debe operar durante toda la vida útil del embalse. De acuerdo con la categoría del embalse, se tienen los siguientes periodos de retorno que se indican en la Tabla 1.7

| Categoría | Periodo de Retorno |
|-----------|-------------------------|
| A | 1.000 años |
| B | 10.000 años |
| C | Crecida máxima probable |

Tabla 1.7 Periodos de retorno para diseño

Fuente: Elaboración propia en base a (Lumina Copper Chile, 2021)

- Revancha mínima: Corresponde a la diferencia de niveles entre la carga recién definida y el coronamiento del muro. Para su cálculo, se deben considerar los siguientes factores:
 - 1) Efecto del viento sobre el embalse
 - 2) Altura de la ola causada por el viento, incluido el efecto de ascenso de la ola.
 - 3) Asentamiento por consolidación del muro y/o de su cimentación.
 - 4) Asentamiento dinámico causado por sismo.

- Control de filtraciones: Se deben tener en consideración, al menos las siguientes medidas:
 - 1) Se debe utilizar una geomembrana impermeable y otro material o solución equivalente, en el talud de aguas arriba, tanto en los muros de arena como en los de material de empréstito.
 - 2) El fondo de la cubeta debe ser impermeabilizado previo al llenado, con capas de material fino impermeable compactado, u otra solución que sea equivalente. No se permite la utilización de geomembranas. No considerar esta impermeabilización debe ser justificado mediante estudios y pruebas de campo del área de estudio.

1.5.5 EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL Y RESOLUCIONES DE APROBACIÓN

En Chile, algunos proyectos deben ser sometidos al Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), ya sea presentando una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) o una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). La última se presenta en caso de que el proyecto genere o presente alguno de los siguientes efectos:

- 1) Riesgo para la salud de la población, debido a la cantidad y calidad de efluentes, emisiones y residuos.
- 2) Efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluido el suelo, agua y aire.

- 3) Reasentamiento de comunidades humanas, o alteración significativa de los sistemas de vida y costumbres de los grupos humanos.
- 4) Localización en o próxima a poblaciones, recursos y áreas protegidas, sitios prioritarios para la conservación, humedales protegidos, glaciares, susceptibles de ser afectados, así como el valor ambiental del territorio en que se pretende emplazar.
- 5) Alteración significativa, en términos de magnitud o duración, del valor paisajístico o turístico de una zona.
- 6) Alteración de monumentos, sitios con valor antropológico, arqueológico, histórico y, en general, los pertenecientes al patrimonio cultural.

Según el Decreto 40, el cual aprueba el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, se debe someter a esta evaluación a aquellos proyectos que sean susceptibles a causar un impacto en el medio ambiente, en cualquiera de sus etapas. Dentro de estos proyectos, se encuentran los embalses o tranques. Además, de acuerdo con la Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, estos proyectos sólo podrán ejecutar o modificarse con una previa evaluación de impacto ambiental.

El Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) tiene a disposición en su página web, tanto las declaraciones como las evaluaciones de impacto ambiental de proyectos públicos. Se hizo una revisión de evaluaciones de impacto ambiental de proyectos relacionados con la depositación de relaves, con el objetivo de identificar los parámetros que se monitorean y cuáles son los instrumentos más utilizados.

1.5.6 GUÍA TÉCNICA DE OPERACIÓN Y CONTROL DE DEPOSITOS DE RELAVES

Uno de los temas importantes asociados a las faenas mineras corresponde, a todo aquello relacionado con las obras constructivas de disposición en la superficie de la tierra de los “Depósitos de Relaves”; cuyos residuos que contienen provienen de Plantas de Concentración de minerales por Flotación. Según (Ramírez, 2007) “esto se debe a que en la Industria Minera Chilena estos depósitos han ido adquiriendo mayor relevancia, debido principalmente a que las leyes de los minerales en los yacimientos en explotación han disminuido, lo que ha obligado a las empresas mineras, extraer grandes volúmenes de

minerales para lograr mantener los niveles de producción de finos, y se han incrementado así, la cantidad de desechos que deben ser dispuestos, ya sea como material estéril o en la forma de pulpas de relaves. Por lo tanto, se hace necesario tener muy presente los riesgos asociados a los pequeños, medianos y grandes depósitos de relaves, en cuanto a los ámbitos técnicos constructivos como los ambientales”.

Con la recopilación de antecedentes y la información recopilada para este estudio, Minera Caserones toma esta guía técnica de operación y control de depósitos de relaves de (Ramírez, 2007) para definir la forma constructiva de su embalse de relaves.

De esta guía se destaca en el punto 7.2:

- **Los embalses de relaves:** Este tipo de depósito de relaves consiste en construir un muro resistente hecho totalmente de material de empréstito, compactado e impermeabilizando el talud interior del muro y también parte o todo su coronamiento; los relaves se depositan completos en la cubeta sin necesidad de clasificación, pero también deben disponer, de un sistema de evacuación de las aguas claras de la laguna que se forma. Los embalses de relaves no se diferencian esencialmente de las presas de embalse de aguas, las que constituyen una técnica ampliamente desarrollada en todo el mundo. Es interesante destacar, no obstante, que las técnicas de diseño evolucionan con gran rapidez y cada día se descubren nuevos métodos. Tal vez, la diferencia fundamental entre un embalse destinado a la acumulación de agua y uno destinado a relaves es que mientras el embalse para agua se construye de una vez con su capacidad definitiva, el embalse para relaves se puede ejecutar por etapas a medida que se avanza con el depósito de los relaves, a fin de no anticipar inversiones y reducir a un mínimo su valor presente. La construcción por etapas obliga a que la zona impermeable de la presa se diseñe como una membrana inclinada cercana y en la dirección del talud de aguas arriba. Un perfil como éste, limita los grados de libertad en el diseño de las presas de tierra, cuando están destinadas a contener relaves (Ver Figura 1.3).

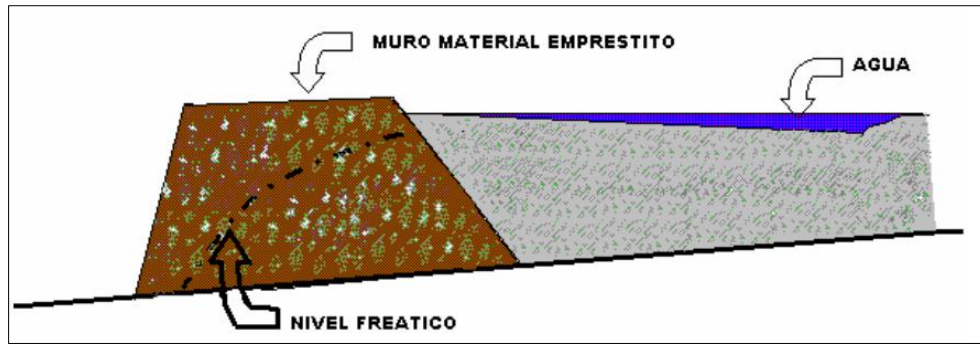


Figura 1.3 Muro construido con material de empréstito

Fuente: Guía Técnica de operación y control de depósitos de Relaves (Ramírez, 2007)

Del punto de vista sísmico, los Embalses de Relaves son más resistente que cualquiera de los métodos indicados para los Tranques de Relaves.

Importante destacar que la normativa vigente, obliga a todas las faenas mineras en considerar en sus etapas constructivas y de operación la impermeabilización de los Tranques o Embalses de Relaves, cumpliendo en resumen lo mencionado en los siguientes documentos normativos:

- En el Decreto Supremo 248, Art. 54 donde se mencionan las características del muro inicial se indica que se debe contar con impermeabilización de este.
- En el Decreto 50 que aprueba reglamento que se refiere el artículo 295 inciso 2º, del Código de Aguas, Párrafo II Art. 36 de este Decreto donde se menciona el control de Filtraciones para el caso de embalses de relaves menciona que se deberá usar una geomembrana impermeable u otro material o solución equivalente, en el talud de aguas arriba, tanto en los muros de arena como en los de material de empréstito.
- En la Guía Técnica de Operación y Control de Depósitos de Relaves, en el punto 7.2 donde se describen los Embalses de Relaves, se menciona que el talud interior del muro y también parte o todo su coronamiento debe estar impermeabilizado.

Por todo lo anterior, en el capítulo siguiente, se incluye la descripción de los materiales considerados para la impermeabilización del tranque de relaves en estudio.

CAPÍTULO 2 MATERIALES PARA LA
CONSTRUCCIÓN E IMPERMEABILIZACIÓN DEL
TRANQUE DE RELAVES LA BREA

2.1 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL UTILIZADO PARA LA CONSTRUCCIÓN ETAPA 7 Y 8

2.1.1 CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL DE RELLENO

El material utilizado como empréstito para la construcción del muro es extraído desde una serie de canteras de enrocado adyacentes al depósito, cuyas características geológicas son:

Canteras Fase N°4, N°5 y N°6: Se ubican en la ladera sur de la quebrada La Brea.

Al oriente de la Zona Fluvial (ZF) se exhibe el Basamento Paleozoico (Pzsg), sobre este se disponen depósitos de cuaternarios coluviales (Qc) de extensión menor. El límite oriente de la cantera se ubica sobre otra zona de falla de orientación Noreste, la que corta el basamento paleozoico y deja un remanente de la unidad de areniscas jurásicas.

Con respecto a las propiedades geotécnicas del macizo rocoso a excavar, fueron obtenidas de campañas y estudios realizados desde la etapa de diseño a la de operación. En el caso de la resistencia a compresión simple de las unidades litológicas presentes en el sector del depósito fue estimada en base a ensayos de laboratorio efectuados durante la etapa de diseño.

Para cuantificar el volumen de materiales a excavar en las canteras y a depositar en el muro, se ha medido una relación entre ambos volúmenes de 1,10 a 1,19 (promedio de 1,14), obtenida a partir de información histórica de densidades en muro y del macizo rocoso en cantera, este último con una densidad variables in situ de 2,3 t/m³ a 2,5 t/m³.

El movimiento de materiales necesario en las canteras, para satisfacer el plan de llenado del muro, ha sido realizado en función de la necesidad de crecimiento que éste tiene en el tiempo, con el objeto de contener las lamas que serán depositadas en forma continua en el depósito.

A continuación, se presenta la Tabla 2.1 de cubicaciones de materiales.

| Material | Unidad | Ubicación | Volumen (m ³) | |
|-------------------------|-------------------|-----------|---------------------------|------------|
| | | | Etapa 7 | Etapa 8 |
| Relleno material tipo 1 | (m ³) | Muro | 3.527.964 | 10.355.650 |
| | | Terraza | 0 | 0 |
| | | Sub Total | 3.527.964 | 10.355.650 |
| Relleno material tipo 2 | (m ³) | Muro | 105.690 | 108.747 |
| | | Terraza | 200.043 | 144.707 |

| Material | Unidad | Ubicación | Volumen (m ³) | |
|------------|--------|-----------|---------------------------|-------------------|
| | | | Etapa 7 | Etapa 8 |
| Compactado | | Sub Total | 305.733 | 253.452 |
| Total | | | 3.833.697 | 10.609.102 |

Tabla 2.1 Cubicaciones de materiales de rellenos para Etapas 7 y 8

Fuente: Elaboración propia en base a (Lumina Copper Chile, 2021)

2.1.2 CLASIFICACION DEL MATERIAL DE RELLENO

Para efectos del relleno de muro los tipos de empréstito utilizados en este proyecto han sido divididos en tres grupos por su composición granulométrica y objetivo a desarrollar en el muro, los cuales se describen a continuación:

- Material Tipo 1: material de enrocado integral de las canteras de explotación, se utiliza para la construcción del muro del depósito proyectado. Tamaño máximo de la partícula 1 m (39”).
- Material Tipo 2: material de enrocado con tamaño máximo 5”, se utiliza para la construcción del muro de transición en la cara aguas arriba y en el coronamiento de la última etapa.
- Material Tipo 3: corresponde a la fracción más fina de los materiales provenientes de la explotación de las canteras, se utilizará para rellenar las zanjas de anclaje de la geomembrana en el muro. Tamaño máximo de la partícula 7,6 cm (3”).

2.1.3 MODO CONSTRUCTIVO

El material tipo 1 se colocará en capas, cuyo espesor y compactación se ha indicado anteriormente. Se deberá tomar en cuenta lo siguiente:

- El espesor de capa se determinará mediante las canchas de prueba.
- Una vez definido el espesor de capa se determinará el llenado diario a considerar para lograr el rendimiento diario requerido, generando un programa constructivo de distribución, vaciado y esparcido del material.
- Previo a la generación de los rellenos con material Tipo 1 en el talud de aguas abajo de una etapa anterior, mediante Bulldozer se deberá retirar una franja de la cara aguas abajo del muro, generando así un escalonamiento, de este modo se eliminarán los materiales sueltos de la cara expuesta (aguas abajo) que no fueron compactados como

parte de la generación del relleno en la etapa anterior (Figura 2.1). El ancho de material a retirar equivale a la mitad del dozer del Bulldozer.

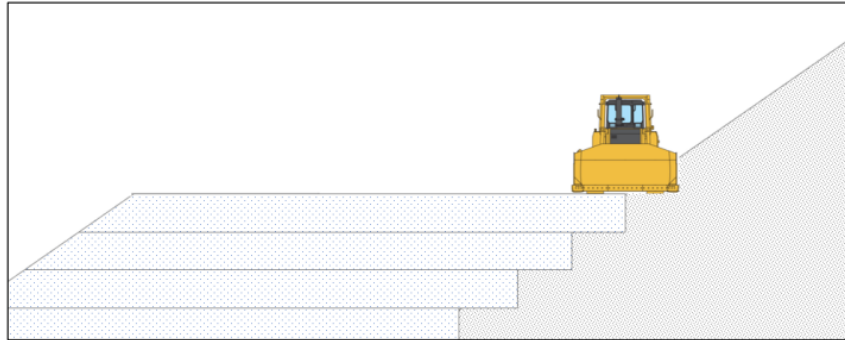


Figura 2.1 Escalonamiento aguas abajo del muro previo colocación del material Tipo 1
Fuente: Elaboración propia en base a (Lumina Copper Chile, 2021)

- Antes de comenzar a rellenar con enrocado se debe construir, aguas abajo del muro, un camellón de seguridad de una altura máxima de 1,9 m, una base de 4,8 m y un coronamiento de 1 m. En el borde aguas arriba, el camellón de seguridad será reemplazado con los montículos que se formarán con el vaciado de los camiones para el relleno del muro de transición.
- El camión de transporte del material realizará la tarea de distribución y vaciado en las áreas de llenado diario. Descargando tipo muelle, generando montículos de material que luego serán esparcidos y nivelados mediante Bulldozer de acuerdo con la altura de capa definida para este efecto.

2.2 MATERIALES PARA LA IMPERMEABILIZACIÓN DE LOS TRANQUES DE RELAVES

Una de las herramientas más utilizadas en la industria minera para proteger el suelo y el agua de la contaminación es la geomembrana.

Las geomembranas son láminas de muy baja permeabilidad que se emplean como barreras hidráulicas. Se fabrican en diversos espesores y se empacan como rollos que se unen entre si mediante técnicas de termofusión, extrusión de soldadura y soplado mediante aplicación de adhesivos, solventes o mediante vulcanizado, según su naturaleza química.

Constituyen el grupo más significativo dentro de los materiales geo sintéticos, que son productos fabricados a partir de polímeros derivados del petróleo y se emplean para mejorar y hacer posible la ejecución de ciertos proyectos de construcción, ingeniería civil y geotécnica.

2.2.1 TIPOS DE GEOMEMBRANAS

Existen geomembranas de polietileno (HDPE – VLDPE – LLDPE); cloruro de polivinilo (PVC, f-PVC); polipropileno flexible (PP, fPP, fPP-R); geomembranas clorosulfonadas (CSPE-R) y de terpolímero de etileno propileno dieno (EPDM, EPDM-R).

Dependiendo del material con que se fabriquen, existen en el mercado geomembranas con diferentes características que afectan a los procedimientos de instalación, vida útil y rendimiento.

- **Geomembranas de PVC:** Son geomembranas de bajo costo que en general son muy resistentes a la intemperie, ligeras y reciclables. La principal ventaja de su uso es que, según las condiciones del lugar donde se instalarán; se pueden emplear fórmulas especiales para que cumplan con los parámetros requeridos. Además, si en su instalación se emplea el sellado por alta frecuencia, pueden crearse paneles de grandes dimensiones.
- **Geomembranas de Polipropileno flexible - FPP:** Son muy resistentes a la intemperie y a la exposición a los rayos UV; tienen una excelente estabilidad dimensional y permiten un gran control de calidad en su instalación. Son las geomembranas con menor densidad por lo que en paneles se puede desplegar más fácilmente; además su tasa de transmisión de agua es la más baja comparándola con otras geomembranas, por lo que es una de las mejores opciones disponibles para impermeabilización.
- **Geomembranas de Terpolímero de Etileno Propileno Dieno - EPDM, EPDM-R:** Son láminas de caucho vulcanizado que incluyen en su fórmula agentes de vulcanización y aceites, entre otros materiales. Su estructura molecular las hace elásticas y estables químicamente, de manera que soportan muy bien la deformación en comparación con otros tipos de geomembranas; además se instalan fácilmente gracias a que las juntas de los paneles tienen bandas autoadhesivas.

- **Geomembranas de Polietileno Clorosulfonadas - CSPE-R:** Estas geomembranas son insensibles a los ataques degradantes, a los rayos UV y al oxígeno; son estables dimensionalmente, resistentes a la intemperie y a una amplia gama de químicos. Una particularidad de este tipo de membranas es que conservan su flexibilidad incluso en condiciones de congelación.
- **Geomembrana de Polietileno -PE:** Las geomembranas de polietileno son materiales laminares que se obtienen por un proceso continuo de extrusión / soplado. Se caracterizan por su gran resistencia a la intemperie, rayos UV y agentes químicos, por lo que resultan una alternativa eficiente y de bajo costo para impermeabilizar obras civiles y mineras. Se fabrican en diferentes tipos: Polietileno de alta densidad (HDPE), Polietileno de baja densidad (LLDPE), Polietileno texturado y membranas especiales.

2.2.2 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS EN LOS MATERIALES DE IMPERMEABILIZACIÓN

- **Impermeabilidad:** Corresponde a la capacidad de un material para que un fluido atraviese a través de él sin alterar su estructura interna. De esta manera, mientras menor sea la cantidad de fluido que deja pasar, más impermeable será.
- **Resistencia a los rayos UV:** Es la capacidad de un plástico en este caso, a ser sometido a continuas horas de exposición a los rayos UV sin sufrir un cambio en las propiedades técnicas del material.
- **Flexibilidad:** La flexibilidad consiste en la facilidad para cambiar de forma o doblarse sin romperse. Por su maleabilidad pueden adaptarse a los cambios y a la movilidad sin sufrir agrietamiento.
- **Resistencia al cambio de temperatura:** La resistencia térmica de un material representa la capacidad del material de oponerse al flujo de temperatura. En el caso de materiales

homogéneos es la razón entre el espesor y la conductividad térmica del material; en materiales no homogéneos la resistencia es el inverso de la conductancia térmica.

- **Resistencia a los químicos:** Se refiere a la capacidad de un material para resistir los procesos de deterioro causados por la reacción entre su entorno y la superficie. Si un material es sometido a una gran exigencia química y su resistencia es insuficiente, podría causar corrosión, acelerando la rotura del material.
- **Resistencia a la abrasión:** la habilidad de la superficie a resistir el desgaste realizado por el alto tráfico peatonal y de equipo mecánico. Con el tiempo, todas las plantas presentan cierto desgaste y raspaduras en la superficie.
- **Densidad:** La densidad es una magnitud escalar que permite medir la cantidad de masa que hay en determinado volumen de una sustancia.

**CAPÍTULO 3 PROCESO TÉCNICO – ECONÓMICO DE
LA IMPERMEABILIZACIÓN DEL TRANQUE LA BREA**

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA OBRA

El embalse de lamas se ubica en la quebrada denominada La Brea y está a una distancia aproximada de 16 km de la mina Caserones (en línea recta). Las coordenadas geográficas del proyecto son aproximadamente 28°10' S y 69°32' W, con una elevación del orden de 2.760 m.s.n.m.

La Figura 3.1 presenta la ubicación general del proyecto muro La Brea.



Figura 3.1. Ubicación general proyecto muro La Brea.
Fuente: Elaboración propia en base a (Lumina Copper Chile, 2021)

El muro del depósito de lamas La Brea es una presa homogénea de material de empréstito con un talud aguas arriba de H:V=1,8:1 hasta la elevación 2.875 m.s.n.m. Posteriormente hasta la etapa final (cota 2.972 m.s.n.m.), el talud local aguas arriba es de H:V=1,5:1 con bermas de 1 m entre bancos. En cuanto al talud aguas abajo, éste es H:V=1,8:1 hasta la cota 2.888 m.s.n.m., luego varía a H:V=1,9:1 hasta la etapa final. El coronamiento para cada etapa de crecimiento es de 50 m, exceptuando la última etapa, la que considerada de ancho de 30 m. Para evitar la infiltración de agua desde la cubeta al interior del cuerpo del muro, toda la cara aguas arriba se ha diseñado con un sistema de impermeabilización en base a geo sintéticos.

El depósito considera la disposición de relaves espesados, con un Cp entre 60 y 65%, los que se encuentran confinados por un muro construido mediante el método de aguas abajo y con material de empréstito extraído desde canteras cercanas. Tal como se mencionó previamente, la proyección considera una capacidad de 478 Mt, con una superficie aproximada de 422 hectáreas.

El muro del depósito de lamas La Brea está constituido principalmente por material de enrocado (empréstito), obtenido desde canteras ubicadas en zonas adyacentes al muro. La construcción del muro se realizará en 14 etapas, las que se presentan en la Tabla 3.1. El muro inicial tiene una elevación de coronamiento de 2.805 m.s.n.m., y se peraltará hasta alcanzar la cota del coronamiento 2.972 m.s.n.m., lo que corresponde a una altura de 288 m (medido desde el coronamiento hasta el pie del talud aguas abajo). Este crecimiento corresponde a la condición final proyectada la cual se alcanzaría al año 29 de operación.

| Etapa de Crecimiento | Cota Coronamiento (msnm) |
|----------------------|--------------------------|
| 1 | 2.805 |
| 2 | 2.819 |
| 3 | 2.833 |
| 4 | 2.847 |
| 5 | 2.861 |
| 6 | 2.875 |
| 7 | 2.888 |
| 8 | 2.901 |
| 9 | 2.914 |
| 10 | 2.917 |
| 11 | 2.940 |
| 12 | 2.953 |
| 13 | 2.966 |
| 14 | 2.972 |

Tabla 3.1. Etapas de crecimiento del muro

Fuente: Elaboración propia en base a (Lumina Copper Chile, 2021)

La Figura 3.2 representa la Etapa 14 terminada para el año 2028 con cota de coronamiento de 2.972 m.s.n.m.

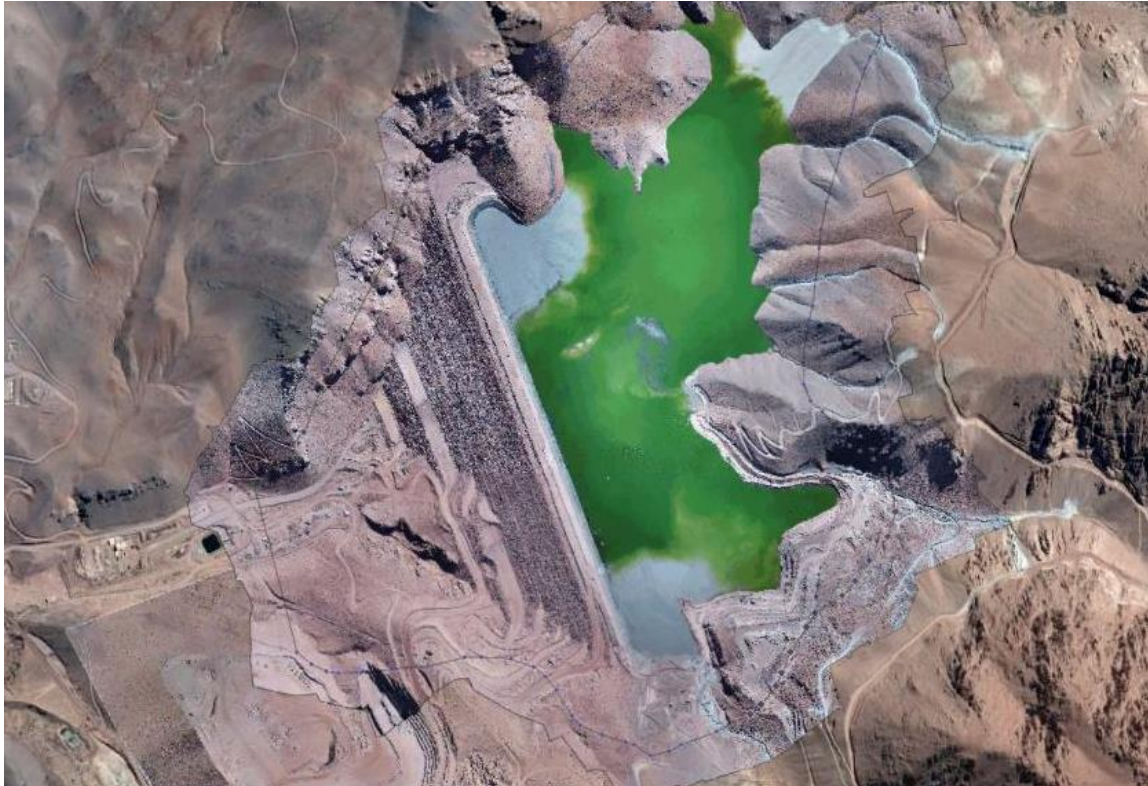


Figura 3.2. Ortofotografía depósito de lamas La Brea - año 2028
Fuente: Elaboración propia en base a (Lumina Copper Chile, 2021)

3.2 PROCESO TÉCNICO PARA LA IMPERMEABILIZACIÓN

3.2.1 FASE DE IMPERMEABILIZACIÓN

La impermeabilización de un depósito o embalse de relaves se refiere al proceso de hacer que el depósito o embalse sea resistente al paso del agua o líquidos evitando que los materiales tóxicos o contaminantes presentes en los relaves se filtren hacia el suelo o a las fuentes de agua subterránea. Para lograr este fin se utilizan diversos materiales y técnicas como geomembranas, arcillas bentoníticas, y sistemas de drenajes para prevenir la filtración y el riesgo de contaminación ambiental.

La actividad de impermeabilización está a cargo de la empresa Membrantec S.A., que se caracteriza por prestar servicios e integración de soluciones, basada en montajes de procesos industriales e implementación de tecnologías en geosintéticos y movimiento de tierra para la preparación de superficies.

3.2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES PARA LA IMPERMEABILIZACIÓN PARA EL TRANQUE RELAVES LA BREA

- **Geotextil:** El geotextil que será utilizado para proteger la geomembrana y que forma parte del sistema de impermeabilización del muro deberá cumplir con las propiedades mínimas que se indican en la Tabla 3.2 y deberá adecuarse a lo especificado en el documento “Suministro e Instalaciones Geosintéticos”.

| Propiedad | Método de Ensayo | Unidad | Valores específicos |
|--|------------------|------------------|---------------------|
| Propiedades Físicas | | | |
| Peso por unidad de superficie | ASTM D5261 | g/m ³ | 200 |
| Propiedades Resistencia a la Tracción | | | |
| Resistencia a la tracción | ASTM D4632 | N | 1.520 |
| Elongación a la rotura | ASTM D4632 | % | 45 |
| Resistencia al punzonamiento | ASTM D4833 | N | 600 |
| Propiedades de Flujo | | | |
| Permeabilidad | ASTM D4491 | m/s | 2,20E-02 |

Tabla 3.2. Propiedades mínimas del geotextil

Fuente: Elaboración propia en base a (Lumina Copper Chile, 2021)

- **Polylock:** El perfil extrusado de polietileno de alta densidad (HDPE) con forma de E o Polylock corresponde a una canaleta, elaborada con las mismas propiedades resientes de la resina (HDPE). Este elemento se utiliza como interfaz entre las estructuras de hormigón y la geomembrana. El polylock queda embebido mediante los dedos o pestañas de anclaje, provistas de alta resistencia mecánica.

Las características principales que deben considerarse para este material se describen en la tabla 3.3

| Características | | Valor |
|---------------------------------|---------------------------|-------|
| Resistencia a la tracción (MPa) | | 28 |
| Dimensiones | Largo (m) | 3 |
| | Ancho (m) | 15 |
| | Long. de dedos de anclaje | 2,5 |

Tabla 3.3. Características del Polylock

Fuente: Elaboración propia en base a (Lumina Copper Chile, 2021)

- **Geomembrana:** La geomembrana que será utilizada para impermeabilización deberá cumplir con las propiedades mínimas que se indican en la Tabla 3.4 y deberá adecuarse a lo especificado en las bases técnicas del contrato “Suministro e Instalaciones Geosintéticos”.

| Propiedad | Método de Ensayo | Valores específicos espesor 1,50 mm | Frecuencia de ensayo (mínima) |
|--|------------------|--|-------------------------------|
| Espesor (promedio mínimo) | D5199 | Nominal -10% | Por rollo |
| Densidad g/cc | D1505/D792 | 0,94 | 90.000 kg |
| Propiedades de tracción (promedio min.) | D6693 Tipo IV | 40 N/m 800% | 9.000 kg |
| - Resistencia a la rotura | | | |
| - Elongación a la rotura | | | |
| Resistencia al rompimiento (promedio min.) | D1004 | 150 N | 20.000 kg |
| Resistencia al punzamiento (promedio mín.) | D4833 | 370 N | 20.000 kg |
| Resistencia a la deformación de rotura axi- simétrica (mín.) | D5617 | 30% | Por cada formulación |
| Contenido de negro humo (%) | D4218 | 2,0 – 3,0% | 20.000 kg |
| Dispersión de negro humo (%) | D5596 | 2,0 – 3,0% | 20.000 kg |
| Tiempo de inducción del oxidante (OIT) (prom. min.) | | 100 | 90.000 kg |
| a) OIT estándar | D3895 | 400 | |
| ó | | | |
| b) OIT a presión alta | D5585 | | |
| Envejecimiento en horno a 85°C | | | Por cada formulación |
| a) OIT estándar (prom. mín.) - % retenido después de 90 días | D5721 | 35% | |
| ó | D3895 | | |
| b) OIT a presión alta (prom. mín.) - % retenido después de 90 días | D5885 | 60% | |
| Resistencia a los Rayos UV | | | Por cada formulación |
| a) OIT estándar (prom. mín.) | D7238 | N.R. | |
| ó | D3895 | | |
| b) OIT a presión alta (prom. min) - % retenido después de 1600 hr | D5885 | 35% | |

Tabla 3.4. Características de la geomembrana

Fuente: Elaboración propia en base a (Lumina Copper Chile, 2021)

- **Hormigón con Fibra:** La clase de hormigón con fibra y aditivos cumplirá con un grado estructural mínimo H30 según NCh 170 correspondiente a una resistencia a 28 días de probetas cúbicas de $f_c=300 \text{ kg/cm}^2$. El nivel de confianza aceptado será del 90%.

La granulometría total de la mezcla de áridos deberá estar comprendida dentro de la siguiente banda (Tabla 3.5) y deberá cumplir con la norma NCh 163.Of79: Áridos para morteros y hormigones.

| Tamaño | Porcentaje que pasa (%) |
|--------|-------------------------|
| 38 | 100 |
| 20 | 55 - 65 |
| 10 | 43 - 53 |
| 5 | 34 - 42 |
| 2,5 | 25 - 32 |
| 1,25 | 15 - 22 |
| 0,63 | 8 - 16 |
| 0,32 | 5 - 10 |
| 0,15 | 0 - 5 |

Tabla 3.5. Granulometrías de aceptación hormigón

Fuente: Elaboración propia en base a (Lumina Copper Chile, 2021)

- **Shotcrete (Hormigón Proyectado):** El Shotcrete o Hormigón Proyectado con aditivos de aceleración de fraguado y fibra (según acápite 0) tendrá una permeabilidad máxima de 20 mm de penetración en promedio y 30 mm en probeta individual, según el ensayo establecido en la norma NCh 2262. El contenido de partículas inferiores a 0,075 mm (malla #200 ASTM), incluyendo el cemento, las adiciones y las aportadas por los áridos, no deberá ser inferior al valor definido por la curva granulométrica en Tabla 3.6

| Malla | Porcentaje que pasa (%) |
|-------|-------------------------|
| 3/8" | 100 - 100 |
| N°4 | 81 - 100 |
| N°8 | 67 - 89 |
| N°16 | 54 - 80 |
| N°30 | 43 - 63 |
| N°50 | 34 - 49 |
| N°100 | 26 - 36 |
| N°200 | 19 - 25 |

Tabla 3.6. Granulometría de aceptación

Fuente: Elaboración propia en base a (Lumina Copper Chile, 2021)

El agua que se utilice en la confección de los hormigones será limpia, exenta de sustancias perjudiciales, y deberá cumplir con las estipulaciones de la norma chilena NCh 1498 "Hormigón - Agua de amasado - Requisitos". Se deberá poner especial cuidado en el contenido máximo de sales en el agua de amasado antes de su uso en la mezcla.

La dosificación de acelerantes de fraguado deberá ser estrictamente necesaria para garantizar la evolución de resistencia a temprana edad y la resistencia final del hormigón proyectado. La determinación de esta dosificación resultará de ensayos de laboratorio y de ensayos posteriores de aptitud.

- **Fibras de Polipropileno:** Se emplearán fibras sintéticas para el control de la retracción del hormigón y para mejorar la impermeabilidad de este. No se aceptará el reemplazo de mallas electrosoldadas por fibras, ni la proyección de hormigón con fibras a través de mallas electrosoldadas.

Se deberán seguir las instrucciones del proveedor de las fibras para su mantención, almacenaje, mezclado y una mejor aplicación. Las fibras de polipropileno deberán estar fabricadas con fibras de resistencia mínima a tracción de 550 MPa, del tipo Shogun de Barchip, Master Fiber Psmac-Matrix o equivalente técnico, que cumplan con las características indicadas en la norma DIN-14889-2, con una dosificación que garantice una absorción de energía de al menos 800 Joules a los 28 días, según ensayo EFNARC en placa de 60x60x10 cm.

3.3 METODOLOGIA PARA LA IMPERMEABILIZACION

El proyecto considera el uso de geosintéticos para impermeabilizar el talud aguas arriba del muro y el estribo derecho del depósito. Los procedimientos que deberán adaptarse para la materialización de las obras se describen a continuación:

- **Talud Aguas Arriba.**

Junto con el coronamiento de cada etapa, sobre el talud aguas arriba del muro se deberá instalar una geomembrana de LLDPE y un geotextil protector. En primera instancia se instalará el geotextil, usando rollos de 3,8 m de ancho por 700 m de largo, con una densidad de 200 gr/m². La instalación considerará un traslape de 30 cm, uniendo cada paño según lo indicado en el documento “Suministro e Instalación Geosintéticos”.

Para la instalación del geotextil, se anclará mediante sacos de arena la parte superior de los paños (3 m pasados del cordón de seguridad). Luego, se cubrirá el área inclinada del muro hasta la zona de unión con el paño precedente al pie del talud.

Una vez instalado el geotextil se instalará la geomembrana LLDPE, cubriendo la misma área y anclándola en la parte superior con sacos. Luego, se distribuirá hacia el pie del talud con apoyo de mano de obra debidamente asegurada con cuerdas de vida afianzadas en el coronamiento.

Paralelamente se irán uniendo las franjas por termofusión con máquinas portátiles livianas. Durante los trabajos, se deberá asegurar la membrana para evitar que corrientes de viento la corten. Los geosintéticos serán anclados mediante zanjas al borde superior del talud, considerando la geometría que se indica en la Figura 3.3. Esta zanja será construida peraltando el borde del talud 1 m con el mismo relleno de material tipo 2, extendiendo luego la geomembrana hacia el interior del muro y rellenando sobre la geomembrana.

El anclaje se rellenará y compactará con el “material seleccionado relleno zanja”, colocando el material de relleno en espesores sueltos de 0,3 m, para luego compactarlo empleando equipamiento de un tamaño adecuado (vibropisonadores). Se tendrá cuidado que el relleno se realice sin provocar daños a la geomembrana. En ningún momento el equipamiento de construcción entrará en contacto con la geomembrana. Si ocurrieren

daños, deberán ser reparados por el Contratista, cubriendo la totalidad del costo asociado, antes del término de las actividades de relleno de los anclajes.

La unión de los geosintéticos con la etapa constructiva precedente será realizada según lo indicado en la Figura 3.3, efectuando unión por extrusión entre los paños.

Se debe destacar que, las etapas superiores no deberán distanciarse por más de 40 m por sobre la superficie del muro.

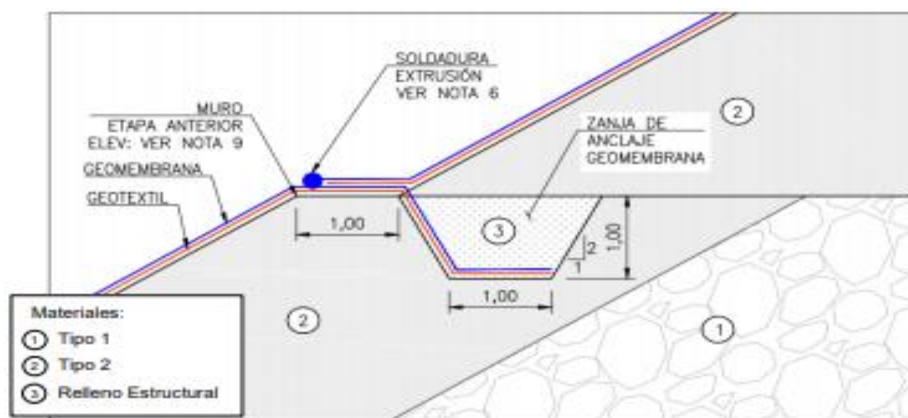


Figura 3.3. Geometría anclaje geomembrana y geotextil

Fuente: Elaboración propia en base a (Lumina Copper Chile, 2021)

- **Estribos.**

Los rellenos construidos en el estribo norte deberán ser impermeabilizados mediante geomembrana LLDPE en toda su extensión. Al igual que para el talud aguas arriba del muro, de forma previa a la disposición de la geomembrana en terreno, se deberá instalar un geotextil protector para evitar que el material de empréstito la dañe.

Para la instalación del geotextil, se anclará mediante sacos de arena la parte superior de los paños (3 m pasados del cordón de seguridad). Luego, se cubrirá el área inclinada del muro hasta la zona de unión con el paño precedente al pie del talud.

Una vez instalado el geotextil se instalará la geomembrana LLDPE, cubriendo la misma área y anclándola en la parte superior con sacos. Luego, se distribuirá hacia el pie del talud con apoyo de mano de obra debidamente asegurada con cuerdas de vida afianzadas en la parte más alta del talud. Paralelamente se irán uniendo las franjas por termofusión con máquinas portátiles livianas.

Durante los trabajos, se deberá asegurar la membrana para evitar que corrientes de viento la corten.

La impermeabilización del estribo norte contempla distintos detalles específicos para anclar la geomembrana:

- **Anclaje con Polylock:** Este anclaje se ejecutará en las zonas de cierre con cotas variables entre el estribo del muro y los afloramientos rocosos (Figura 3.4). Está conformado por una zanja de 0,5 m de profundidad excavada en roca para permitir la colocación de una del Polylock embebido en el hormigón. El hormigón cumplirá los requerimientos mínimos estipulados en el acápite 0. El Polylock será instalado en el encofrado previo al hormigonado de la zanja. La geomembrana será unida al Polylock por una soldadura de extrusión. La preparación del sello de excavación se ejecutará según Ref. 1, el cual además considera una limpieza de la superficie a hormigonar y la aplicación de un puente de adherencia con la roca (SIKADUR 32 o equivalente).

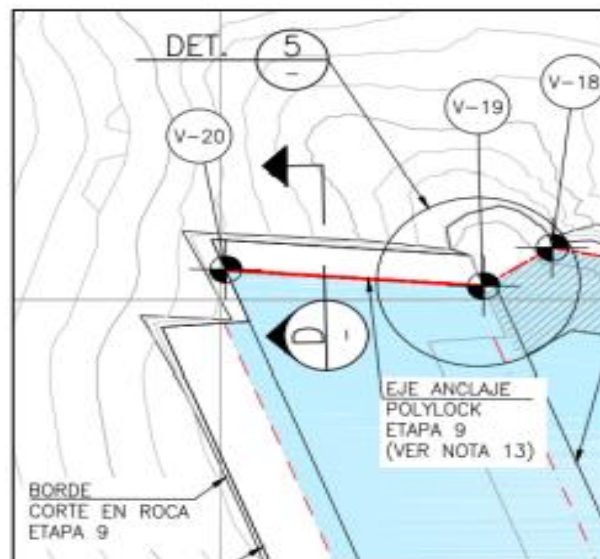


Figura 3.4. Zona de anclaje con afloramiento rocoso
Fuente: Elaboración propia en base a (Lumina Copper Chile, 2021)

estribo Sur, la geomembrana deberá adentrarse 30 m hacia la ladera, con el objetivo de anclarla al terreno natural.

De este modo, la geomembrana será anclada a través de una zanja al suelo, siguiendo el mismo procedimiento que para la ladera norte (ver Figura 3.6). El anclaje se rellenará y compactará con el “material seleccionado relleno zanja”, colocando el material de relleno en espesores sueltos de 0,3 m, para luego compactarlo empleando equipamiento de un tamaño adecuado (vibropisonadores).

Se tendrá cuidado que el relleno se realice sin provocar daños a la geomembrana. En ningún momento el equipamiento de construcción entrará en contacto con la geomembrana. Si ocurrieren daños, deberán ser reparados por el Contratista, cubriendo la totalidad del costo asociado, antes del término de las actividades de relleno de los anclajes.

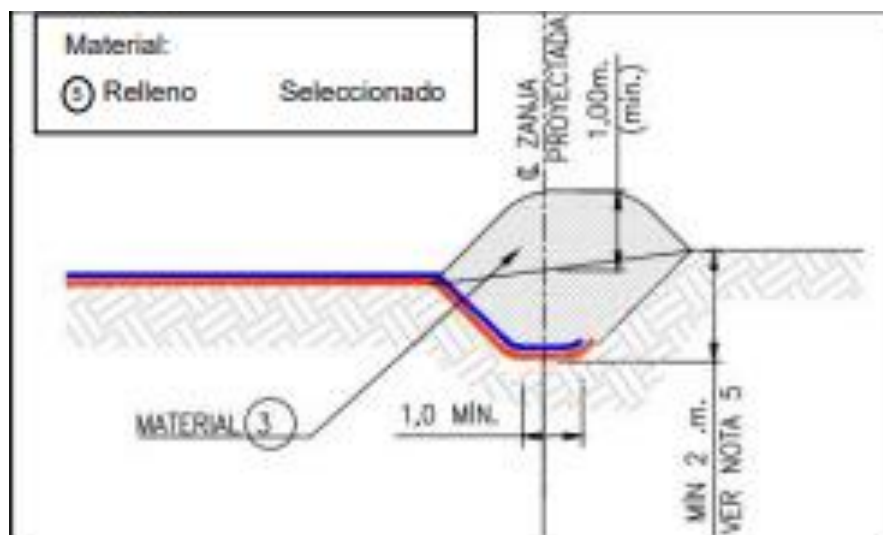


Figura 3.6. Zanja anclaje suelo

Fuente: Elaboración propia en base a (Lumina Copper Chile, 2021)

3.4 CUBICACIONES PARA LA IMPERMEABILIZACION

- **Geosintéticos para la impermeabilización.**

La Tabla 3.7 presenta las cubicaciones requeridas para las Etapas 7 y 8 de la construcción del muro embalse de Lamas la Brea.

| Material | Unidad | Ubicación | Cantidad | |
|--|-------------------|-----------|----------|---------|
| | | | Etapa 7 | Etapa 8 |
| Geomembrana lisa LLDPE e=1,5 mm | (m ²) | Muro | 44.455 | 45.685 |
| | | Estribos | 21.470 | 23.805 |
| | | Sub Total | 65.925 | 69.490 |
| Geotextil no tejido > 200 gr/m ² | (m ²) | Muro | 47.479 | 48.793 |
| | | Estribos | 21.470 | 23.805 |
| | | Sub Total | 68.949 | 72.598 |
| Inserto HDPE Tipo Polylock | (m) | Estribos | 0 | 0 |

Tabla 3.7. Cubicaciones de Geosintéticos

Fuente: Elaboración propia en base a (Lumina Copper Chile, 2021)

En la siguiente tabla 3.8 se muestran algunos materiales requeridos destinados para la impermeabilización del estribo norte.

| Materiales | Unidad | Ubicación | Cantidad | |
|------------------------|-------------------|---------------|----------|---------|
| | | | Etapa 7 | Etapa 8 |
| Relleno de Hormigón | (m ³) | Estribo Norte | 0 | 0 |
| Relleno de Shotcrete | (m ³) | Estribo Norte | 0 | 0 |
| Emplantillado (e=0,05) | (m ³) | Estribo Norte | 0 | 0 |

Tabla 3.8. Cubicaciones de materiales para el estribo norte

Fuente: Elaboración propia en base a (Lumina Copper Chile, 2021)

La tabla 3.9 presenta las cubicaciones de los materiales de impermeabilización correspondientes para las etapas 7 y 8 para la construcción del embalse La Brea.

| ITEM | ACTIVIDAD | UNIDAD | CANTIDAD |
|---------|--|-------------------|----------|
| 0 | IMPERMEABILIZACIÓN MURO | | |
| 0.1 | Muro | | |
| 0.1.1 | Geomembrana lisa LLDPE e=1,5 mm | (m ²) | 140.481 |
| 0.1.2 | Geotextil no tejido > 200 gr/m ² | (m ²) | 146.613 |
| 1 | CONSTRUCCIÓN DE TERRAZAS E IMPERMABILIZACIÓN ESTRIBO DERECHO | | |
| 1.1 | Disposición geomembrana estribo derecho | | |
| 1.1.2 | Etapa 7 | | |
| 1.1.2.1 | Geomembrana lisa LLDPE e=1,5 mm | (m ²) | 21.767 |
| 1.1.2.2 | Geotextil no tejido > 200 gr/m ² | (m ²) | 21.767 |
| 1.1.3 | Etapa 8 | | |
| 1.1.3.1 | Geomembrana lisa LLDPE e=1,5 mm | (m ²) | 24.332 |
| 1.1.3.2 | Geotextil no tejido > 200 gr/m ² | (m ²) | 24.332 |
| 2 | CONSTRUCCIÓN DE TERRAZAS E IMPERMABILIZACIÓN ESTRIBO IZQUIERDO | | |
| 2.1 | Disposición geomembrana estribo izquierdo | | |
| 2.1.2 | Etapa 7 | | |
| 2.1.2.1 | Geomembrana lisa LLDPE e=1,5 mm | (m ²) | 1.420 |
| 2.1.2.2 | Geotextil no tejido > 200 gr/ m ² | (m ²) | 1.420 |
| 2.1.3 | Etapa 8 | | |
| 2.1.3.1 | Geomembrana lisa LLDPE e=1,5 mm | (m ²) | 1.377 |
| 2.1.3.2 | Geotextil no tejido > 200 gr/ m ² | (m ²) | 1.377 |
| 3 | TUBERIA DE DESTRIBUCCIÓN DE LAMAS CORONAMIENTO | | |
| 3.1 | Reubicación tuberías | | |
| 3.1.1 | Etapa 7 | | |
| 3.1.1.1 | Traslado de tubería en coronamiento | (ml) | 2.006 |
| 3.1.2 | Etapa 8 | | |
| 3.1.2.1 | Traslado de tubería en coronamiento | (ml) | 2.055 |

Tabla 3.9. Cubicaciones de materiales para la fase de impermeabilización
Fuente: Elaboración propia en base a (Lumina Copper Chile, 2021)

3.5 COSTOS ASOCIADOS A LA ETAPA 7 Y 8 DE LA CONSTRUCCIÓN E IMPERMEABILIZACIÓN DEL MURO DE RELAVES LA BREA

Para lograr obtener la estimación de los costos, para las etapas 7 y 8 de la construcción e impermeabilización del muro de relaves de la Brea, se tomarán las tablas de cubicación mencionadas en el capítulo 3. Estos costos serán clasificados en dos grupos; el primero de ellos referidos al movimiento de tierra (necesario para el crecimiento de dicho muro), y el segundo grupo referido a la etapa de impermeabilización.

La estimación de los costos del proyecto estará asociados a pesos (moneda nacional) y en dólares (US\$) a un valor promedio entre los años 2020-2021, cursados y entregados para este trabajo por la Empresa contratista Ingeniería Civil Vicente S.A.

3.5.1 COSTOS ASOCIADOS A LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

A continuación, se presentarán los costos unitarios correspondientes a la construcción del muro Embalse de Lamas la Brea para las etapas 7 y 8 para la construcción “movimiento de tierra” e “impermeabilización”.

Para este estudio es necesario conocer en detalle cada ítem asociado al contrato adjudicado por la empresa Ingeniería Civil Vicente S.A., y su respectivo costo unitario asociado, información que permitirá calcular la inversión de la Minera Caserones que debe realizar para llevar a cabo la continuidad de la operación del proceso de la planta. Esta valorización económica en moneda nacional y estimada en dólares (US\$).

A continuación, se presenta las tablas 3.10 parte 1 y 3.11 parte 2 que presentan los resultados de los Estado de Pago (EDP) de la empresa contratista Ingeniería Civil Vicente S.A., (ICV) (facilitados para este trabajo) correspondiente al movimiento de tierra para las Etapas 7 y 8 en la construcción del Muro Embalse de Lamas la Brea que se han ejecutado entre los años 2020 y 2021.

| Movimientos de tierra y Construcción del Muro Embalse Lamas, Minera Caserones Etapas 7 y 8 | | | | | |
|--|---|----------------|----------|---------------------------|------------------------|
| Ítem | Actividad | Unidad | Cantidad | Precio Unitario \$/Unidad | Precio Total \$/Unidad |
| 1 | CONSTRUCCIÓN DE TERRAZAS E IMPERMEABILIZACIÓN | | | | |
| 1.1 | Relleno de terraza | | | | |
| 1.1.1 | Etapa N°7 | | | | |
| 1.1.2 | Relleno de material tipo 2 compactado | m ³ | 200.043 | 2.789 | 557.919.927 |
| 1.1.3 | Etapa N°8 | | | | |
| 1.1.4 | Relleno de material tipo 2 compactado | m ³ | 144.707 | 2.789 | 403.587.823 |
| Subtotal 1 | | | | | 961.507.750 |
| 2 | DISPOSICIÓN DE GEOMEMBRANA ESTRIBO DERECHO | | | | |
| 2.1 | Etapa N°7 | | | | |
| 2.1.1 | Relleno Material Tipo 2 Compactado | m ³ | 5 | 2.789 | 15.061 |
| 2.1.2 | Excavación Común | m ³ | 3.251 | 3.970 | 12.905.676 |
| 2.1.3 | Excavación en Zanja | m ³ | 508 | 18.541 | 9.411.412 |
| 2.1.4 | Relleno Material Tipo 3 Compactado | m ³ | 508 | 19.959 | 10.131.188 |
| 2.2 | Etapa N°8 | | | | |
| 2.2.3 | Excavación Zanja de Anclaje | m ³ | 529 | 18.541 | 9.811.897 |
| 2.2.4 | Material Seleccionado Zanja 3 | m ³ | 529 | 21.854 | 11.565.137 |
| Subtotal 2 | | | | | 53.840.371 |
| 3 | CONSTRUCCIÓN DE TERRAZAS E IMPERMEABILIZACIÓN ESTRIBO IZQUIERDO | | | | |
| 3.1 | Geomembrana estribo izquierdo | | | | |
| 3.1.1 | Etapa N°7 | | | | |
| 3.1.1.1 | Relleno Material Tipo 2 Compactado | m ³ | 27 | 2.789 | 75.303 |
| 3.1.1.2 | Excavación | m ³ | 270 | 3.970 | 1.071.900 |
| 3.1.1.3 | Excavación en Zanja | m ³ | 76 | 18.541 | 1.401.700 |
| 3.1.1.4 | Relleno Material Tipo 3 Compactado | m ³ | 76 | 19.959 | 1.508.900 |
| 3.1.2 | Etapa N°8 | | | | |
| 3.1.2.1 | Relleno Material Tipo 2 Compactado | m ³ | 1 | 2.789 | 3.012 |
| 3.1.2.2 | Excavación | m ³ | 167 | 3.970 | 664.578 |
| 3.1.2.3 | Excavación en Zanja | m ³ | 76 | 18.541 | 1.401.700 |
| 3.1.2.4 | Relleno Material Tipo 3 Compactado | m ³ | 76 | 19.959 | 1.508.900 |
| Subtotal 3 | | | | | 7.635.993 |
| 4 | TUBERÍA DE DISTRIBUCIÓN DE LAMAS CORONAMIENTO | | | | |
| 4.1 | Reubicación Tuberías | | | | |
| 4.1.1 | Etapa N°7 | | | | |
| 4.1.1.2 | Cama Apoyo Tubería (e=0,1 m) | m ³ | 464 | 69.822 | 32.397.408 |
| 4.1.1.3 | Camellón de Protección Tubería (No Compactado) | m ³ | 2.165 | 3.455 | 7.480.075 |
| 4.1.1.4 | Piping: Incluye Flange, Stud End y Piezas Especiales (Soportes, etc.), Según Detalle en Descarga de Lamas | Gl | 1 | 28.297.133 | 28.297.133 |

| | | | | | |
|----------------------------|---|----------------|-------|------------|------------------------|
| 4.1.2 | Etapas N°8 | | | | |
| 4.1.2.2 | Suministro Tubería HDPE 450 mm PN20 PE100 | ml | 40 | 286.284 | 11.451.360 |
| 4.1.2.3 | Cama apoyo Tubería (e=0,1 m) | m ³ | 633 | 69.822 | 44.197.326 |
| 4.1.2.4 | Camellón de Protección Tubería (No Compactado) | m ³ | 2.218 | 3.455 | 7.663.190 |
| 4.1.2.5 | Piping: Incluye Flange, Stud End y Piezas Especiales (Soportes, etc.), Según Detalle en Descarga de Lamas | Gl | 1 | 28.297.133 | 28.297.133 |
| Subtotal 4 | | | | | 159.783.625 |
| SUB-TOTAL (1+2+3+4) | | | | | \$1.182.767.739 |

Tabla 3.10. Costos asociados al movimiento de tierra y construcción del muro - Etapas 7 y 8 (Parte 1)

Fuente: Elaboración propia en base (Ingeniería Civil Vicente S.A., s.f.)

| Movimientos de tierra y Construcción del Muro Embalse Lamas, Minera Caserones Etapas 7 y 8 | | | | | |
|---|---------------------------------------|----------------|-----------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Ítem | Actividad | Unidad | Cantidad | Precio Unitario \$/Unidad | Precio Total \$/Unidad |
| 5 | MATERIAL DEPOSITADO EN EL MURO | | | | |
| 5.1 | Construcción Muro Etapas 7 y 8 | | | | |
| 5.1.1 | Relleno Material Tipo 1 | m ³ | 31.805.042 | 2.594 | 82.502.278.948 |
| 5.1.2 | Relleno Material Tipo 2 compactado | m ³ | 368.230 | 2.789 | 1.026.993.470 |
| Subtotal 5 | | | | | 83.529.272.418 |

| | | | | | |
|-------------------|--|----------------|---------|-------|--------------------|
| 6 | TUBERÍA DE DISTRIBUCIÓN DE LAMAS CORONAMIENTO | | | | |
| 6.1 | Relleno Compensado no Compactado (Corte) | m ³ | 53.445 | 1.828 | 97.697.241 |
| 2.2 | Relleno Material tipo 1 no Compactado | m ³ | 151.051 | 2.595 | 391.977.241 |
| Subtotal 6 | | | | | 489.674.482 |

| | | | | | |
|-------------------|--------------------------|-----|----|-------------|--------------------|
| 7 | COSTOS INDIRECTOS | | | | |
| 7.1 | Instalación de Faena | Mes | 24 | 11.913.261 | 285.918.273 |
| 7.2 | Movilización | Mes | 24 | 15.215.593 | 365.174.232 |
| 7.3 | Desmovilización | GL | 0 | 642.193.980 | 0 |
| Subtotal 7 | | | | | 651.092.505 |

| | | | | | |
|-------------------|--|----------------|---------|-------|----------------------|
| 8 | CAMINOS DE OPERACIÓN | | | | |
| 8.1 | Construcción Caminos | | | | |
| 8.1.1 | Relleno Compensado no Compactado (Corte) | m ³ | 162.656 | 1.828 | 297.334.254 |
| 8.1.2 | Relleno Material Tipo 1 no Compactado | m ³ | 554.505 | 2.595 | 1.438.940.475 |
| 8.2 | Pretilos | | | | |
| 8.2.1 | Pretil Central (Relleno Material Común <12") | m ³ | 46.200 | 4.066 | 187.849.200 |
| 8.3 | Relleno quebrada dren 9 | | | | |
| 8.3.1 | Relleno Material Tipo 2 Compactado | m ³ | 432.495 | 2.789 | 1.206.228.555 |
| 8.3.2 | Relleno Material Protección Dren | m ³ | 13.650 | 2.595 | 35.421.750 |
| Subtotal 8 | | | | | 3.165.774.234 |

| Instalación de Geomembrana, Geotextil y Tubería de Muro Embalse Lamas, Minera Caserones Etapas 7 y 8 | | | | | |
|---|--|----------------|----------|------------------------------|---------------------------|
| Ítem | Actividad | Unidad | Cantidad | Precio Unitario \$/Unidad | Precio Total \$/Unidad |
| 1 | MOVILIZACIÓN | | | | |
| 1.1 | Etapa N°7 | | | | |
| 1.1.1 | Movilización | Gl | 0,25 | 193.131.746 | 48.282.937 |
| 1.1.2 | Desmovilización | Gl | 0,25 | 103.449.425 | 25.862.356 |
| 1.2 | Etapa N°8 | | | | |
| 1.2.1 | Movilización | Gl | 0,25 | 193.131.746 | 48.282.937 |
| 1.2.2 | Desmovilización | Gl | 0,25 | 103.449.425 | 25.862.356 |
| Subtotal 1 | | | | | 148.290.586 |
| 2 | IMPERMEABILIZACIÓN MURO | | | | |
| 2.1 | Muro | | | | |
| 2.1.1 | Etapa N°7 | | | | |
| 2.1.1.1 | Geomembrana lisa LLDPE e=1,5mm | m ² | 68.155 | 3.909 | 266.421.303 |
| 2.1.1.2 | Geotextil no tejido >200 gr/m ² | m ² | 71.830 | 1.016 | 72.979.280 |
| 2.1.2 | Etapa N°8 | | | | |
| 2.1.2.1 | Geomembrana lisa LLDPE e=1,5mm | m ² | 72.326 | 3.909 | 282.725.950 |
| 2.1.2.2 | Geotextil no tejido >200 gr/ m ² | m ² | 74.783 | 1.016 | 75.953.354 |
| Subtotal 2 | | | | | 698.079.887 |
| 3 | CONSTRUCCIÓN DE TERRAZAS E IMPERMABILIZACIÓN ESTRIBO DERECHO | | | | |
| 3.1 | Disposición geomembrana estribo derecho | | | | |
| 3.1.1 | Etapa N°7 | | | | |
| 3.1.1.1 | Geomembrana lisa LLDPE e=1,5mm | m ² | 21.767 | 3.694 | 80.410.345 |
| 3.1.1.2 | Geotextil no tejido >200 gr/m ² | m ² | 21.767 | 1.016 | 22.107.654 |
| 3.1.2 | Etapa N°8 | | | | |
| 3.1.2.1 | Geomembrana lisa LLDPE e=1,5mm | m ² | 24.332 | 4.124 | 100.354.414 |
| 3.1.2.2 | Geotextil no tejido >200 gr/m ² | m ² | 24.332 | 1.016 | 24.712.796 |
| Subtotal 3 | | | | | 227.585.209 |
| 4 | CONSTRUCCIÓN DE TERRAZAS E IMPERMEABILIZACIÓN ESTRIBO IZQUIERDO | | | | |
| 4.1 | Disposición geomembrana estribo izquierdo | | | | |
| 4.1.1 | Etapa N°7 | | | | |
| 4.1.1.1 | Geomembrana lisa LLDPE e=1,5mm | m ² | 1.420 | 4.320 | 6.135.011 |
| 4.1.1.2 | Geotextil no tejido >200 gr/m ² | m ² | 1.420 | 1.016 | 1.442.720 |
| 4.1.2 | Etapa N°8 | | | | |
| 4.1.2.1 | Geomembrana lisa LLDPE e=1,5mm | m ² | 1.377 | 4.411 | 6.074.374 |

| | | | | | |
|-------------------|--|----------------|-------|-------|-------------------|
| 4.1.2.2 | Geotextil no tejido >200 gr/m ² | m ² | 1.377 | 1.016 | 1.398.550 |
| Subtotal 4 | | | | | 15.050.655 |

| | | | | | |
|-------------------|--|----|----------|--------|-------------------|
| 5 | TUBERÍA DE DISTRIBUCIÓN DE LAMAS CORONAMIENTO | | | | |
| 5.1 | Reubicación tuberías | | | | |
| 5.1.1 | Etapa N°7 | | | | |
| 5.1.1.1 | Traslado tubería en coronamiento | ml | 2.006,00 | 21.952 | 44.034.769 |
| 5.1.2 | Etapa N°8 | | | | |
| 5.1.2.1 | Traslado tubería en coronamiento | ml | 2.055,00 | 21.428 | 44.034.807 |
| Subtotal 4 | | | | | 88.069.576 |

| | | | | | |
|-------------------|-------------------------|----|-----|-------------|--------------------|
| 6 | GASTOS GENERALES | | | | |
| 6.1 | Gastos generales | | | | |
| 6.1.1 | Gastos Etapa 7 y 8 | Gl | 0,5 | 824.355.934 | 412.177.967 |
| Subtotal 5 | | | | | 412.177.967 |

| | | | | | |
|-------------------|--|-----------------------------|----------|------------------------|-------------------|
| 7 | OBRAS ADICIONALES | TOTAL AVANCE PERIÓDO | | | |
| | | CANTIDAD | % | TOTAL \$/Unidad | |
| 7.1 | Rescatista de alta montaña (01 por turno) | 120,00 | 7,2 | 1.939.440 | |
| 7.2 | Cuadrilla Mejoramiento de Superficie (04 Operarios x turno) | 72,00 | 1,3 | 522.432 | |
| 7.3 | Recursos adicionales cuadrilla de apoyo en traslado de tubería HDPE 450 mm en coronamiento muro. | 0,24 | 23,7 | 5.803.908 | |
| 7.4 | Bono Personal cambio jornada 14x14 | 0,06 | 5,8 | 1.400.000 | |
| 7.5 | Reparación roturas de geomembrana causadas por maquinarias o rocas. | 0,84 | 83,7 | 4.601.148 | |
| 7.6 | Implementos para rescate en alta montaña | 1,00 | 100,0 | 1.880.060 | |
| 7.7 | Costo de paralización de actividades por parada de planta MLCC 21 al 31 julio 2020 | 1,00 | 100,0 | 28.819.164 | |
| Subtotal 6 | | | | | 44.966.152 |

| | | | | |
|---------------------------------|--|--|--|----------------------|
| TOTAL IMPERMEABILIZACIÓN | | | | 1.634.220.031 |
|---------------------------------|--|--|--|----------------------|

| | | | | |
|-----------------------------------|--|-------------------------------|-------------|------------------|
| TOTAL MOVIMIENTO DE TIERRA | | 770,23 | US\$ | 2.121.730 |
| | | Dólar Promedio años 2020-2021 | | |

Tabla 3.12. Costos estimados para la fase de Impermeabilización - Etapa 7 y 8

Fuente: Elaboración propia en base (Ingeniería Civil Vicente S.A., s.f.)

3.5.3 PLAN MINERO AÑO 2020 – 2021

El Plan Minero inserto en el Plan de Negocio y Desarrollo de Minera Caserones contempla todos los recursos minerales potencialmente explotables económicamente a lo largo de toda la vida de esta compañía. Sumado a los diversos estudios de ingeniería se logra elaborar el

mejor plan para cada año, determinando así la relación óptima entre la capacidad de extracción y beneficio de mineral, la que se expresa en miles de toneladas de cobre fino a producir en un año.

A continuación, se muestra la Tabla 3.13 con los datos del año 2020.

| PLAN MINERO AÑO 2020 | | | | | | | | | | | |
|----------------------|------------------------|---------|--------|------------------|--------------|-----------------|--------------------|----------------|------------------|-------------------|-----------------------|
| Mes | Procesamiento en Conc. | | | Producción Cobre | | | | | | | |
| | TPM seco | tph/mes | h. op. | CuT | Rec | Conc. Prod (ts) | Ley de Conc. Prod. | Fino Cu (ts) | Conc. Filt. (ts) | Ley de Conc. Filt | Fino Cu Filtrado (tn) |
| Enero | 3.199.500 | 4.500 | 711 | 0,50 | 84,39 | 45.525 | 29,51 | 13.435 | 45.525 | 29,51 | 13.435 |
| Febrero | 2.807.550 | 4.500 | 624 | 0,51 | 85,11 | 44.792 | 27,12 | 12.147 | 44.792 | 27,12 | 12.147 |
| Marzo | 3.151.890 | 4.500 | 700 | 0,49 | 85,56 | 42.442 | 31,45 | 13.348 | 42.442 | 31,45 | 13.348 |
| Abril | 2.245.489 | 3.935 | 571 | 0,54 | 85,51 | 31.875 | 32,78 | 10.448 | 31.875 | 32,78 | 10.448 |
| Mayo | 2.997.355 | 4.192 | 715 | 0,52 | 85,34 | 42.064 | 31,79 | 13.372 | 42.064 | 31,79 | 13.372 |
| Junio | 2.896.571 | 4.192 | 691 | 0,46 | 84,98 | 38.618 | 29,27 | 11.302 | 38.618 | 29,27 | 11.302 |
| Julio | 2.349.581 | 4.166 | 564 | 0,42 | 84,61 | 28.757 | 28,74 | 8.265 | 28.757 | 28,74 | 8.265 |
| Agosto | 2.994.523 | 4.188 | 715 | 0,43 | 84,40 | 36.612 | 29,89 | 10.943 | 36.612 | 29,89 | 10.943 |
| Septiembre | 2.902.433 | 4.200 | 691 | 0,49 | 85,08 | 38.256 | 31,63 | 12.100 | 38.256 | 31,63 | 12.100 |
| Octubre | 3.003.226 | 4.200 | 715 | 0,48 | 84,99 | 38.737 | 31,52 | 12.211 | 38.737 | 31,52 | 12.211 |
| Noviembre | 2.392.512 | 4.165 | 545 | 0,48 | 84,10 | 29.685 | 32,28 | 9.583 | 8.177 | 32,99 | 2.697 |
| Diciembre | 2.933.984 | 4.081 | 719 | 0,46 | 83,58 | 33.667 | 33,56 | 11.297 | 33.667 | 33,56 | 11.297 |
| TOTAL | 33.874.614 | | | 0,48 | 84,80 | 451.031 | 30,79 | 138.451 | 429.523 | 30,85 | 131.566 |

Tabla 3.13. Plan Minero Año 2020 Minera Caserones
Fuente: Elaboración propia en base a (Lumina Copper Chile, 2021)

Para este estudio sólo mencionaremos los movimientos de materiales de los años 2020 y 2021. Con ellos lograremos conocer el movimiento de mina ya ejecutado para el año 2020 y en ejecución durante el desarrollo de este estudio año 2021. Para este último año (2do semestre) se tomó plan minero proyectado por la compañía para lograr valorizar económicamente las toneladas métricas finas de cobre de cada año.

Para efectos de valorización del concentrado de Cobre producido se utiliza el “Manual de Procedimientos para cálculos de tarifas de minerales y productos mineros” 1996, de la Sociedad Nacional de Minería (SONAMI, 1996) y considerando los valores anuales del

precio del Cobre transados en la Bolsa de Metales de Londres (B.M.L.) de acuerdo a la Tabla 3.14

| AÑO | B.M.L. / LME |
|------|--------------|
| 2021 | 422,63 |
| 2020 | 280,35 |

Tabla 3.14. Valores Anuales del precio del Cobre (cUS\$/lb)
Fuente: SONAMI

| | | |
|--------------------------------|----------------|---------------|
| Precio Cu (US\$/Ton CuF) | 280,35 | 22,046 |
| Precio Cu (US\$/Ton CuF) | 6.180,6 | (US/Ton CuF) |
| Valor Ton Concentrado | 1.893,17 | (US/Ton Conc) |
| CuF Perdido | 5.262,65 | (Ton CuF) |
| Valor Ton Concentrado Perdidos | 75,73 | (US/Ton Conc) |
| Cargo Fusión | 473,29 | (US/Ton Conc) |
| Finos Recuperados | 126.304 | (Ton CuF) |
| Cargo Refino | 618,06 | (US/Ton CuF) |
| Cargo Refino | 181,74 | (US/Ton Conc) |
| Valor Final Ton Concentrado | 1.162,41 | (US/Ton Conc) |
| Valor Ton Concentrado | 499.279.698,43 | (US) |

Tabla 3.15. Valorización Concentrado Producido 2020
Fuente: Elaboración propia en base (SONAMI, 1996).

Siguiendo la misma metodología se obtienen los valores para el año 2021, considerando el Plan Minero del primer Semestre y proyectado para el segundo (Tabla en Anexo 2).

| | | |
|--------------------------------|----------|---------------|
| Precio Cu (US\$/Ton CuF) | 422,63 | 22,046 |
| Precio Cu (US\$/Ton CuF) | 9.317,3 | (US/Ton CuF) |
| Valor Ton Concentrado | 2.850,13 | (US/Ton Conc) |
| CuF Perdido | 5.592,69 | (Ton CuF) |
| Valor Ton Concentrado Perdidos | 114,01 | (US/Ton Conc) |

| | | |
|-----------------------------|----------------|---------------|
| Cargo Fusión | 473,29 | (US/Ton Conc) |
| Finos Recuperados | 134,225 | (Ton CuF) |
| Cargo Refino | 618,06 | (US/Ton CuF) |
| Cargo Refino | 181,50 | (US/Ton Conc) |
| Valor Final Ton Concentrado | 2.081,33 | (US/Ton Conc) |
| Valor Ton Concentrado | 951.323.106,96 | (US) |

Tabla 3.16. Valorización Concentrado Producido 2021

Fuente: Elaboración propia en base (SONAMI, 1996).

3.5.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En base a la información presentada en las tablas anteriores, se obtiene que el costo estimado de la fase de construcción para las etapas 7 y 8 del Embalse de Lamas La Brea es de \$ **90.280.089.128** y para la fase de impermeabilización es de \$ **1.634.220.031**, lo que da un total de \$ **91.914.309.159** equivalentes a **US\$ 119.333.588** aproximadamente.

Considerando que el crecimiento del Embalse de Lamas La Brea en etapas 7 y 8 ocurre durante el año 2020 – 2021, se puede asumir que su costo será absorbido por el valor total de concentrado de cobre producido durante esos años, valores que ascienden a **US\$ 499.279.698,43** para el año 2020, y de **US\$ 951.323.106,96** para el año 2021 (El aumento del valor para el año 2021 se debe a un aumento considerable en el valor del precio de la libra de cobre en la B.M.L.).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- CONCLUSIONES

- Para garantizar la continuidad operacional, la construcción e impermeabilización del tranque de relaves de lamas La Brea en sus etapas 7 y 8 resulta preponderante, sin embargo, existen variados requisitos técnicos y medioambientales que se deben cumplir con la finalidad de asegurar su calidad técnica y generar el mínimo impacto ambiental.
- Existen diversas y variadas técnicas de impermeabilización, por lo que es muy importante establecer de manera clara las características operacionales de la faena donde se utilizará con el fin de poder escoger la opción mas adecuada de impermeabilización.
- En base a las características propias del sector en que se encuentra ubicado el tranque de relaves de lamas La Brea, se determina que no se utilizará un sólo tipo de material para la construcción de las etapas 7 y 8. Los materiales a utilizar comprenderán materiales de relleno (material empréstito según tamaño de partículas según punto a utilizar), materiales de anclaje para la geomembrana, materiales de impermeabilización (geomembranas del tipo HDPE y LLPDE) y materiales para proteger la geomembrana (geotextil).
- Del análisis económico se concluye que el costo de la construcción e impermeabilización del tranque de relaves de lamas La Brea en sus etapas 7 y 8, representa un 23,90% del posible ingreso por el concepto de concentrado de Cobre producido en el año 2020 según el Plan Minero. Sin embargo, se debe considerar que la construcción de las etapas 7 y 8 será durante los años 2020 y 2021, por lo que si sumamos los posibles ingresos de ambos años se obtiene que el costo de la construcción e impermeabilización representa un 8,22% del total.
- En resumen, junto con el cumplimiento de la legislación técnico medioambiental, el proyecto debe considerar el costo-beneficio de la construcción, por lo que es importante seleccionar los materiales adecuados además de empresas que entreguen la calidad necesaria al menor costo posible.

Considerando que la construcción e impermeabilización del tranque de relaves de lamas La Brea en sus etapas 7 y 8 es una actividad ineludible por el crecimiento constante de la cantidad de relaves generados, y teniendo como costo asociado al proyecto un valor que

sólo representa un 8,22% del total de ingresos estimados para los años 2020-2021 calculados en base a la producción de cobre para dicho periodo, se puede considerar que es un proyecto viable.

- RECOMENDACIONES

La continuidad operacional de una faena minera productiva depende de muchos factores, pero lo relacionado con lo estudiado en este trabajo tiene una relevancia preponderante, por lo que dentro de la formación profesional se recomienda profundizar aún más en lo que respecta a los métodos constructivos de los tranques de relaves y la legislación vigente, como también en las metodologías de control y seguimiento del funcionamiento de estos.

Los tranques de relaves representan siempre un foco de atención desde el punto de vista medioambiental, y su sola presencia genera cierto rechazo de la comunidad, sumado a la cantidad de plantas de la pequeña minería que están en funcionamiento o que se instalarán en el futuro, se recomienda también tomar esa brecha y prestar asesorías que podrían ser a través de trabajos de tesis para continuar con el perfeccionamiento de los futuros profesionales y aportar con el desarrollo de la minería dentro de la normativa medioambiental.

BIBLIOGRAFIA

- Cecilia Riveros. (6 de Agosto de 2021). *Nueva Normativa para Regular los Depositos de Relaves*. Obtenido de <https://www.cdt.cl/nueva-normativa-para-regular-los-depositos-de-relaves/>
- Ingenieria Civil Vicente S.A. (s.f.). *Servicios integrales para la mineria*. Santiago.
- Lumina Copper Chile. (2021). *Licitación VPAC 0122 Construcción Muro Embalse Lamas Etapas 7,8,9 y10*. Santiago.
- MINISTERIO DE MINERIA. (2007). *DECRETO SUPREMO N° 248*. Santiago: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Obtenido de <https://www.leychile.cl/N?i=259901&f=2007-04-11&p>
- Ramírez, N. (2007). *GUÍA TÉCNICA DE OPERACIÓN Y CONTROL DE DEPOSITOS DE RELAVES*. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería - Departamento de Seguridad Minera.
- SONAMI. (1996). *Manual de Procedimientos para el Cálculo de Tarifas de Minerales y Productos Mineros*.
- Arcadis (2018) “Especificación Técnica Particular de Suministro e Instalación Geosintéticos, Ingeniería de Detalle Crecimiento Depósito de Lamas La Brea Caserones Etapas 7, 8, 9 Y 10”

ANEXOS

ANEXO 1.

Cálculos para la valorización del concentrado producido

Para el cálculo de la Valorización del concentrado producido se utilizó el “Manual de Procedimientos para el Cálculo de Tarifas de Minerales y Productos Mineros” de la SONAMI, 1996.

A Continuación se muestran las referencias para el cálculo.

| | | | |
|--------------------------------|----------------|---------------|-----|
| Precio Cu (US\$/Ton CuF) | 280,35 | 22,046 | |
| Precio Cu (US\$/Ton CuF) | 6.180,6 | (US/Ton CuF) | (1) |
| Valor Ton Concentrado | 1.893,17 | (US/Ton Conc) | (2) |
| CuF Perdido | 5.262,65 | (Ton CuF) | (3) |
| Valor Ton Concentrado Perdidos | 75,73 | (US/Ton Conc) | |
| Cargo Fusión | 473,29 | (US/Ton Conc) | (4) |
| Finos Recuperados | 126.304 | (Ton CuF) | |
| Cargo Refino | 618,06 | (US/Ton CuF) | (5) |
| Cargo Refino | 181,74 | (US/Ton Conc) | |
| Valor Final Ton Concentrado | 1.162,41 | (US/Ton Conc) | |
| Valor Ton Concentrado | 499.279.698,43 | (US) | (6) |

Tabla 0.1. Valorización Concentrado Producido 2020

Fuente: Elaboración propia en base (SONAMI, 1996).

(1) :

***.- Precio del Cobre**

Para el desarrollo del tema se considera un precio del cobre de 100 C/Lb.

Tal como se indicara inicialmente, la valorización del producto se expresará en $\text{US\$}/\text{Ton Conc.}$, por lo cual el precio del metal considerado debe ser transformado a $\text{US\$}/\text{Ton Fino}$. Para ello se utiliza la equivalencia 2204.6 Lb/Ton y 100 c $\text{US\$}/\text{US\$}$, o bien, se multiplica el precio expresado en C/Lb por 22.046. En consecuencia, el valor del precio del metal expresado en $\text{US\$}/\text{Ton. Fino de Cu}$ es:

$$\text{Precio del Cobre} = \frac{\text{Precio en C/Lb} \times 22.046}{\text{Ton. Fino Cu}} = \frac{\text{US\$}}{\text{Ton. Fino Cu}}$$

$$\text{Precio del Cobre} = \frac{100 \times 22.04}{\text{Ton Fino Cu}} = \frac{2204.6 \text{ US\$}}{\text{Ton Fino Cu}}$$

(2)

***.- Valorización de la Tonelada de Concentrado**

La ecuación general que rige la valorización de cualquier producto es:

$$\text{Valor} = \text{Cantidad} \times \text{Valor Unitario}$$

Para este caso , la expresión es la siguiente:

$$\text{Valor Ton.Conc.} = \text{Fino Contenido} \times \text{Valor del Fino}$$

Por lo tanto, el valor de la tonelada de concentrado es:

$$\text{Valor Ton. Conc.} = \frac{0.20 \text{ Ton.Fino}}{\text{Ton.Conc.}} \times \frac{2204.6 \text{ US\$}}{\text{Ton.Fino}} = \frac{440.92 \text{ US\$}}{\text{Ton.Conc}}$$

(3)

La pérdida que se utiliza en esta ocasión también será del 4%. La pérdida debe descontarse ya que la tonelada valorada al comienzo refleja el cobre fino contenido y no el realmente obtenido, que es el que finalmente se comercializa en los mercados. Por lo tanto, el precio considerado en la valoración de este descuento es el mismo utilizado en la valoración de la tonelada de concentrado.

La valorización debe expresarse en término de dólares por ton de concentrado, (US\$/Ton.Conc.) y en su determinación participan el precio del metal en US\$ / Ton Fino y la pérdida metalúrgica en Ton. de Fino.

La pérdida metalúrgica de 4.0 % equivale a decir que se pierden 0.008 ton de fino por tonelada de concentrado. Esta cifra se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{Finos Perdidos} = \frac{\text{Finos Contenidos} \times \text{Pérd. Metalúrgica \%}}{100}$$

$$\text{Finos Perdidos} = \frac{0.2 \text{ Ton.} \times 4\%}{100} = \frac{0.008 \text{ Ton. Fino}}{\text{Ton.Conc.}}$$

Por otro lado, el precio del metal medido en C/Lb se debe expresar en US\$/Ton. Fino, cuya transformación ya se explicó.

$$\text{Precio del Cobre} = \frac{100 \times 22.04}{\text{Ton Fino Cu.}} = 2204.6 \text{ US\$}$$

Para valorizar la pérdida metalúrgica se aplica la expresión general antes indicada y que para este caso es:

(4)

a.2.1.- Descuento por Fusión

-Cargo de fusión. Por lo general, este cargo se expresa en US\$/Ton de concentrado. Para este caso se usará 110 US\$/Ton de concentrado. Dado que la unidad de medida de este cargo es consecuente con la del valor de la tonelada de concentrado ya obtenido, no requiere ningún tipo de transformación.

(5)

-Cargo de Refinación. En general, este cargo se expresa en C/Lb y se aplica sobre el cobre fino recuperado solamente. El cargo aplicado para este ejemplo será de 10 c/Lb.

En la valorización del cargo de refinación, expresado en US\$/Ton. Conc., se utilizan el costo que origina dicho proceso y las cantidades de fino a refinar.

Así, el cargo de refinación expresado en C/Lb se debe transformar a US\$/Ton. Fino, para lo cual se utilizan los factores de conversión ya indicados. En consecuencia, 10 C/Lb equivalen a 220.046 US\$/Ton. Fino.

Por otro lado, el cobre fino a refinar corresponde al recuperado en el proceso de fusión y que se determina de la siguiente manera, cuando la pérdida se expresa en términos de recuperación:

$$\text{Finos Recuperados} = \text{Finos Contenidos} \times \frac{(1 - P_m \%)}{100}$$

$$\text{Fino Recup.} = \frac{0.20 \text{ Ton Fino} \times (1 - 4)}{\text{Ton Conc.} \quad 100} = \frac{0.192 \text{ Ton Fino}}{\text{Ton Conc.}}$$

Pm = Pérdida metalúrgica

Finalmente, el valor de este descuento es:

$$\text{Valor Refino} = \text{Fino Recuperado} \times \text{Costo del Refino}$$

Por lo tanto,:

$$\text{Valor Cargo Refino} = \frac{0.192 \text{ Ton.Fino}}{\text{Ton.Conc.}} \times \frac{220.46 \text{ US\$}}{\text{Ton.Fino}} = \frac{42.33 \text{ US\$}}{\text{Ton.Conc.}}$$

(6)

Finalmente, la tonelada de concentrado de 20 % Cu tiene un valor de:

| | | |
|---|----------------|----------------------|
| + Valor del concentrado | + 440.92 | US\$/Ton concentrado |
| - Cargo fusión | - 110.00 | US\$/Ton concentrado |
| - Pérdida metalúrgica | - 17.64 | US\$/Ton concentrado |
| - Cargo refino | - <u>42.33</u> | US\$/Ton concentrado |
| Valor de la tonelada de concentrado de 20 % Cu. | 270.95 | US\$/Ton concentrado |

ANEXO 2

Plan Minero Año 2021 Minera Caserones

| PLAN MINERO AÑO 2021 | | | | | | | | | | | |
|----------------------|------------------------|---------|--------|------------------|--------------|-----------------|--------------------|----------------|------------------|-------------------|-----------------------|
| Mes | Procesamiento en Conc. | | | Producción Cobre | | | | | | | |
| | TPM seco | tph/mes | h. op. | CuT | Rec | Conc. Prod (ts) | Ley de Conc. Prod. | Fino Cu (ts) | Conc. Filt. (ts) | Ley de Conc. Filt | Fino Cu Filtrado (tn) |
| Enero | 3.199.500 | 4.500 | 711 | 0,50 | 84,39 | 45.525 | 29,51 | 13.435 | 45.525 | 29,51 | 13.435 |
| Febrero | 2.807.550 | 4.500 | 624 | 0,51 | 85,11 | 44.792 | 27,12 | 12.147 | 44.792 | 27,12 | 12.147 |
| Marzo | 3.151.890 | 4.500 | 700 | 0,49 | 85,56 | 42.442 | 31,45 | 13.348 | 42.442 | 31,45 | 13.348 |
| Abril | 2.245.489 | 3.935 | 571 | 0,54 | 85,51 | 31.875 | 32,78 | 10.448 | 31.875 | 32,78 | 10.448 |
| Mayo | 2.997.355 | 4.192 | 715 | 0,52 | 85,34 | 42.064 | 31,79 | 13.372 | 42.064 | 31,79 | 13.372 |
| Junio | 2.896.571 | 4.192 | 691 | 0,46 | 84,98 | 38.618 | 29,27 | 11.302 | 38.618 | 29,27 | 11.302 |
| Julio | 2.349.581 | 4.166 | 564 | 0,42 | 84,61 | 28.757 | 28,74 | 8.265 | 28.757 | 28,74 | 8.265 |
| Agosto | 3.187.250 | 4.750 | 671 | 0,46 | 85,00 | 38.245 | 32,00 | 12.353 | 38.000 | 32,00 | 12.160 |
| Septiembre | 3.239.500 | 4.750 | 682 | 0,45 | 85,00 | 39.274 | 31,00 | 12.345 | 39.000 | 31,00 | 12.090 |
| Octubre | 2.816.750 | 4.750 | 593 | 0,41 | 85,00 | 31.147 | 31,00 | 9.741 | 31.000 | 31,00 | 9.610 |
| Noviembre | 3.239.500 | 4.750 | 682 | 0,45 | 85,00 | 39.097 | 32,00 | 12.316 | 39.000 | 32,00 | 12.480 |
| Diciembre | 3.187.250 | 4.750 | 671 | 0,41 | 85,00 | 36.059 | 31,00 | 11.079 | 36.000 | 31,00 | 11.160 |
| TOTAL | 35.318.186 | | | 0,47 | 85,04 | 457.895 | 30,61 | 140.152 | 457.074 | 30,61 | 139.817 |