

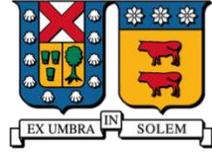
2020-07

ANÁLISIS FINANCIEROS SOBRE LA GESTIÓN DE PROYECTOS DE DEPOSITOS DE RELAVES ESPESADOS APLICADO AL CASO DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE LA COMPAÑÍA MINERA SIERRA GORDA SCM.

AVENDAÑO BERTOGLIO, CRISTIAN ANDRÉS

<https://hdl.handle.net/11673/49890>

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA



DEPARTAMENTO DE
INGENIERIA COMERCIAL
UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERIO SANTA MARÍA

Departamento de Ingeniería Comercial

MBA, Magíster en Gestión Empresarial

**ANÁLISIS FINANCIEROS SOBRE LA GESTION DE
PROYECTOS DE DEPOSITOS DE RELAVES ESPESADOS
APLICADO AL CASO DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE
LA COMPAÑÍA MINERA SIERRA GORDA SCM.**

Tesina de Grado presentada por

Cristian Andrés Avendaño Bertoglio

Como requisito para optar al grado de

MBA, Magíster en Gestión Empresarial

Guía de Tesina Mg. Francisco Lagos Peralta.

Julio de 2020

TITULO DE TESINA: ANÁLISIS FINANCIEROS SOBRE LA GESTION DE PROYECTOS DE DEPOSITOS DE RELAVES ESPESADOS APLICADO AL CASO DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE LA COMPAÑÍA MINERA SIERRA GORDA SCM.

AUTOR: Cristian Andrés Avendaño Bertoglio

TRABAJO DE TESINA, presentando en cumplimiento parcial de los requisitos para el Grado de MBA, Magíster en Gestión Empresarial de la Universidad Técnica Federico Santa María.

OBSERVACIONES: _____

COMISIÓN DE TESINA:

Mg. Francisco Lagos Peralta, **Profesor Guía**
Dr. Hugo Osorio Zelada, **Profesor Co-Referente Interno.**
Mg. Cristián Carvallo González, **Profesor Externo**

Santiago, Julio 2020

Todo el contenido, análisis, conclusiones y opiniones vertidas en este estudio son de mi exclusiva responsabilidad.

Nombre: Cristian Andrés Avendaño Bertoglio

Fecha: Julio 2020.

Resumen Ejecutivo

El tema propuesto “ANÁLISIS FINANCIEROS SOBRE LA GESTION DE PROYECTOS DE DEPOSITOS DE RELAVES ESPESADOS APLICADO AL CASO DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE LA COMPAÑÍA MINERA SIERRA GORDA SCM” busca dar cuenta cómo la conceptualización de un proyecto de construcción y operación de un Depósito de Relaves Espesados puede condicionar el negocio de una compañía, y cómo su ejecución compromete los resultados financieros.

Para toda compañía minera metálica o no metálica, el hecho de iniciar un proyecto significa riesgos tanto de tener resultados deficientes así como llegar a las metas y los beneficios esperados. Cuando el proyecto por alguna razón no evalúa todos los parámetros correctamente implica mucho más que sólo el fracaso de un grupo de profesionales vinculados al proyecto, es más bien el fracaso de toda la organización, que se traduce de manera importante en pérdidas financieras en las inversiones, y esto conlleva a pérdidas en las utilidades de toda la compañía.

Toda obra de depósitos de relaves está sometida a una serie de condicionantes tanto internos como externos, que influirán en la gestión económica exitosa del proyecto minero completo. Podríamos citar como más destacados el marco legal, los compromisos adquiridos con la autoridad y comunidades cercanas, permisos ambientales, seguimiento operacional y los planes de cierre, estos últimos significan grandes sumas de dinero retenido a modo de garantías.

Las organizaciones, por tanto, deben contar con un sistema de evaluación y revisión de las condiciones impuestas a cada proyecto y diferenciar las variables críticas de manera de tomar decisiones completas y entender como estas decisiones comprometen costos de capital futuro.

Este trabajo propone un modelo de evaluación de amplio rango y una metodología de aplicación para que la compañía tenga las herramientas necesarias para lograr un alto desempeño y llegar a ser una Operación de Clase Mundial.

Este modelo fue utilizado en la Compañía Minera Sierra Gorda SCM exitosamente.

Contenido

Índice de Ilustraciones.....	6
Índice de Tablas	7
1 Introducción.....	8
2 Origen y Propósito del Estudio	9
3 Objetivos.....	10
3.1 Objetivo General	10
3.2 Objetivo Específico 1	10
3.3 Objetivo Específico 2	10
3.4 Objetivo Específico 3.....	10
3.5 Objetivo Específico 4.....	10
4 Alcance del Estudio.....	11
5 Metodología del Trabajo	12
5.1 Tipo de Investigación.....	12
5.2 Desarrollo de la Metodología.....	12
6 Estado del Arte.....	14
6.1 Antecedentes del Estado del Arte	14
6.1.1 Análisis de Variables del Modelo Conceptual.....	15
6.1.2 Conclusiones del Capítulo - Antecedentes del Estado del Arte	16
6.2 Marco Teórico del Estado del Arte	17
6.2.1 Revisión Aspectos Técnicos.....	17
6.2.2 Revisión Aspectos Financieros.....	25
6.2.3 Revisión Aspectos Sociales.....	26
6.2.4 Revisión Aspectos Ambientales.....	26
6.2.5 Conclusiones del Capítulo - Marco Teórico del Estado del Arte	27
7 Desarrollo	27
7.1 KPI propuestos.....	29
7.2 Metodología de Evaluación, Construcción y Revisión del Modelo.....	29
7.2.1 Conclusiones del Capítulo - Modelo Teórico	31
7.3 Aplicación del modelo Caso de Minera Sierra Gorda SCM.....	32
7.3.1 Construcción Situación Base.....	33
7.3.2 Construcción Modelo Situación Optimizada.....	38
7.3.3 Conclusiones del Capítulo - Modelo Aplicado.....	46

8	Conclusiones.....	47
9	Bibliografía.....	49
10	Anexos.....	50
10.1	Anexo 1 Modelo Situación Actual	50
10.2	Anexo 2 Iteraciones Optimización Depósito Relaves SG SCM	54
10.3	Anexo 3 Modelo Situación Optimizada, Escenario 1	57
10.4	Anexo 3 Modelo Situación Optimizada, Escenario 2	58

Índice de Ilustraciones

<i>Ilustración 1. Modelo Bloques de Desarrollo.....</i>	<i>13</i>
<i>Ilustración 2. Modelo Económico General.....</i>	<i>16</i>
<i>Ilustración 3. Resumen de Regulaciones Nacionales y su interdependencia.</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 4. Flujo de Diseño.....</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 5. Crecimiento Aguas Arriba</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 6. Crecimiento eje Central.....</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 7. Crecimiento Aguas Abajo.....</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 8. Embalse de material de Empréstito.....</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 9. Embalse de Material lastre minero.....</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 10. Distribución de Relaves mediante ciclones.....</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 11. Distribución de Relaves de descargas Discretas</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 12. Descarga de Relaves Singular</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 13. Metodología de Evaluación Modelo.....</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 14. Vista Satelital de Minera Sierra Gorda SCM</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 15. Depósito de Relaves.....</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 16. Esquema Genérico Diseño Muro.....</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 17. Plan de Llenado depósito.....</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 18. Esquema de Crecimiento de Muros</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 19. Detalla de altura de muros por sección</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 20. Sistema de Recuperación de Aguas</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 21. Planta General sistema recuperación.....</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 22. Proyección en el tiempo de gasto de capital</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 23. Subdivisión de Muros.....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 24. Ciclos y Distancia de Transporte.....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 25. Esquema Genérico Impermeabilización Muro.....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 26. Esquema Conceptual distribución de Relaves Optimizado.....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 27. Nuevo Diseño de Depósito de Relaves.....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 28. Modelos de Llenado de Depósito.....</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 29. Esquema con ubicación de áreas colectoras de agua</i>	<i>42</i>

<i>Ilustración 30. Barrera Hidráulica.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 31. Esquema 3D Estación Bombeo Relaves</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 32. Proyección en el Tiempo Gasto Capital Optimizado.....</i>	<i>46</i>

Índice de Tablas

<i>Tabla 1. Modelo evaluación.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 2. Ejemplo de Cubicaciones en el tiempo.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 3. Modelo Evaluación Situación Actual o de Origen.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 4. Análisis de Variables Principales.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 5. Escenario 1, Recursos Internos</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 6. Escenario 2, Recursos y Servicios Externos</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 7. Análisis de Variables Principales Modelo Optimizado.....</i>	<i>45</i>

1 Introducción.

La conceptualización de todo proyecto requiere de la intervención de muchos ámbitos y conocimiento multidisciplinarios, requiere un esfuerzo conjunto de las compañías madres y las empresas que sean contratadas para su desarrollo. Lo mismo requiere un proyecto de construcción y operación de un Depósito de Relaves espesados. Se requiere entonces que consideramos todos los aspectos y requisitos para evaluar. Los proyectos mineros requieren de grandes inversiones por lo que alguna omisión o equivocación puede condicionar el negocio de una compañía comprometiendo sus resultados financieros.

La aplicación y desconocimiento del porqué de las normas nacionales e internacionales, regulaciones de la industria, requisitos de los fondos de inversión privados y públicos, ONGs, más los desastres que han ocurrido los últimos años. Conlleva a un desafío permanente que no todas las compañías pueden llevar exitosamente. Por otro lado, malas asesorías, desarrollos del proyecto apurados que no tienen una visión holística de las problemáticas y preocupaciones que la sociedad tienen de un depósito de relaves o no consensuar con todos los estamentos y áreas de la compañía afectan y comprometen los resultados económicos de corto y largo plazo de estas.

Es destacable que el constante cambio y evolución de los marcos regulatorios, la globalización, el acceso instantáneo a información, entre otros, hacen que cada vez existan más stakeholder involucrados en la preparación y aprobación de estos proyectos los cuales están inmersos en una operación minera. La generación de grandes volúmenes de residuos es una consecuencia inevitable de la explotación de recursos mineros. Todo diseño se basa en análisis de muestras, ensayos y en supuestos que se plasman en criterios de diseño, no obstante, durante la operación ocurren desviaciones, que no fueron previstas o fueron simplificadas en la etapa de diseño.

Un punto histórico importante es que somos el 3er país con mayor número de depósitos de relaves en el mundo detrás de china y Estados Unidos, con 740 depósitos en total, 101 activos, 469 inactivos y 170 abandonados. Presentes en 9 de las 15 regiones del país. Donde el 74% del total se concentran en las regiones III y IV.

2 Origen y Propósito del Estudio

Para toda compañía minera metálica o no metálica, el hecho iniciar un proyecto significan riesgos tanto de tener resultados deficientes así como llegar a los beneficios esperados. Cuando el proyecto por alguna razón no evalúa todos los parámetros correctamente implica mucho más que sólo el fracaso de un grupo de profesionales vinculados al proyecto, es más bien el fracaso de toda la organización, que se traduce de manera importante en pérdidas financieras en las inversiones, y esto conlleva a pérdidas en las utilidades de toda la compañía, el desmoronamiento del valor bolsa, la credibilidad se pierde, como ha sido el reciente caso de Barrick Corporation por el proyecto de oro "Pascua Lama". Significa también una gran pérdida de oportunidades para las empresas, pues los recursos dejaron de usarse en alguna otra iniciativa, pierden la oportunidad de estar a la par con sus rivales en muchos aspectos y, además, la capacidad innovadora se ve mermada por la complicación de obtener recursos frescos.

La situación se complejiza aún más cuando la modernidad lleva de la mano la incorporación de regulaciones ambientales modernas, las comunidades ya no pasan por alto cualquier daño que se ocasione a su sector, el minimizar los impactos ambientales debe ser la prioridad en toda evaluación.

Al mismo tiempo, cuando en el pasado la compañía minera se ha visto afectada negativamente por algún caso de esos, las autoridades gubernamentales se ven renuentes a autorizar permisos y se ponen más restrictivas con las nuevas iniciativas, que al final significan mayores compromisos que a la larga son mayores inversiones.

Por tanto, aunque en algunos proyectos de depósitos de relaves espesados se tienda a pensar en similitudes o en réplicas de proyectos anteriores. Tratando de acortar el tiempo de la evaluación, se pueden pasar por alto temas importantes de las condiciones del entorno que pueden condicionar severamente a una compañía.

Los estudios de Impacto ambiental requieren en fechas anteriores al inicio del proyecto pensar 30, 50 o más años adelante. Prever clima, comportamientos de la población, hidrología, etc. Y todo se debe transformar a una evaluación económica tal que diga si hay un beneficio mayor a lo invertido comparado con otra opción que la organización pueda tener.

Este trabajo es replicable para el resto de la industria en el sentido de recopilar las mejores prácticas y estándares de la industria para las operaciones de depósitos de relaves espesados, permitiendo que las mejores tecnologías puedan ser incorporadas en el proyecto desde su génesis, mitigando cualquier pérdida de valor futuro del proyecto.

3 Objetivos

Para el desarrollo de este trabajo de tesina se ha considerado el siguiente objetivo general del que se desprenden 4 objetivos específicos.

3.1 Objetivo General

Analizar, identificar y dar a conocer mediante una evaluación financiera cómo la conceptualización de un proyecto de construcción y operación de un depósito de relaves espesados en su etapa de idea y durante su implementación impacta en la rentabilidad del proyecto minero y en suma a la compañía.

3.2 Objetivo Específico 1

Identificar y conocer las variables críticas económicas y financieras. Obtener una situación base. Esta servirá para evaluar desde un inicio los compromisos de capital futuro.

3.3 Objetivo Específico 2

Revisión y profundización de las tipos de depósitos de relaves, metodologías de construcción, tecnologías de operación, descripción general de las regulaciones nacionales e internacionales que fijan el diseño, y los requerimientos de inversionistas.

3.4 Objetivo Específico 3.

Generar un modelo de aplicación para evaluar financieramente las partidas críticas de construcción y operación del depósito, evaluar beneficios, individualizar mejores prácticas y declarar los impactos que las mejoras propuestas generarán en el costo de capital final para toda la vida útil del proyecto respecto a la situación base.

3.5 Objetivo Específico 4.

El estudio planteado será aplicado y se evaluará a las condiciones de operación y vida total del depósito de relaves de la compañía minera Sierra Gorda.

4 Alcance del Estudio

El alcance del presente estudio, está circunscrito a los proyectos mineros de depósitos de relaves espesados ubicados en Chile, aunque la metodología podría ser replicada a tranques de relaves, embalses o a obras masivas de ingeniería civil, enmarcados bajo la regulación chilena e internacional aplicable.

Para eso se analizarán los sistemas y metodología de construcción actuales, que se visualiza para el futuro, metodologías de distribución y transporte de relaves, sistemas y equipos asociados.

Se visualizará someramente la regulación ambiental vigente aplicable en Chile. De manera de ver el impacto económico en caso de no ser incluido en la evaluación temprana del proyecto. Indicar las tendencias internacionales para cambios de regulación y que podrían afectar al país. Lo que incluye la inclusión del valor económico del Plan del Cierre de la Mina, y su boleta de garantía.

Se demostrará que la temprana evaluación e incorporación de las variables críticas financieras, con el mayor desarrollo posible y con supuestos adecuados al desarrollo minero que se realizará y no una copia de otro proyecto, aunque pueda requerir modelos más complejos, permite a largo plazo mitigar los imprevistos que históricamente deben absorber económicamente las compañías.

Se revisará cómo una inversión inicial temprana mayor, por ejemplo en la etapa de construcción o las etapas iniciales de operación, puede al final de la vida útil ser un gran beneficio para la organización, y así mismo una mala decisión inicial arrastrarse hasta el final.

La presente tesina es primeramente del tipo descriptivo y luego correlacional, pues busca identificar las variables principales a correlacionar para evaluar en un proyecto de depósito de relave espesado, previo a la fase inversional, durante la construcción inicial y durante la operación. Ese continuo monitoreo, nos permite obtener una correlación positiva, es decir, las variables de evaluación se mueven en la misma dirección.

En la medida que se tiene una adecuada identificación y evaluación de las variables, aumenta el rendimiento de la empresa completa, evidenciándose en las utilidades. Por lo contrario, cuando no se han evaluado e identificado claramente las variables financieras del proyecto, disminuyen los beneficios de rentabilidad del proyecto.

5 Metodología del Trabajo

En este capítulo se señalan las fuentes de información a utilizar y la forma en que esta permitirá lograr los objetivos individualizados. Se menciona, además, la metodología que se va a aplicar para el desarrollo del trabajo. Finalmente, se indica el procedimiento a utilizar para llevar a cabo la investigación.

5.1 Tipo de Investigación.

El tipo de investigación presentado en esta Tesina considera una revisión y recopilación de antecedentes documentados en bibliografía técnica, anales de congresos de relaves, revisión de páginas web, además de consultas a variados profesionales de la industria. Se pretende utilizar dicha información, para generar una visión global de la tecnología actual de construcción y operación de depósitos de relaves, normativa vigente, la cual es muy importante para conceptualizar un desarrollo sustentable y completo de las variables económicas que deben ser evaluadas en todo proyecto.

5.2 Desarrollo de la Metodología.

Esta investigación requiere la indagación de información existente sobre el tema, modelos de operación y gobernanzas, ya que será necesario generar una situación base con variables económicas importantes y relevantes, es un diagnóstico inicial, según se definió en el objetivo específico primero.

Para el segundo objetivo, y el más extenso de este análisis, se refiere a la realización de una descripción somera de las metodologías constructivas más comunes aplicadas en Chile, indicación de las normativas y regulaciones de permisos que regulan las operaciones mineras a nivel nacional e internacional. Y finalmente, las perspectivas de la industria. Para lo cual se propone la revisión de casos, papers, bibliografía en general. Que finalmente, son muy importantes y afectan los métodos de análisis y resultados para los inversionistas, expectativa versus realidad.

Para el tercer objetivo específico, se va a desarrollar la propuesta del modelo de aplicación para evaluar financieramente las partidas críticas de construcción y operación del depósito, individualizar mejores prácticas y declarar impactos que deberían verificarse desde un inicio para minimizar los costos de capital final para toda la vida útil del proyecto, a través de tendencias y gráficos, agregación de valor, el cual se puede medir por un análisis FODA del proyecto, y sugerencias de KPI especialmente identificados y generados para el caso particular de análisis.

Y finalmente, lo anteriormente desarrollado se aplicará al proyecto del depósito de relaves de la compañía minera Sierra Gorda. Donde se destacará principalmente, como un correcto análisis de definición de las variables críticas financieras desde un inicio puede cambiar la historia de un proyecto.

La metodología de trabajo se puede resumir en el siguiente diagrama de bloques:

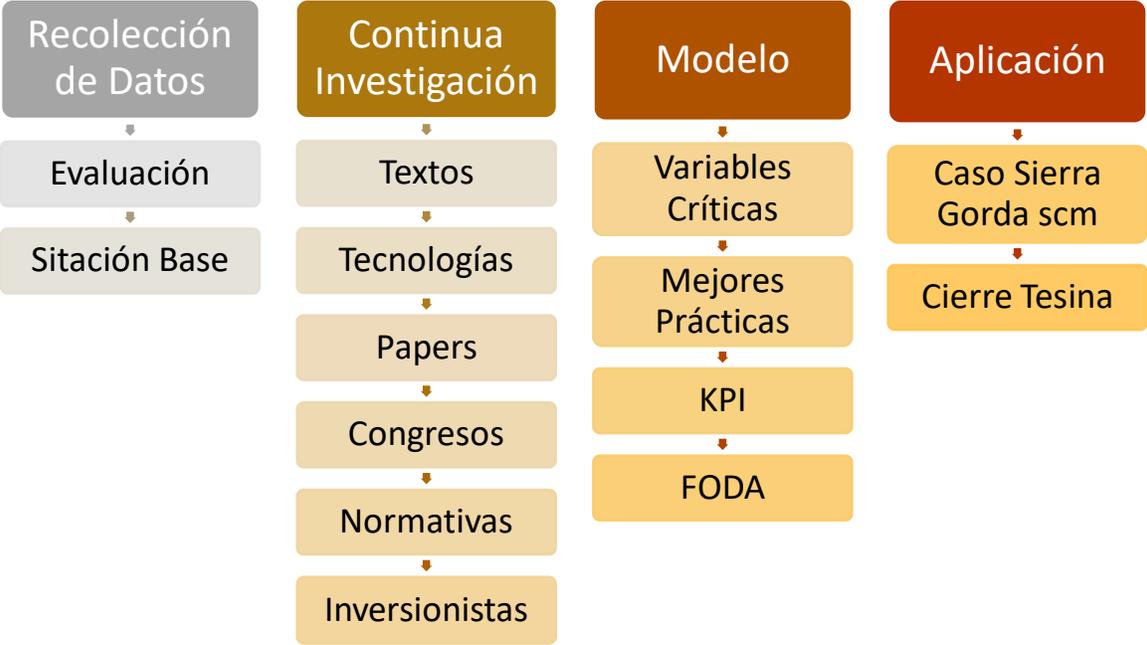


Ilustración 1. Modelo Bloques de Desarrollo

El desarrollo de la tesina se organizó en el tiempo de la siguiente manera:

Descripción Tarea	Semanas																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
	15-nov	22-nov	29-nov	06-dic	13-dic	20-dic	27-dic	03-ene	10-ene	17-ene	24-ene	31-ene	07-feb	14-feb	21-feb	28-feb	06-mar	13-mar	20-mar	
Revisión antecedentes	█	█																		
Cap. 1 Introducción			█	█	█															
Cap. 2 Origen y Propósito de estudio					█								█							
Cap. 3 Objetivo						█														
Cap. 4 Alcance del proyecto							█													
Cap. 5 Metodología del trabajo								█												
Cap. 6 Estado del Arte									█	█	█	█	█							
Cap. 7 Desarrollo													█	█	█	█	█	█	█	█
Cap. 8 Conclusiones																				█
Cap. 9 Bibliografía	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Cap. 10 Anexos			█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Compaginación y revisión final tesina																				█

6 Estado del Arte

Toda obra de depósitos de relaves está sometida a una serie de condicionantes tanto internos como externos, que influirán en la gestión económica exitosa del proyecto minero completo. Idea, desarrollo de perfil, básico y luego detalle, para su posterior construcción y operación, entre los primeros, podríamos citar como más destacados el marco legal y normativo y, entre los segundos, los compromisos contractuales adquiridos con la autoridad y comunidades cercanas, destacando entre ellos el plazo de ejecución, permisos ambientales, seguimiento operacional y los planes de cierre, estos últimos conllevan grandes sumas de dinero retenido a modo de garantías.

Las organizaciones, por tanto, deben contar con un sistema de evaluación y revisión de las condiciones impuestas a cada proyecto, de diferenciar las variables críticas, de manera de tomar decisiones completas y entender como estas decisiones comprometen costos de capital futuro.

El desarrollo económico y social de Chile está directamente relacionado con la minería, siendo ésta una de las principales actividades productivas del país. Según cifras del Consejo Minero, en el año 2018 la minería contribuyó en un 10,1% al Producto Interno Bruto (PIB) de Chile (Consejo Minero, 2020). En este contexto, no se puede dejar de considerar el hecho de que esta actividad lleva asociada un legado intrínseco: la generación de desechos o residuos mineros, entre los cuales se encuentran los depósitos de relaves y un subnivel de ellos es el depósito de relaves espesados.

Según el último catastro publicado por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), en Chile hay un total de 742 depósitos, subdivididos en tranques (603), embalses (117), filtrados (11), espesados (5), en pasta (4), dreim (1) y pretilos (1) (Sernageomin, 2019), repartidos en 10 de las 16 regiones del país. De los cuales solo 106 de ellos se encuentran en fase de activos o en construcción. Estas cifras sitúan al país como el tercero con más depósitos de relaves en el mundo, después de China y Estados Unidos.

6.1 Antecedentes del Estado del Arte

Los depósitos de relaves en operación son instalaciones dinámicas, ya que crecen en extensión, volumen y/o altura a lo largo del tiempo¹; remanentes, ya que permanecen tras el cese de la actividad; y, además, se encuentran expuestos continuamente a diversas situaciones operacionales y/o naturales que pueden llegar a comprometer su estabilidad. Todos estos aspectos deben ser considerados desde la etapa de diseño, durante la operación y, por supuesto, en las etapas de

¹ Se estima que la producción de relaves en Chile podría duplicarse al año 2035. Roadmap Tecnológico 2015-2035.

cierre y post-cierre del depósito. Asimismo, se enfrentan frecuentemente a la controversia social, debido a la preocupación por la cercanía de los depósitos de relaves a los centros poblados, los potenciales impactos sobre el agua del entorno, el uso de territorios con significancia patrimonial y cultural o las emisiones de material particulado, entre otros.

A nivel internacional, el registro de incidentes con resultados catastróficos ocurridos en los últimos años en países como Canadá, Estados Unidos, Brasil, China, México y Chile (donde tras el terremoto registrado en el año 2010 se produjo el colapso del tranque de relaves Las Palmas, en la Región del Maule), han gatillado una revisión exhaustiva en torno a los depósitos de relaves y su gestión, tanto a nivel gubernamental como empresarial, que busca asegurar la estabilidad y continuidad de estas construcciones a través de, por ejemplo, cambios en los diseños, en las regulaciones y en las gobernanzas internas de las compañías.

Recientemente (septiembre de 2018) el Ministerio de Minería dio a conocer la Política Nacional de Relaves que busca abordar, de manera integral, a todos los depósitos de relaves, tanto activos, inactivos como abandonados.

Por su parte, organismos internacionales como el Mining Association of Canada (MAC) o el International Council for Mining and Metals (ICMM) cuentan con declaraciones de posiciones e intenciones precisas en la gestión de los depósitos de relaves que las compañías mineras a nivel internacional y nacional ratifican. Estos y otros organismos publican y actualizan diferentes guías y documentos que se han constituido en herramientas robustas y son comúnmente utilizadas como referencia en la gestión de los depósitos de relaves.

Finalmente, cuando una operación minera cierra, el depósito de relaves permanece y queda ahí para siempre. Y por tanto, las compañías son las responsables ante la autoridad que nada ocurra posterior a su cierre.

Los inversionistas y las compañías también están expuestos a juicio internacional producto de alguna falla, las demandas son millonarias y la pérdida de reputación y baja en el valor de las acciones hacen, que en todo momento haya preocupación por los depósitos de relaves.

6.1.1 Análisis de Variables del Modelo Conceptual.

Todos los aspectos anteriormente mencionados demuestran que, en la actualidad, la gestión de los depósitos de relaves tanto espesados como en general, es una preocupación de gran relevancia para la sociedad actual. Las compañías mineras deben hacer frente no sólo a los retos de carácter técnico relacionados con el diseño, construcción, operación, cierre y post-cierre de sus depósitos, sino también a aquellos manifestados desde el entorno, para lo cual es necesario instaurar como práctica habitual el desarrollo de modelos de gestión integral que consideren todos los aspectos necesarios para asegurar el buen desempeño de estas instalaciones.

Una mirada holística que incluya los aspectos técnicos, rentabilidad financiera, social y ambiental.

Lo que se quiere lograr, por tanto, es optimizar el beneficio económico.

Podemos entonces enunciar un modelo general para la Gestión de Depósitos de Relaves Espesados en el siguiente modelo de bloques.



Ilustración 2. Modelo Económico General

No obstante, es bien sabido que no todos los elementos tienen el mismo efecto en la rentabilidad económica, por lo que es necesario al inicio de un proyecto minero en que se va a considerar la operación de un depósito de relaves espesado o cualquier otro construir el modelo y realizar un proceso de discriminación, evaluación, monetización y jerarquización de los parámetros tal que se descubran las variables financieras principales y reducir las críticas.

Mayor esclarecimiento del procedimiento descrito se dará al aplicarlo a una mina, donde se ve que en el caso de la Mina Sierra Gorda el Modelo inicial no fue bien evaluado con grandes desmedros financieros a largo plazo, y se requirió grandes esfuerzos posteriores para mejorar la situación financiera comprometida.

6.1.2 Conclusiones del Capítulo - Antecedentes del Estado del Arte

Como se ha revisado en este capítulo cualquier evaluación económica de un proyecto de depósito de relaves espesados tiene que considerar 4 campos, técnicos, financieros, sociales y ambientales, y sólo 2 de ellos se pueden monetizar fácilmente.

Queda, por tanto, valorar cuáles de ellos son los más importantes de manera que sí o sí deben ser incluidos en el modelo con el mayor detalle posible, cuales se pueden omitir y cuales deben se pueden simplificar.

6.2 Marco Teórico del Estado del Arte

En este capítulo se hará una descripción somera de cada una de las principales variables indicadas en el modelo general.

6.2.1 Revisión Aspectos Técnicos.

Los depósitos de relaves se forman para acopiar los residuos mineros finos dentro de un sitio seleccionado y para mantenerlos estables y sin causar efectos negativos al ambiente.

El diseño, la construcción, la operación y el cierre de un depósito se ejecutan para asegurar su estabilidad en todos los aspectos estructurales, hidráulicos, químicos y ambientales, durante toda su existencia, y en todos los escenarios previsibles de cargas y solicitaciones

Regulaciones

Solo México y Chile cuentan con una Ley que regula específicamente las distintas fases de los depósitos de relaves.

En la actualidad, son varias las normativas que se deben cumplir para poder desarrollar un proyecto de construcción, operación y cierre de depósitos de relaves. Estas normativas se constituyen como el marco legal para operadores y, en general, para todos los involucrados en la gestión de los depósitos de relaves. Se destacan las siguientes normativas:

- **D.S. 86.** Reglamento de construcción y operación de tranques de relaves. Ministerio de Minería 1970.
- **Ley 19.300.** Aprueba Ley sobre bases Generales del Medio Ambiente. Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 1994.
- **D.S. 132.** Aprueba Reglamento de seguridad minera. Ministerio de Minería, 2004.
- **D.S. 248** Modifica el D.S. 86 Reglamento para la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves, Ministerio de Minería, 2007.

- **Ley 20.417.** Modifica la Ley 19.300 y crea el Ministerio del Medio Ambiente, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente. Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 2010.
- **Ley 20.551.** Ley que Regula el Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras. Ministerio de Minería, 2011.
- **D.S. 41.** Aprueba Reglamento de la Ley de Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras. Ministerio de Minería, 2012.
- **Ley 20.819.** Modifica la Ley 20.551 que Regula el Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras e introduce otras modificaciones legales. Ministerio de Minería, 2015.
- **D.S. 50.** Aprueba el reglamento a que se refiere el Artículo 295 Inciso 2°, del Código de Aguas, estableciendo las condiciones técnicas que deberán cumplirse en el proyecto, construcción y operación de las obras hidráulicas identificadas en el Artículo 294 del referido texto legal. Ministerio de Obras Públicas, 2015.
- **D.S. 40.** Aprueba Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Última modificación Ley 20.920, Ministerio del Medio Ambiente, 2016.
- **Código de Aguas.** Decreto con Fuerza de Ley 1122. Fija el texto del Código de Aguas. Ministerios de Justicia, 1981. Última modificación Ley 21.064, Ministerio de Obras Públicas, 2018.

De todas, el **D.S. 248** fija los criterios para el diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves. Todos los nuevos proyectos, independientemente del tipo, del ritmo de crecimiento, de las dimensiones o de su ubicación, requieren de la aprobación previa a su construcción y operación. Este decreto también rige a todas las modificaciones que se consideren realizar en proyectos ya aprobados.

Del mismo modo, se deben tener en consideración otras disposiciones vigentes, las cuales incluyen:

- **Aprobación del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA)** de la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) o del Estudio de Impacto Ambiental (EIA).
- **Permiso Ambiental Sectorial Mixto PAS 135** que aprueba el SERNAGEOMIN para la construcción y operación de los depósitos de relaves (Artículo 135, D.S. 40), donde se especifican los contenidos técnicos y formales que deben presentarse para acreditar su cumplimiento.
- **Plan de Cierre aprobado** por el SERNAGEOMIN. En este caso, la Ley 20.551 a través del D.S. 41, regula el cierre de faenas e instalaciones mineras, obligando a las compañías mineras a mitigar los efectos de su desarrollo, asegurando la estabilidad física y química mediante un conjunto de medidas y acciones comprometidas en los planes de cierre.

De manera esquemática la legislación chilena se puede agrupar como lo indica la Ilustración 3. Resumen de Regulaciones Nacionales y su interdependencia.

A nivel internacional la gestión los depósitos de relaves ha ido cambiando en el tiempo. Fuertemente influenciados e impulsados por los desastres acontecidos en distintos países en los depósitos de relaves, los esfuerzos actualmente se enfocan en re-evaluar y optimizar la gestión enfatizando en aspectos relacionados con el monitoreo geotécnico y contención de potenciales contaminantes a través de la gestión del riesgo, la gestión a lo largo de todo el ciclo de vida del depósito o la utilización de las mejores prácticas, entre otros.

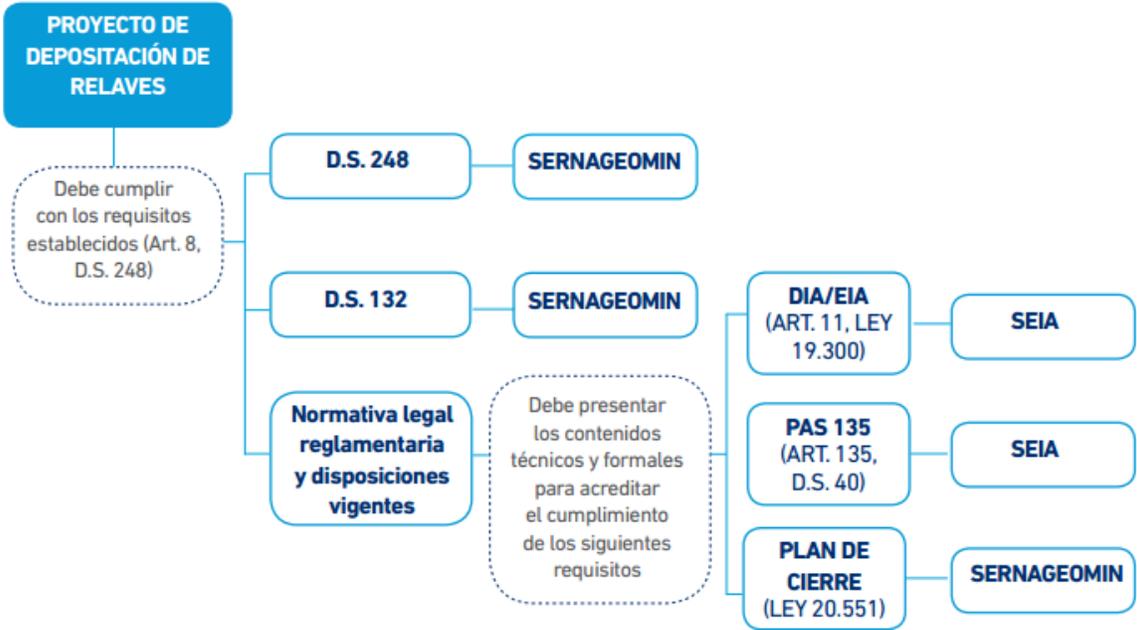


Ilustración 3. Resumen de Regulaciones Nacionales y su interdependencia.

Agrupaciones gremiales relacionadas con la gestión de grandes represas como ANCOLD (Australia), ICOLD (Europa) o CDA (Canadá), y aquellas agrupaciones mineras como el ICMM (Internacional) o MAC (Canadá), publican regularmente documentos de buenas prácticas, guías o manuales, donde se establecen lineamientos y prácticas sobre la gestión de los depósitos de relaves.

Estas instituciones y otras iniciativas específicas acaban siendo referentes para la gestión de las compañías mineras y autoridades, finalmente, se instauran como herramientas a seguir, llegando incluso a ser estándares o buenas prácticas corporativas, acatadas internamente en forma voluntaria por las propias compañías mineras, o, como en el caso de Chile, estos avances son incorporados en la legislación.

Diseño.

Cada depósito de relaves comienza su etapa de diseño con un desarrollo basado en 6 etapas elementales:

1. Elección del sitio.
2. Exploración geológica e hidrogeológica extensa
3. Diseño
4. Construcción
5. Operación
6. Evaluación del proyecto.

1. La elección de un sitio adecuado es elemental y de la mayor relevancia, ya que en base a esta selección, se amarran varias otras de las variables de evaluación, fija la evaluación del entorno, limita la exploración, restringe algunas metodologías constructivas, y sobre todo todavía, como todavía no hay proyecto, los capitales disponibles son reducidos, luego una buena elección desde un inicio puede marcar la diferencia.
2. Esta etapa, permite obtener los parámetros básicos de diseño y evaluar el impacto ambiental, dependiendo de los resultados una vez más generaremos algunas restricciones, como es la metodología constructiva.
3. Un primer análisis considerará los datos previos más el desarrollo del plan minero para evaluar un desarrollo capaz de contener el total de relaves que el proyecto minero necesita, total o parcialmente. Dentro de las consideraciones importantes, está la metodología de transporte y distribución de los relaves, la recuperación de aguas que se acumulen en el depósito y las tecnologías de monitoreo.
4. En esta etapa, se elige una metodología constructiva, acorde al diseño y gran parte de los compromisos de capital que el depósito en toda su vida útil requerirá.
5. Se elige también una metodología operacional y cierre, cuántos recursos se requerirán para operar y mantener en funcionamiento las instalaciones, (equipos, personal, una estructura de gobernanza)
6. Se evalúa y se repite el proceso, de manera de mejorar y bajar los compromisos de capital futuro

Gráficamente el ciclo se resume en la Ilustración 4. Flujo de Diseño

Como marco global está la regulación del país, internacional y corporativa. En algunos casos esta última puede ser mucho más relevante en la evaluación que las anteriores.

Se inicia así, el trámite gubernamental de evaluación de impacto ambiental y todo lo que eso puede significar, modificar el proyecto, asumir ciertos compromisos y compensaciones con las autoridades, accionistas, inversionistas y la compañía por el impacto que el depósito de relaves puede ocasionar al medio ambiente.

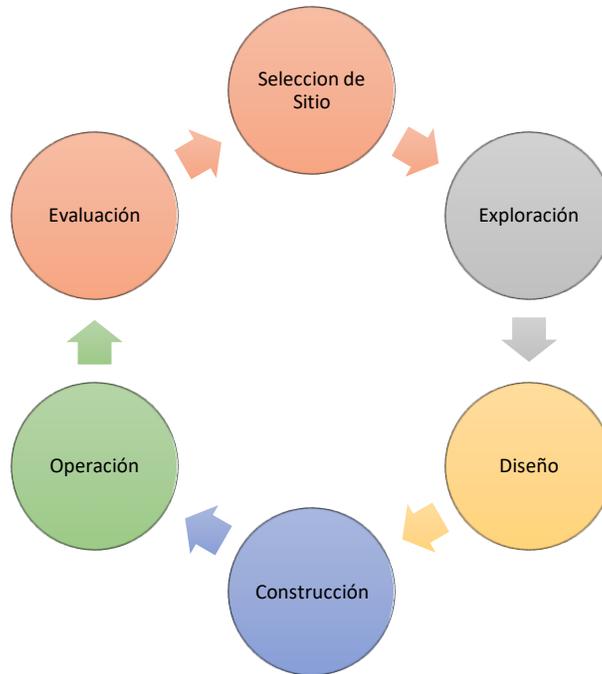


Ilustración 4. Flujo de Diseño

Metodología Constructiva.

La metodología está compuesta de varias aristas, esto producto que los depósitos de relaves crecen continuamente, y están hechos para durar hasta mucho después del cierre de faena. Dentro de los temas a considerar son los materiales, tecnología de distribución y morfología del crecimiento.

1. Materiales, existen varias materialidades para conformar los muros de contención, materiales clasificados –los mismos relaves cicloneados (Ilustración 10. Distribución de Relaves mediante ciclones) de manera de separar la parte más gruesa, arenas, y con estas construir los muros, materiales de empréstito (Ilustración 8. Embalse de material de Empréstito), material lastre minero (Ilustración 9. Embalse de Material lastre minero) –.
2. Tecnología, se refiere a la forma de construir, clasificar materiales, camiones comunes o de alto tonelaje, recubrimiento interior de los muros, uso y manejo de la distribución del relave (mayor detalle se verá en el punto operación), etc.
3. Morfología, tipo de crecimiento aguas arriba, eje central o aguas abajo, se ilustra en las Ilustración 5. Crecimiento Aguas Arriba, Ilustración 6. Crecimiento eje Central e Ilustración 7. Crecimiento Aguas Abajo.

Muro crece con diques de peralte parcialmente fundados sobre playa de lamas. (no autorizado en Chile)

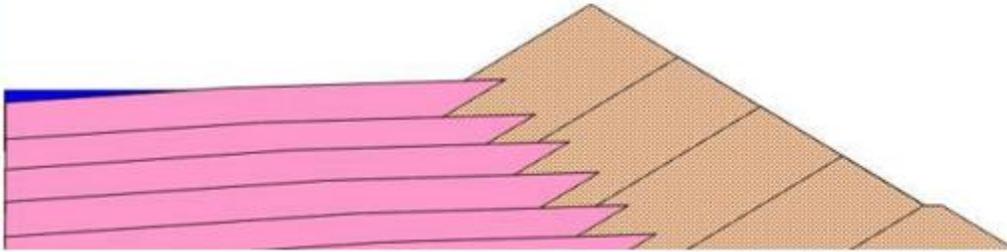


Ilustración 5. Crecimiento Aguas Arriba

Espaldón de aguas abajo del Muro crece peraltando el coronamiento sin variar el plano vertical del eje central;

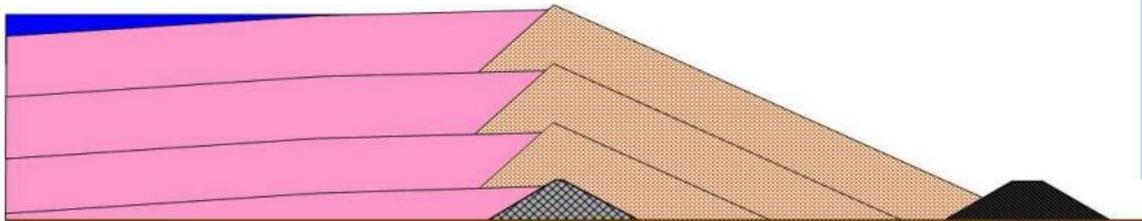


Ilustración 6. Crecimiento eje Central

Muro crece avanzando hacia aguas abajo mientras el coronamiento se peralta y se desplaza en traslación paralela

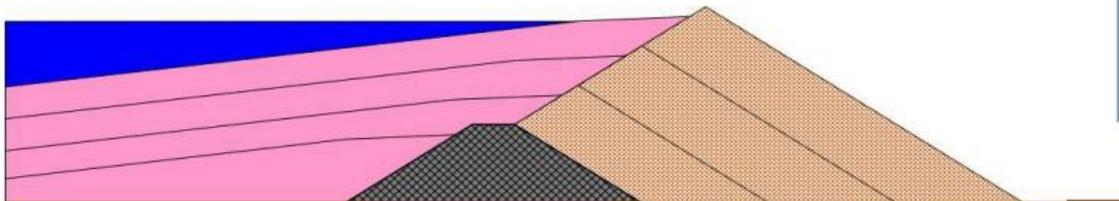


Ilustración 7. Crecimiento Aguas Abajo



Ilustración 8. Embalse de material de Empréstito



Ilustración 9. Embalse de Material lastre minero

Etapa de Operación.

Aquí se refiere a la gobernanza de la gestión del depósito, el personal requerido, maquinarias, etc. Este tema es muy relevante ya que habla del tamaño de la organización que se requerirá para darle continuidad a la operación y mantener el depósito preparado para recibir los relaves al término del proceso minero.

Relevante es el sistema de distribución de relaves, existen varias metodologías, desde las más sencillas, como una simple descarga por medio de canaletas o tuberías (Ilustración 12. Descarga de Relaves Singular), otras ya más complejas que requieren equipos trabajando permanentemente, como la distribución usando líneas de ciclones (Ilustración 10. Distribución de Relaves mediante ciclones), pero también hay algunas de nivel intermedio que requieren el uso más extensivo de personal humano, como es el uso de sistemas de distribución discreta, dividir la descarga en varias descargas independientes (Ilustración 11. Distribución de Relaves de descargas Discretas).



Ilustración 10. Distribución de Relaves mediante ciclones

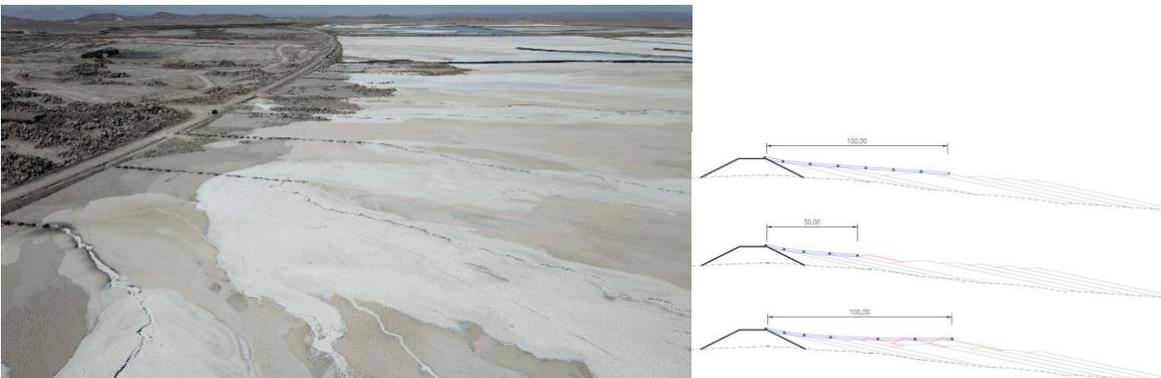


Ilustración 11. Distribución de Relaves de descargas Discretas



Ilustración 12. Descarga de Relaves Singular

Etapas de Cierre y Post Cierre.

Algo se ha comentado de esto, en la sección de regulación, no obstante, lo relevante aquí es que financieramente significa para cualquier compañía, la generación y mantención de boletas de garantía, que sean equivalentes al costo monetario de cerrar la operación y dejar mitigado los impactos por operar, el desarme completo de la planta de proceso y cubrimiento o demolición de las obras de hormigón. Y en algunos casos estas boletas pueden ser sumas de dinero bastante elevadas, de cientos de millones de dólares.

6.2.2 Revisión Aspectos Financieros.

Cualquier proyecto de depósito de relaves lleva asociado una operación minera, al inicio de la operación se requiere una fuerte inversión de capital, y velando por la rentabilidad de la empresa siempre conviene tener un cierto nivel de endeudamiento. Sin embargo, producto de los riesgos asociados a un depósito de relaves y a los montos involucrados, solicitar financiamiento significa ir tras los grandes fondos de inversión, bancos de alto nivel y corporaciones.

Estas, no obstante, en el último tiempo han empezado a tomar grandes medidas de seguridad, solicitando proyectos más robustos, demostración de control operacional, demostrar que los riesgos están controlados. Grandes aseguradoras, también aparecen al ruedo, ya que no hay inversión, sin que la compañía propietaria no tenga una aseguradora que pueda pagar y compensar el riesgo que corre esta fuerte inversión, ante alguna falla. La manera en como los bancos o grandes inversionistas se aseguran, es obligar al propietario a preparar la documentación para evaluación de acuerdo a alguna norma o estándar técnico como por ejemplo NI 43-101 (British Columbia Securities Commission, 2016), que es el instrumento nacional para las Normas de Divulgación de Proyectos Mineros que son propiedad

o que son explorados por empresas que informan estos resultados en los mercados de valores de Canadá.

Por ejemplo, la sociedad de inversiones The Church of England (the church of england, 2020), hace que todos los años las compañías llenen fichas con el control operacional y auto gestión de los riesgos. Revisión de terceros, comités expertos asesores, algún evento relevante, etc.

6.2.3 Revisión Aspectos Sociales.

Este aspecto está muy relacionado con los temas ambientales y financieros, ya que es justamente por el poder que las comunidades y organismos ONGs ejercen a través de las autoridades que un proyecto de depósito de relave en su evaluación, puede quedar subdimensionado, y hacer que los indicadores financieros queden negativos.

Otro punto a tener en cuenta es que un incumplimiento o la pérdida de confianza de la comunidad puede llevar al cierre de una operación con las pérdidas económicas de valor de la acción, perdidas por no producción, etc.

Una comunidad en desacuerdo con un proyecto puede bloquear la ejecución, como el caso de Pascua Lama. Las ONGs también afectan, ya que con su poder a nivel internacional, pueden hacer caer la reputación de la compañía, pueden también indicar a inversionistas que dejen de apoyar, o algún inversionista interesado al ver que hay ONGs en oposición, podría cambiar de opinión y buscar alguna otra opción.

Organizaciones No Gubernamentales, como es el caso del Consejo Minero (Consejo Minero, 2020), que se relacionan estrechamente con la autoridad también tienen un exhaustivo control o mirada en todo a lo que se refiera a depósitos de relaves.

Ciertamente, es muy necesario en el modelo de evaluación considerar los aspectos de las comunidades.

6.2.4 Revisión Aspectos Ambientales.

Este apartado se refiere a la revisión de todos los impactos al medio ambiente que un depósito de relaves puede ocasionar, y las mitigaciones que la compañía debe realizar y asumir bajo los compromisos adquiridos durante la evaluación de impacto ambiental.

Normalmente estos compromisos están asociados al control de las aguas superficiales y subterráneas, el no impacto negativo en ellas, el control de la calidad del aire, la no saturación de partículas de polvo, la afectación en el patrimonio, ¿existió en la zona a inundar algún aspecto histórico que se requiera conservar? Y la flora y fauna nativa.

SEA es el nombre del organismo que se hace cargo de evaluar los impactos, y la SMA y la que hace seguimiento. Cualquier falta puede significar altas multas y la paralización de la faena. Incluso la revocación del permiso a operar.

Los procesos sancionatorios pueden ser largos y onerosos por lo que considerar todos los aspectos importantes en el modelo de evaluación del proyecto desde un inicio mitiga muchas sorpresas a futuro.

6.2.5 Conclusiones del Capítulo - Marco Teórico del Estado del Arte

En este capítulo se ha hecho una revisión somera de diferentes tipos de depósito de relaves espesados, sus metodologías de construcción, tecnologías de operación, descripción general de las regulaciones nacionales e internacionales que fijan el diseño, y los requerimientos de inversionistas y autoridades.

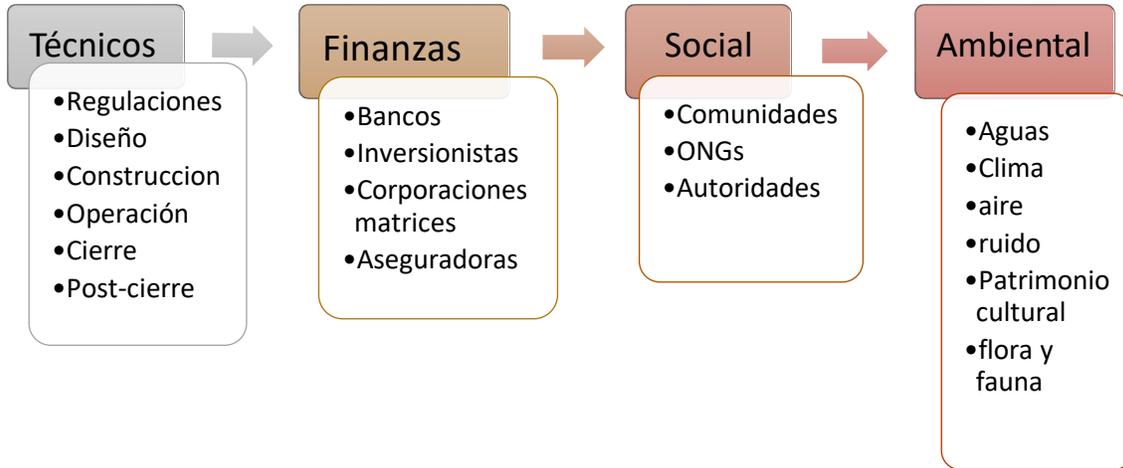
Los cuales para cada proyecto deben ser evaluados individualmente con supuestos correctos, de manera que la compañía desarrolladora no se vea comprometida financieramente, hay mucho donde elegir, pero sólo uno de cada uno es lo óptimo.

7 Desarrollo

Como se ha visto en el Capítulo 6, en la evaluación económica de un proyecto de depósito de relave, hay varios y muy diversos aspectos que se deben considerar. Y no todas las variables son monetarias, como por ejemplo las sociales y ambientales.

No obstante, se requiere poder llevar todo a una valorización del tipo financiera y generar un modelo sencillo, tal que todos los elementos principales sean considerados, de especial relevancia es realizar lo indicado en el Capítulo Antecedentes del Estado del Arte y en el Capítulo Marco Teórico del Estado del Arte, que son los declarados como Objetivo Específico 1 y Objetivo Específico 2 respectivamente, encontrar las variables económicas financieras y de acuerdo a la situación particular usar las óptimas tecnologías.

Por lo que el modelo que se propone, requiere trabajar con mucha cercanía con las áreas técnicas y financieras de la compañía y del proyecto, que son los elementos más fáciles de llevar a un valor monetario. Junto al área de relaciones comunitarias y de sustentabilidad de la compañía, valorar un costo monetario, para las variables Social y Ambiental, generar un costo de oportunidad por un impacto no deseado. Dejar al final el costo financiero. Este orden de monetización es distinto al modelo indicado en la Ilustración 2. Modelo Económico General, copiado a continuación. Se basa en la experiencia del autor de este documento.



Es importante recordar, que la operación de un depósito de relaves, no tiene retornos para la compañía, al contrario es un gasto permanente, por lo que el indicador principal de la evaluación es el menor valor de capital necesario a toda la vida útil del depósito.

En la Tabla 1. Modelo evaluación, se muestra la propuesta de modelo, la cual debe de acuerdo a la práctica minera, declarar en detalle las actividades de los próximos 5 años, (Plan quinquenal), y luego se puede hacer grupos de acuerdo a la conveniencia de la compañía y el evaluador, considerando todo la vida de la mina (LOM), ciertamente los planes de largo plazo siempre tienen una mayor incertidumbre. Otro dato importante, es definir la moneda que se usará para la evaluación y que la base de precios sea única. La tabla aunque se ve sencilla, no lo es, la apertura de las secciones puede llegar a ser tan grande y complicada como quien la genere quiera, por lo que siempre, es necesario evaluar las variables principales o las que más pesan en la evaluación, y detallar al máximo esas y simplificar las otras. En un proceso iterativo, ir ajustando las partidas y los supuestos de manera que la evaluación sea lo más apegada a la realidad futura.

Cómo se ha indicado, una complicación importante, es evaluar económicamente y financieramente el costo asociado a las comunidades y compromisos ambientales, un consejo es verificar los estudios de impacto ambiental de proyectos similares, un error sería pensar que esos serán, deben siempre considerarse como una orientación.

Tabla 1. Modelo evaluación

DEPOSITO DE RELAVES		valor dólar	660	750	750	700	700	700	700	700
MASTER PLAN TSF LOM		Año	Año	Año	Año	Año	2024	2028	2031	
		1	2	3	4	5	6 al 10	11 al 13	14 al 20	
1	CONSTRUCCION - MUROS									
2	CARGOS ASOCIADOS A MUROS									
3	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE RELAVES									
4	BARRERA HIDRAULICA									
5	SISTEMAS DE RECUPERACION DE AGUAS									
6	COMPROMISOS AMBIENTALES									
7	DESARROLLO NUEVAS OBRAS DE APOYO									
8	COMPROMISOS COMUNITARIOS									
9	LABOR & OTROS									
TOTAL BUDGET ANUAL										-
TOTAL ACUMULADO										-
TOTAL LOM										-

7.1 KPI propuestos

Del modelo se pueden obtener los KPI a evaluar:

KPI₁ = minimizar VAN

KPI₂ = minimizar (suma del Capex LOM)

Para el periodo de operación se pueden agregar los siguientes:

KPI₃ = $\frac{\text{Capex del periodo propuesto}}{\text{Capex del periodo real}}$

Esto con el fin de ir contrastando la efectividad del modelo generado con la situación real, para permitir ajustar las tendencias futuras y enriquecer un nuevo modelo de un nuevo proyecto.

7.2 Metodología de Evaluación, Construcción y Revisión del Modelo

Para poblar el modelo con todas las cifras financieras, se propone la metodología descrita en esta sección. ¿Se pretende evaluar un depósito existente o uno nuevo? ¿Cuál es el objetivo de la evaluación? Optimizar un depósito existente, evaluar nuevas tecnologías, algún cambio de legislación, etc.

Cada proyecto es en sí mismo distinto a cualquier otro, siempre hay condiciones particulares que lo hacen singular con respecto a otros depósitos existentes, no obstante, siempre se puede hacer un benchmarking para buscar las mejores opciones disponibles del mercado para generar una situación base, la Ilustración 13. Metodología de Evaluación Modelo, describe el paso a paso para la construcción del modelo



Ilustración 13. Metodología de Evaluación Modelo

A continuación se hace una descripción en narrativa de los pasos indicados,

1. Elegir una metodología de construcción, camiones comunes o de alto tonelaje, una combinación, etc.
2. Elegir una materialidad para el depósito, que materiales se usarán para construir, relaves cicloneados, empréstito, lastre mina, una combinación de estos, etc.
3. Elegir una metodología de distribución de relaves, simples, o complejas, no siempre la metodología simple es la más conveniente económicamente cuando se considera el largo plazo.
4. Elegir un sistema de recolección de aguas, (los relaves espesados, tienen un porcentaje agua que queda retenido y otro que queda en la superficie el cual se debe recolectar y otro que podría infiltrarse).
5. Elegir metodologías de mitigación de impacto ambiental, control de polución, barreras hidráulicas, ahuyentadores de avifauna, etc.
6. Revisar que todo lo propuesto sea suficiente para toda la vida útil o será necesario implementar nuevas obras durante la fase de operación. Esto para poner el equivalente monetario en el tiempo correcto.
7. Elegir un esquema de gobernanza tal que se estimen los Opex del depósito. ¿Cuántas personas y cómo se operará el depósito?
8. Revisar los resultados, ¿hay consistencia en los supuestos?, ¿están consideradas todas las actividades?, ¿están considerados todos los grupos de interés? Realizar un análisis FODA del modelo.
9. Evaluar cuales son los elementos de mayor impacto en la evaluación y mejorarlos (optimizar).

10. Después de la mejora, revisar nuevamente cuales son los elementos de mayor impacto.
11. ¿Son los supuestos los óptimos?

Los Pasos 8 al 11 se deben usar en una evaluación nueva, son para reforzar la idea de que siempre se debe revisar, y sobre todo el mejor momento de cualquier evaluación de un proyecto de depósito de relaves es cuando aún no entra en operación.

En la siguiente sección se dará uso al modelo, aplicado al caso del Depósito de Relaves de Minera Sierra Gorda SCM, correspondiente al Objetivo Específico 4.

7.2.1 Conclusiones del Capítulo - Modelo Teórico

Se ha desarrollado en este capítulo las bases de un modelo de aplicación para evaluar financieramente las partidas críticas de construcción y operación de un depósito de relaves espesados, evaluar beneficios y comparar resultados, individualizar mejores prácticas y declarar los impactos que estas generarán en el costo de capital final para toda la vida útil del proyecto.

7.3 Aplicación del modelo Caso de Minera Sierra Gorda SCM.

Para el caso particular de la minera Sierra Gorda SCM, el modelo se ocupó para obtener una situación base para el gasto de capital requerido para operar el resto de la vida útil de la minera evaluado al tercer año de operación, los gastos de construcción y operación ya incurridos son considerados como gasto hundido, porque ya ocurrieron. Se usó para el modelo de evaluación el proyecto original, con el objetivo de optimizar las condiciones de diseño inicial, en busca de una mejor operación y bajar los compromisos de capital futuros.



Ilustración 14. Vista Satelital de Minera Sierra Gorda SCM



Ilustración 15. Depósito de Relaves

7.3.1 Construcción Situación Base.

Para la construcción de la situación base se resumirán las condiciones de evaluación de acuerdo a los 11 pasos definidos anteriormente. Para luego llevarlos a la planilla de evaluación.

1. Construcción con camiones de bajo tonelaje, y normales, para el caso de los muros iniciales y durante toda la vida útil.
2. Definición de realización de muros de 3 secciones, (cuerpo principal, 2 materiales de transición y recubrimiento de los muros en cara interior con geomembranas de HDPE). Para el cuerpo del muro y materiales de transición se utiliza materiales de empréstito o lastre minero de especiales características, y clasificados en diferentes distribuciones granulométricas para construcción de todas las secciones de muro. Todos los muros se recubrirán con geomembranas de HDPE de 2mm y un geotextil de protección. (Ilustración 16. Esquema Genérico Diseño Muro

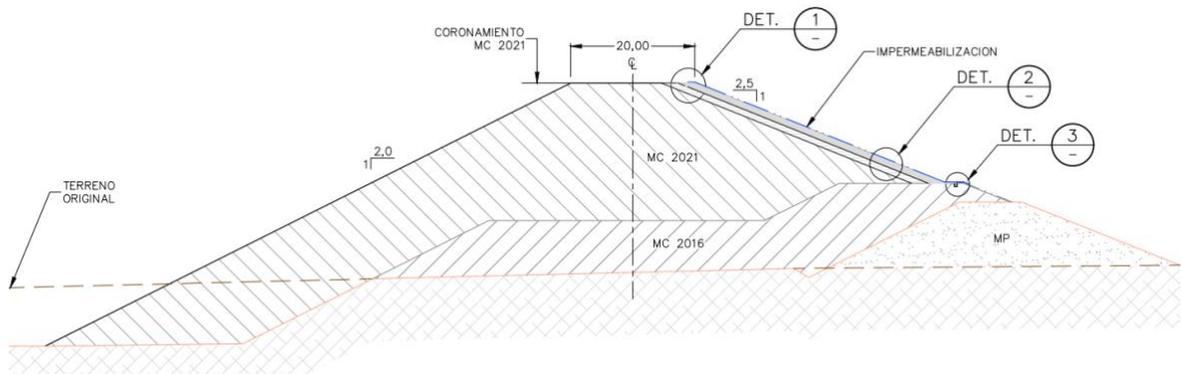
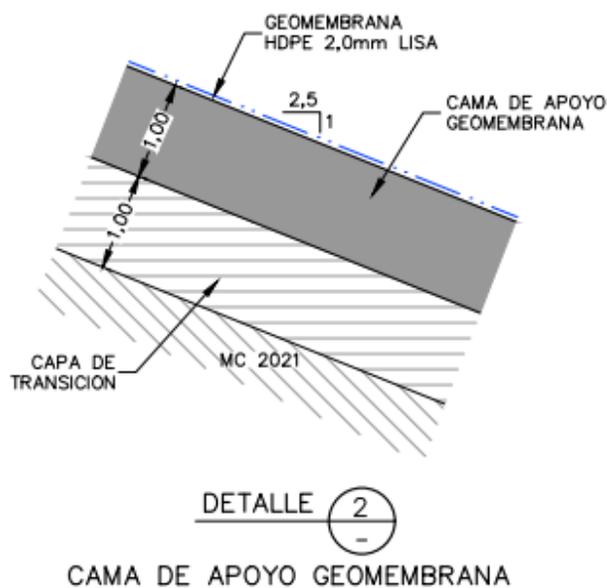


Ilustración 16. Esquema Genérico Diseño Muro



3. Distribución de relaves a través de una línea de descarga directa.

Con estos tres datos se realiza un modelo conceptual de llenado del depósito (Ilustración 17. Plan de Llenado depósito) y un esquema muros en el tiempo (Ilustración 18. Esquema de Crecimiento de Muros), de manera de conocer la altura total de los muros (Ilustración 19. Detalla de altura de muros por sección), y a consecuencia de, los volúmenes necesarios de materiales que se requerirán en el tiempo (Tabla 2. Ejemplo de Cubicaciones en el tiempo).

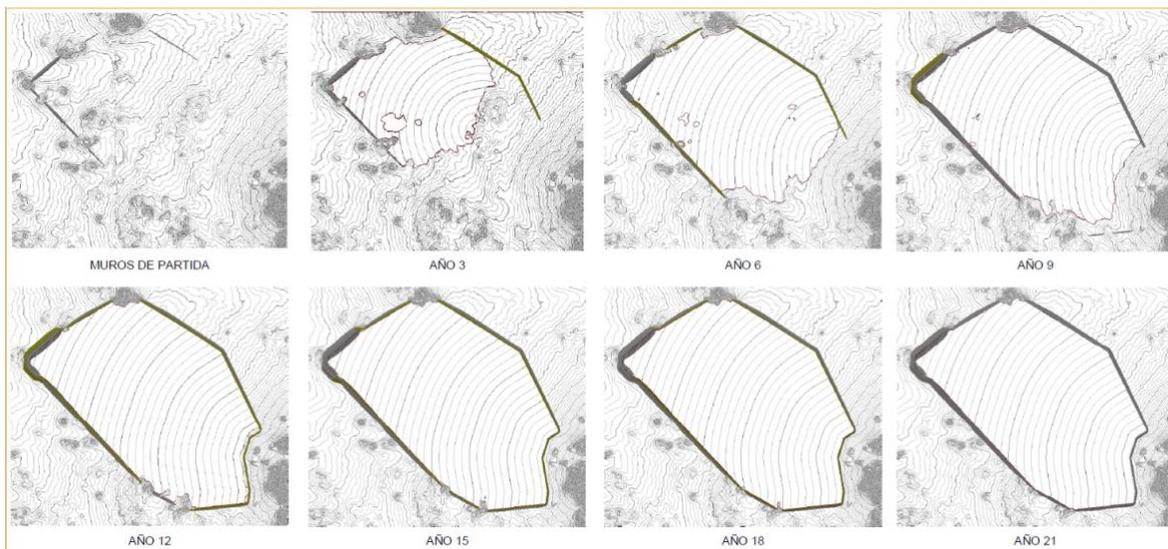


Ilustración 17. Plan de Llenado depósito

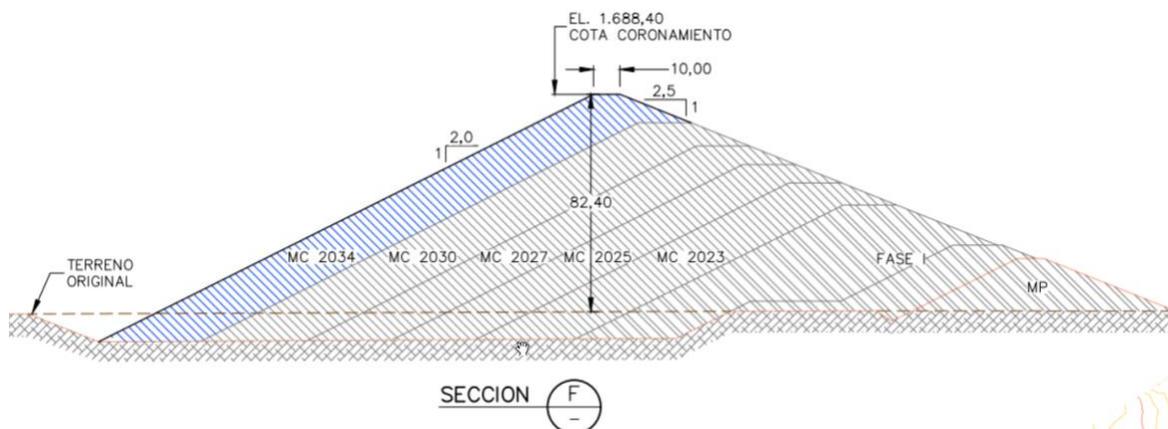


Ilustración 18. Esquema de Crecimiento de Muros

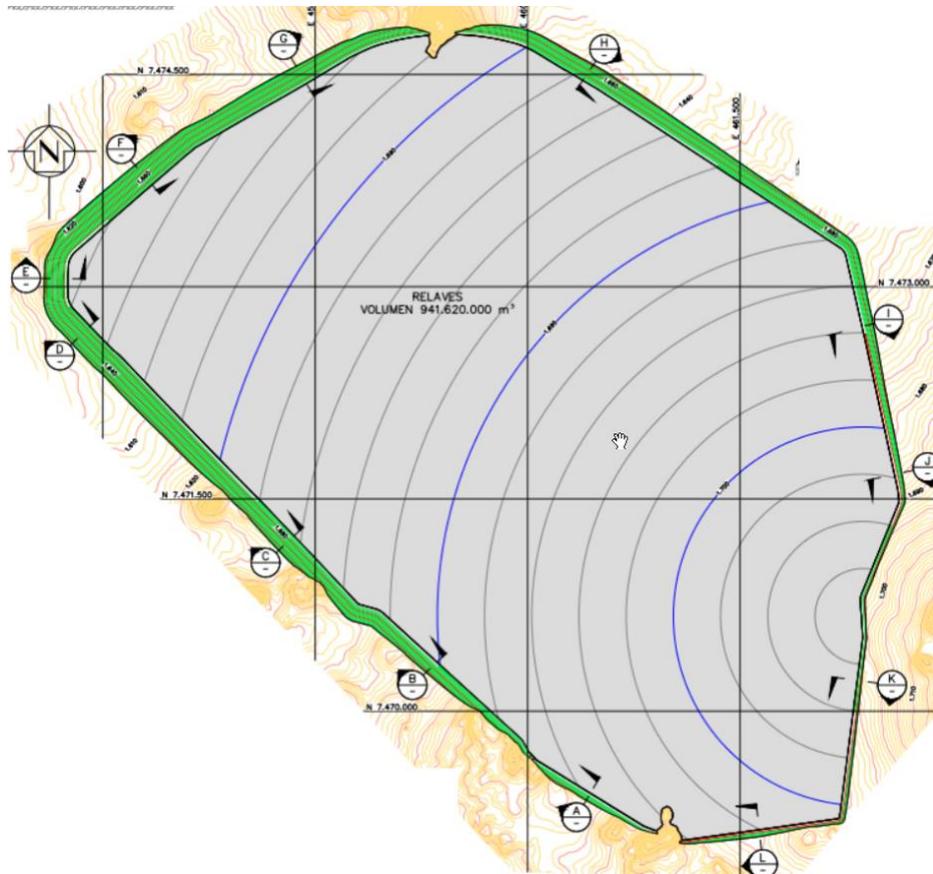


Ilustración 19. Detalla de altura de muros por sección

Tabla 2. Ejemplo de Cubicaciones en el tiempo

Item	Unidad	Cantidad							
		2021	Total Fase I ⁽³⁾	2023	2025	2027	2030	2034	Total Fase II
Movimientos de Tierra									
Excavación Terreno Natural ⁽¹⁾	m3	5.787.887	5.787.887	4.054.687	3.283.497	3.195.413	4.313.340	264.788	15.111.725
Relleno Masivo ⁽²⁾	m3	10.475.881	10.475.881	10.514.814	11.934.628	15.148.037	24.284.026	30.290.731	92.172.236
Cama de Apoyo, e= 1 m ⁽²⁾	m3	319.252	319.252	238.590	220.453	235.547	365.156	539.079	1.598.826
Zona transición, e= 1 m ⁽²⁾	m3	319.252	319.252	238.590	220.453	235.547	365.156	539.079	1.598.826
Geosintéticos									
Geomembrana HDPE e= 2 mm ⁽²⁾	m2	319.252	319.252	238.590	220.453	235.547	365.156	539.079	1.598.826

- La recuperación de aguas es a través de un sistema de balsas flotantes, que recuperan el agua del depósito y lo retornan al proceso (Ilustración 20. Sistema de Recuperación de Aguas e Ilustración 21. Planta General sistema).

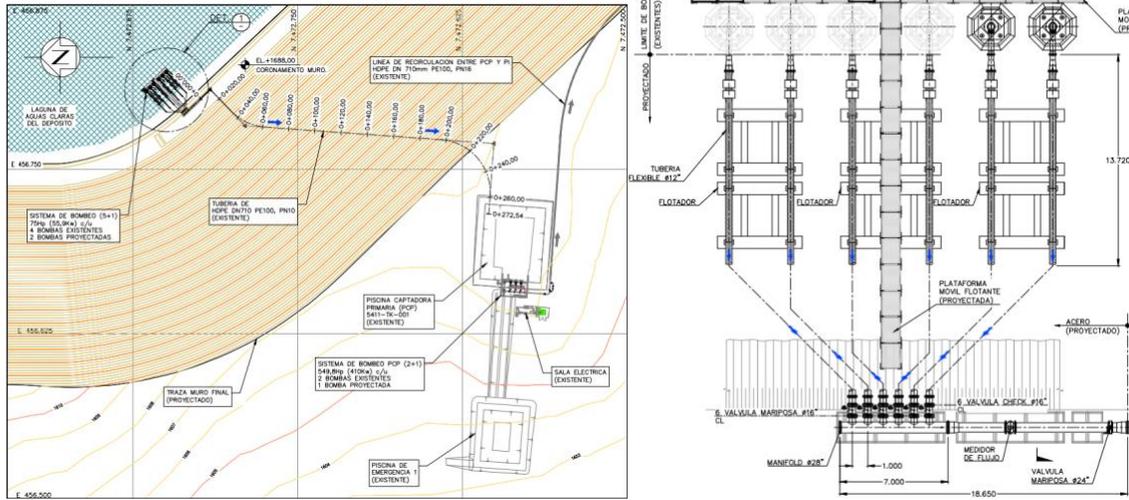


Ilustración 20. Sistema de Recuperación de Aguas

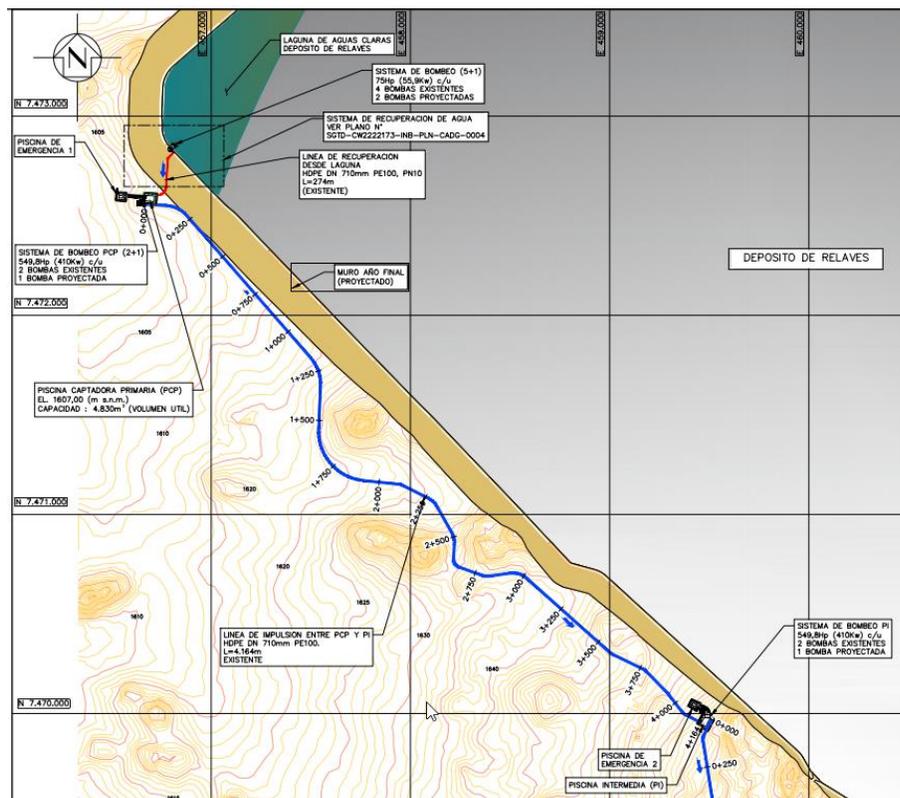


Ilustración 21. Planta General sistema recuperación

5. Metodologías de mitigación de impacto ambiental, a través de regadío constante en las zonas de tránsito, y las zonas de clasificación de materiales. No se considera necesario una barrera hidráulica
6. Revisar que todo lo propuesto sea suficiente para toda la vida útil o será necesario implementar nuevas obras durante la fase de operación. Se

La Tabla 4. Análisis de Variables Principales, indica el peso de cada variable en el total del modelo de Evaluación, en donde se destaca que todo lo relacionado a la construcción de los muros es la variable más relevante y carga el 95% del total de compromisos de Capital Futuro.

Gráficamente los gastos de capital en el tiempo se distribuyen como se ve en la Ilustración 22. Proyección en el tiempo de gasto de capital. Como se ha indicado este valor corresponde a los gastos futuros, ya que los gastos iniciales que se ocuparon para construir el depósito no están incluidos y están considerados como costo hundido, la cifra resultante es un valor bastante considerable y fue la razón de crear este modelo de evaluación para la optimización y disminución de los costos de capital futuro.

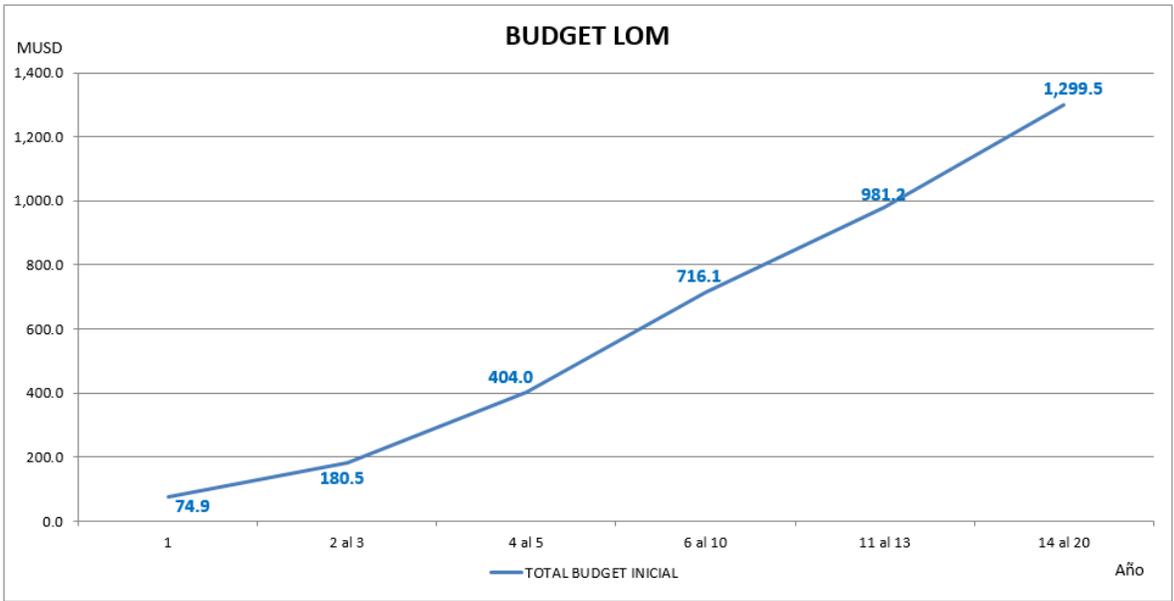


Ilustración 22. Proyección en el tiempo de gasto de capital

7.3.2 Construcción Modelo Situación Optimizada.

Como se visualizó en el Capítulo anterior 7.3.1 Construcción Situación Base. El modelo finalmente arrojó que el compromiso de capital futuro de la compañía Sierra Gorda SCM, era altísimo, frente a eso la Gerencia de la minera, liderado por quien es autor de este estudio, inicio un plan de Evaluación que considerara cambios de tecnología, la manera de operación y una reestructuración completa de todas las variable importantes, con el objetivo de en este caso mitigar el gasto en construcción de muros.

Lo cual significó ir a todas las áreas de interés del modelo, autoridades, comunidades, inversiones en tecnología, finanzas, metodologías de construcción y nuevos permisos y estudios de Impacto Ambiental, etc.

Lo que conduce a construir un modelo más complejo. Para finalmente, realizar un análisis de escenarios para colocar una variabilidad controlada al modelo.

A continuación se hace una descripción de la construcción del modelo optimizado usando los 11 pasos de la metodología aquí desarrollada.

1. Siendo como se ha visto que las cantidades volumétricas de movimiento de tierras son muy altas y condicionan los compromisos de Capital futuro, se modificó el tipo de metodología de construcción por medio de usar camiones de alto tonelaje, aquí hay varias variables a considerar, mayor capacidad del camión más económico, pero a mayor distancia camiones de mayor tamaño pierden rendimiento y hay mayor desgaste de neumáticos. Ante eso el área de minería es quien mejor puede aportar. Para caso de SG, se usan camiones de capacidad variable de 100 ton a 180 ton, en alguna ocasión se han ocupado de 400 ton. Por lo mismo, se abrió el modelo para considerar todas estas opciones, distancia y tonelaje, (Ilustración 23. Subdivisión de Muros e Ilustración 24. Ciclos y Distancia de Transporte).

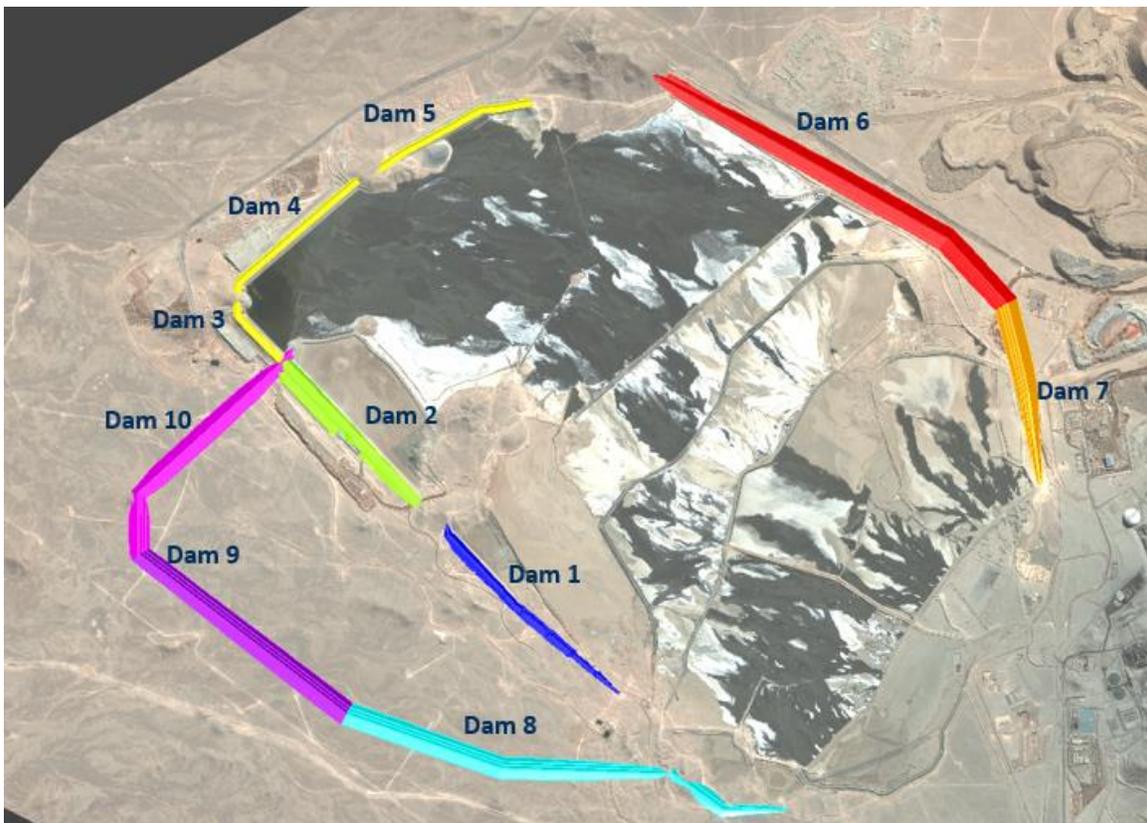


Ilustración 23. Subdivisión de Muros

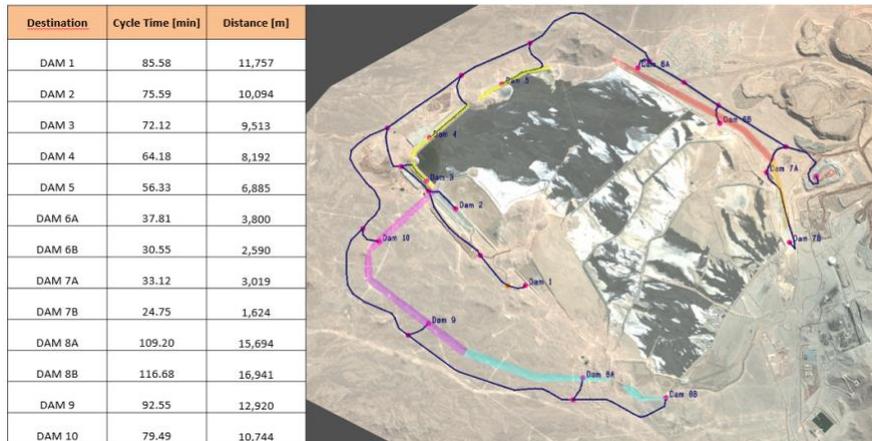


Ilustración 24. Ciclos y Distancia de Transporte

- El esquema de diseño de muro se mantiene, aunque se incorporan algunos cambios, se usa lastre mina, se liberan restricciones de tamaño para el cuerpo del muro a un tamaño máximo de $\frac{2}{3}$ del espesor de la capa, el requerimiento de materiales clasificados se limitan en cantidad, a cambio de esto se requieren mayores volúmenes de material a transportar. Todos los muros se recubrirán con membranas de HDPE de 2mm y un geotextil de protección. Entre la geo membrana y el geotextil, se coloca material de relave disponible por simple operación (Ilustración 25. Esquema Genérico Impermeabilización Muro).

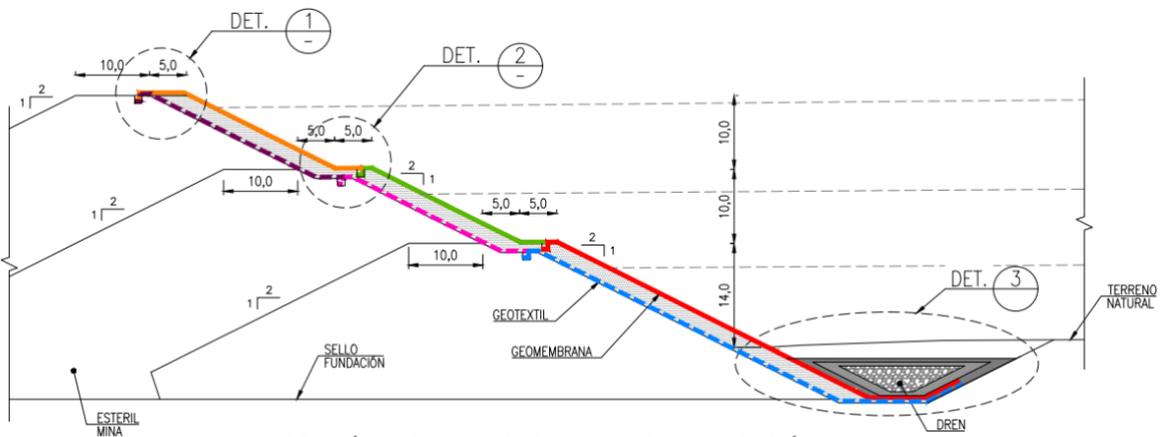


Ilustración 25. Esquema Genérico Impermeabilización Muro

- Se propone un cambio de metodología de distribución a un sistema, semi automático con Spigot (Ilustración 26. Esquema Conceptual distribución de Relaves Optimizado), lo cual permite cambiar la orientación de donde se colectan los relaves permitiendo una mayor densificación y menores volúmenes resultantes, aprovechando esta metodología se amplía el área de depositación (Ilustración 27. Nuevo Diseño de Depósito de Relaves), bajando las altura final de los muros. A consecuencia de esto, se disminuyen los

efectos de impacto ambiental. También se realizan nuevos modelos de depositación y llenado del depósito (Ilustración 28. Modelos de llenado de Depósito). (TailPro Consulting, 2019)

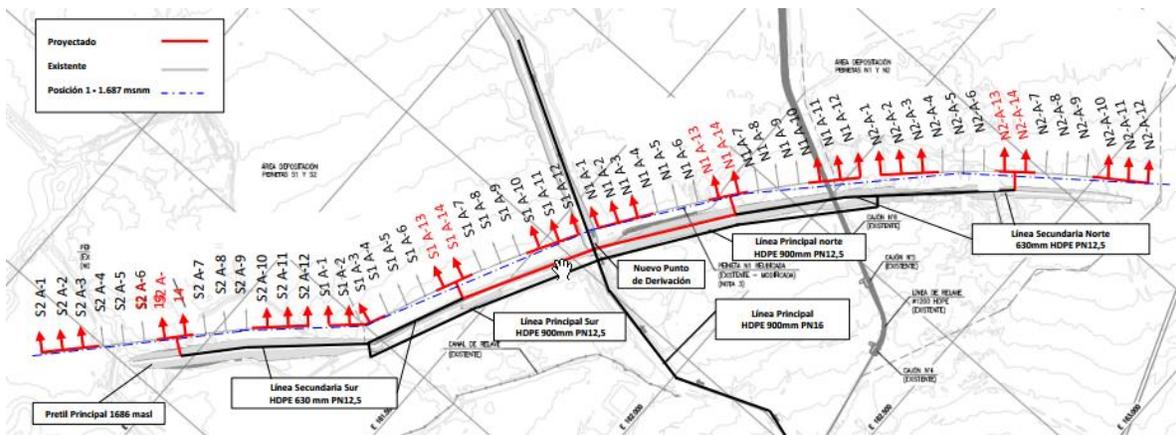


Ilustración 26. Esquema Conceptual distribución de Relaves Optimizado

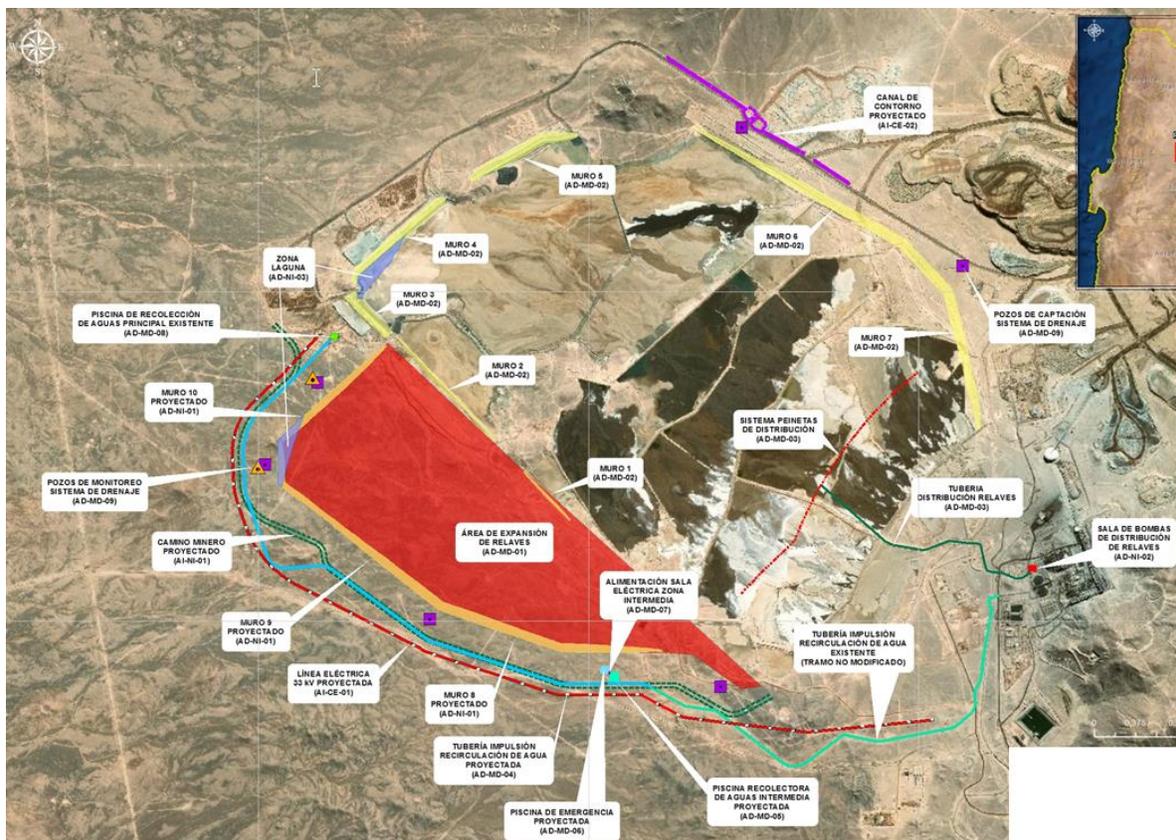


Ilustración 27. Nuevo Diseño de Depósito de Relaves

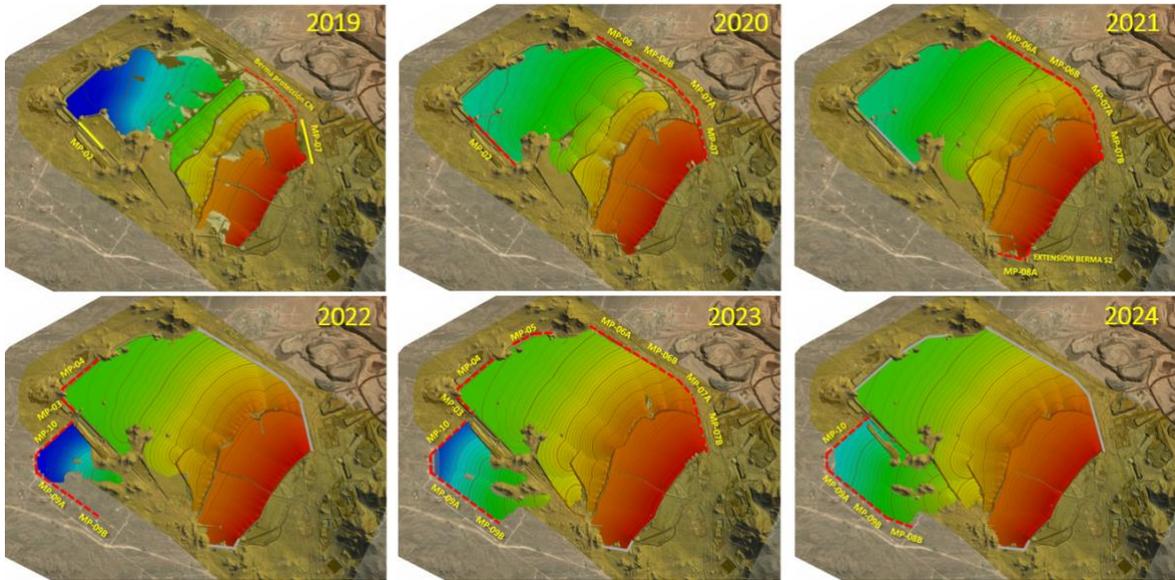


Ilustración 28. Modelos de llenado de Depósito

4. El Cambio de metodología de distribución favorece evaporación y disminuyen las aguas sobrenadantes, no obstante, se tiene que reforzar el sistema de captación de agua por balsas existente, para llegar a una segunda locación (Ilustración 29. Esquema con ubicación de áreas colectoras de agua).

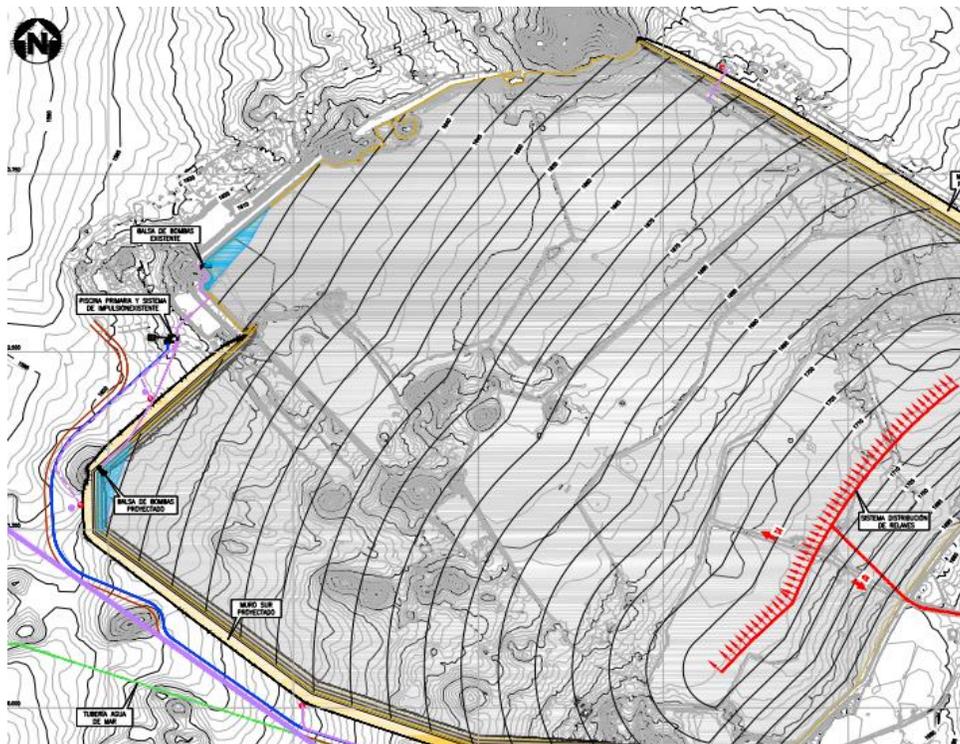


Ilustración 29. Esquema con ubicación de áreas colectoras de agua

5. Se mantienen los métodos anteriores y se agrega una barrera hidráulica de captación de aguas de infiltración, se potencia un sistema de instrumentación y monitoreo (Ilustración 30. Barrera Hidráulica).

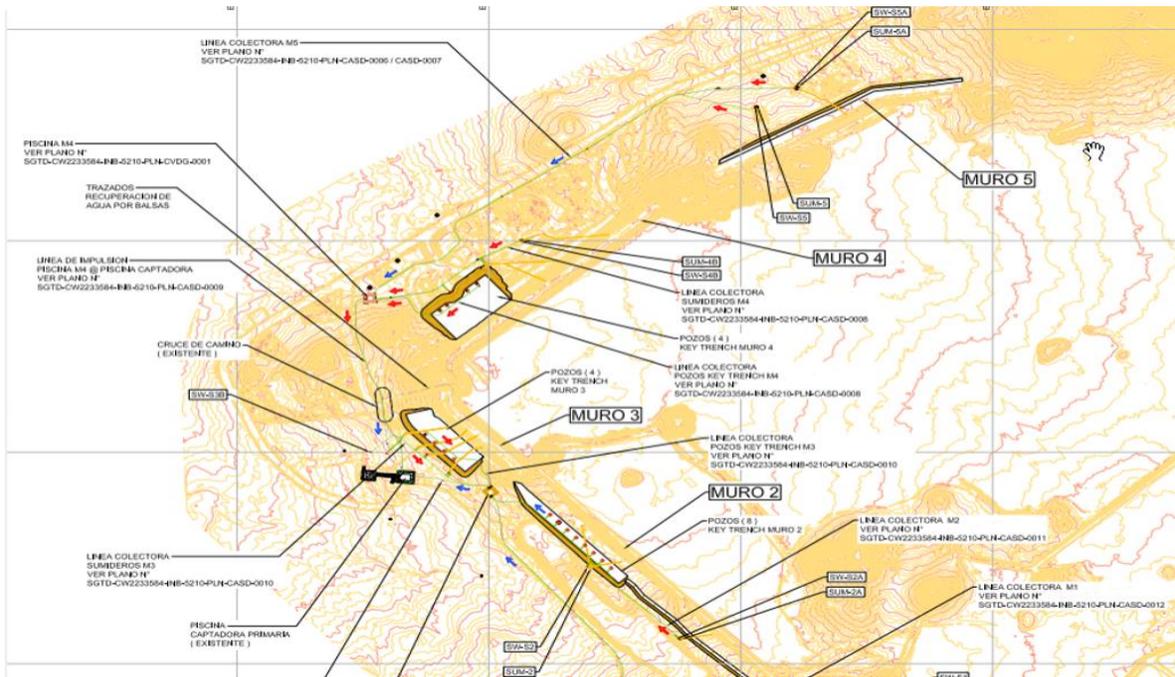


Ilustración 30. Barrera Hidráulica

6. Se modifica el sistema de bombeo de relaves y se distribuye el costo financiero con el objetivo de manejar los costos distribuyendo en el tiempo bajo el concepto just in time, la construcción en el momento requerido (Ilustración 31. Esquema 3D Estación Bombeo Relaves).

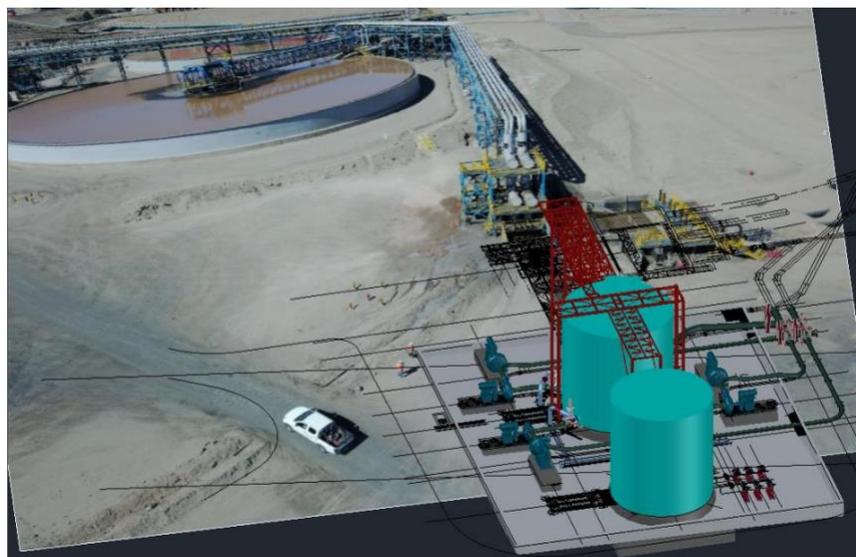


Ilustración 31. Esquema 3D Estación Bombeo Relaves

7. La gobernanza se potencia cambiando la reportabilidad a una Gerencia con Recursos y decisiones propias, para sobre todo dar mayor soporte a las solicitudes de inversionistas y empresas madres.
8. En el proceso se revisan los resultados y se incorporan escenarios, en este caso fueron considerados dos.
9. Evaluar cuales son los elementos de mayor impacto en la evaluación y mejorarlos (optimizar).
10. Después de la mejora revisar nuevamente cuales son los elementos de mayor impacto.
11. Se revisan los planes mineros se incorporan a la evaluación y se realizan los ajustes correspondientes

El ciclo de 11 puntos se repitió 4 veces, un resumen de estos pueden verse en el Anexo 2 Iteraciones Optimización Depósito Relaves SG

A continuación se entregan los resultados del modelo evaluado al final de las optimizaciones realizadas, considerando el análisis de escenarios, se realizaron dos casos con el objetivo de capturar las variabilidades del mercado. Escenario 1: la mayoría de las actividades serán realizadas por recursos internos para la construcción del cuerpo de los muros (compra y uso de camiones propios, máquinas de apoyo, personal propio, clasificación de materiales), actividades fuera del giro de la compañía minera serán realizados por empresas externas (Tabla 5. Escenario 1, Recursos Internos). Escenario 2: todas las actividades de construcción y apoyo serán realizadas por recursos externos, Empresas contratistas, etc, (Tabla 6. Escenario 2, Recursos y Servicios Externos).

Tabla 5. Escenario 1, Recursos Internos

SIERRA GORDA - DEPOSITO DE RELAVES								
MASTER PLAN TSF LOM 2020								
	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año
	1	2	3	4	5	6 al 10	11 al 13	14 al 20
1 CONSTRUCCION - Muro 1	2,218,312	-	-	-	-	-	-	-
2 CONSTRUCCION - Muro 2	4,004,632	3,332,585	-	-	-	-	-	-
3 CONSTRUCCION - Muro 3	0	-	-	-	469,619	-	-	-
4 CONSTRUCCION - Muro 4	0	-	-	-	1,179,315	-	-	-
5 CONSTRUCCION - Muro 5	0	-	-	-	1,068,694	-	596,568	-
6 CONSTRUCCION - Muro 6	0	249,603	10,894,554	5,714,392	5,715,825	9,248,797	16,044,184	16,122,228
7 CONSTRUCCION - Muro 7	0	94,680	2,498,143	6,414,050	-	2,919,697	4,705,065	4,855,615
8 CONSTRUCCION - Muro 8	0	-	-	-	-	37,163,990	-	3,271,773
9 CONSTRUCCION - Muro 9	0	-	-	1,464,268	17,371,446	7,692,291	13,472,747	13,647,528
10 CONSTRUCCION - Muro 10	0	-	-	3,228,614	8,756,743	5,378,143	10,271,729	11,450,338
11 CARGOS ASOCIADOS A MUROS	1,730,887	1,994,086	5,646,769	27,140,073	19,105,553	3,300,950	2,682,128	3,530,659
12 DESARROLLO INGENIERIA Y COMPROMISOS AMBIENTALES	1,053,577	1,770,714	535,000	250,000	250,000	1,000,000	750,000	1,750,000
13 SISTEMAS SPIGOTS	-	2,012,000	-	-	550,000	-	1,500,000	-
14 BARRERA HIDRAULICA	965,991	-	-	1,250,000	1,250,000	-	-	-
15 DESARROLLO NUEVAS OBRAS DE APOYO	575,650	7,612,000	12,228,000	7,718,333	-	-	-	2,820,000
16 COMPROMISOS COMUNITARIOS	1,698,361	200,900	-	-	-	-	-	-
17 LABOR & OTROS	229,000	468,759	248,667	248,667	248,667	994,667	746,000	1,740,667
TOTAL BUDGET ANUAL LOM2020 Best Escenario	21,001,682	17,934,427	32,051,133	53,428,396	53,964,862	67,698,535	50,768,421	59,188,808
TOTAL ACUMULADO	21,001,682	38,936,109	70,987,242	124,415,638	180,380,500	248,079,035	298,847,456	358,036,263

Tabla 6. Escenario 2, Recursos y Servicios Externos

SIERRA GORDA - DEPOSITO DE RELAVES		Año	Año	Año	Año	Año	Año	Año		
MASTER PLAN TSF LOM 2020		1	2	3	4	5	6 al 10	11 al 13	14 al 20	
1	CONSTRUCCION - Muro 1	2,218,312	-	-	-	-	-	-	-	
2	CONSTRUCCION - Muro 2	4,004,632	7,805,806	-	-	-	-	-	-	
3	CONSTRUCCION - Muro 3	0	-	-	-	989,845	-	-	-	
4	CONSTRUCCION - Muro 4	0	-	-	-	2,283,976	-	-	-	
5	CONSTRUCCION - Muro 5	0	-	-	-	2,078,675	-	1,266,929	-	
6	CONSTRUCCION - Muro 6	0	597,476	16,244,934	9,265,729	9,266,958	11,720,452	19,832,122	19,420,721	
7	CONSTRUCCION - Muro 7	0	204,600	3,491,687	10,454,744	-	3,655,667	5,676,701	5,958,449	
8	CONSTRUCCION - Muro 8	0	-	-	-	-	63,335,841	-	6,831,998	
9	CONSTRUCCION - Muro 9	0	-	-	2,737,561	29,503,931	13,308,406	23,015,002	22,944,815	
10	CONSTRUCCION - Muro 10	0	-	-	5,938,406	14,177,568	9,838,306	18,282,883	19,763,276	
11	CARGOS ASOCIADOS A MUROS	1,730,887	2,013,331	5,355,289	26,608,159	18,578,639	3,815,950	2,697,128	3,545,659	
12	COMPROMISOS AMBIENTALES	1,053,577	1,607,429	480,000	400,000	400,000	1,600,000	1,200,000	2,800,000	
13	SISTEMAS SPIGOTS	-	2,012,000	-	-	350,000	-	1,500,000	-	
14	BARRERA HIDRAULICA	965,991	-	-	1,250,000	1,250,000	-	-	-	
15	DESARROLLO NUEVAS OBRAS DE APOYO	575,650	7,612,000	12,763,000	7,183,333	-	-	-	3,231,583	
16	COMPROMISOS COMUNITARIOS	1,698,361	200,000	-	-	-	-	-	-	
17	LABOR & OTROS	229,000	486,039	260,187	260,187	260,187	1,040,747	780,560	1,821,307	
TOTAL BUDGET ANUAL LOM2020 Worst Escenario		21,001,682	22,538,682	38,594,697	64,098,120	79,339,779	107,815,370	74,251,325	86,317,807	
TOTAL ACUMULADO		21,001,682	43,540,364	82,135,060	146,233,181	225,572,959	333,388,329	407,639,654	493,957,460	
		TOTAL LOM							493,957,460	

El modelo basado en escenarios entrega un rango para KPI2 entre **USD\$ 358,036,263** y **USD\$ 493,957,460**. Los Modelos en extenso se pueden visualizar en el Anexo 3 Modelo Situación Optimizada, Escenario 1 y Anexo 3 Modelo Situación Optimizada, Escenario 2.

Tabla 7. Análisis de Variables Principales Modelo Optimizado

SIERRA GORDA - DEPOSITO DE RELAVES		Escenario 1		Escenario 2	
MASTER PLAN TSF LOM 2020		TOTAL	% ITEM	TOTAL	% ITEM
1	CONSTRUCCION - Muro 1	2,218,312	0.62%	2,218,312	0.45%
2	CONSTRUCCION - Muro 2	7,537,217	2.11%	11,810,438	2.39%
3	CONSTRUCCION - Muro 3	469,619	0.13%	989,845	0.20%
4	CONSTRUCCION - Muro 4	1,178,315	0.33%	2,283,976	0.46%
5	CONSTRUCCION - Muro 5	1,665,262	0.47%	3,345,604	0.68%
6	CONSTRUCCION - Muro 6	63,989,582	17.87%	86,347,992	17.48%
7	CONSTRUCCION - Muro 7	21,487,251	6.00%	29,441,848	5.96%
8	CONSTRUCCION - Muro 8	40,435,763	11.29%	70,167,839	14.21%
9	CONSTRUCCION - Muro 9	53,648,279	14.98%	91,509,715	18.53%
10	CONSTRUCCION - Muro 10	39,085,567	10.92%	68,000,439	13.77%
11	CARGOS ASOCIADOS A MUROS	65,131,105	18.19%	63,845,043	12.93%
12	DESARROLLO INGENIERIA Y COMPROMISOS AMBIENTALES	7,359,291	2.06%	9,541,006	1.93%
13	SISTEMAS SPIGOTS	4,062,000	1.13%	4,062,000	0.82%
14	BARRERA HIDRAULICA	3,465,991	0.97%	3,465,991	0.70%
15	DESARROLLO NUEVAS OBRAS DE APOYO	30,953,983	8.65%	31,365,567	6.35%
16	COMPROMISOS COMUNITARIOS	1,898,361	0.53%	1,898,361	0.38%
17	LABOR & OTROS	4,925,093	1.38%	5,138,213	1.04%

La Tabla 7. Análisis de Variables Principales Modelo Optimizado, indica el peso de cada variable con relación al total del modelo de Evaluación, en donde se destaca una mayor apertura en estas, de manera de tener un mayor control y datos para análisis. Por otro lado, producto de las optimizaciones realizadas y los gastos incurridos en las nuevas tecnologías, el peso relativo de construcción de muros baja.

Gráficamente los gastos de capital en el tiempo se distribuyen como se ve en la Ilustración 32. Proyección en el Tiempo Gasto Capital Optimizado. Este valor corresponde a los gastos futuros, las inversiones realizadas durante la construcción y puesta en marcha de la operación del depósito no están incluidos y están considerados como costo hundido.

Las cifras resultantes muestran una **reducción** de costos de capital y compromisos financieros futuros de **entre 263% y 363%**. Lo cual es una demostración evidente

que el proyecto original no fue bien evaluado o los supuestos considerados fueron erróneos.

Cabe mencionar que el modelo permitió detectar otras área de optimización, como es el plan de cierre, valor monetario que no se ha incluido en tablas, ya que al cierre de este documento aún está en trámite con la autoridad, pero solo en concepto de boleta de garantías, significa una rebaja de USD\$ 50,000,000.

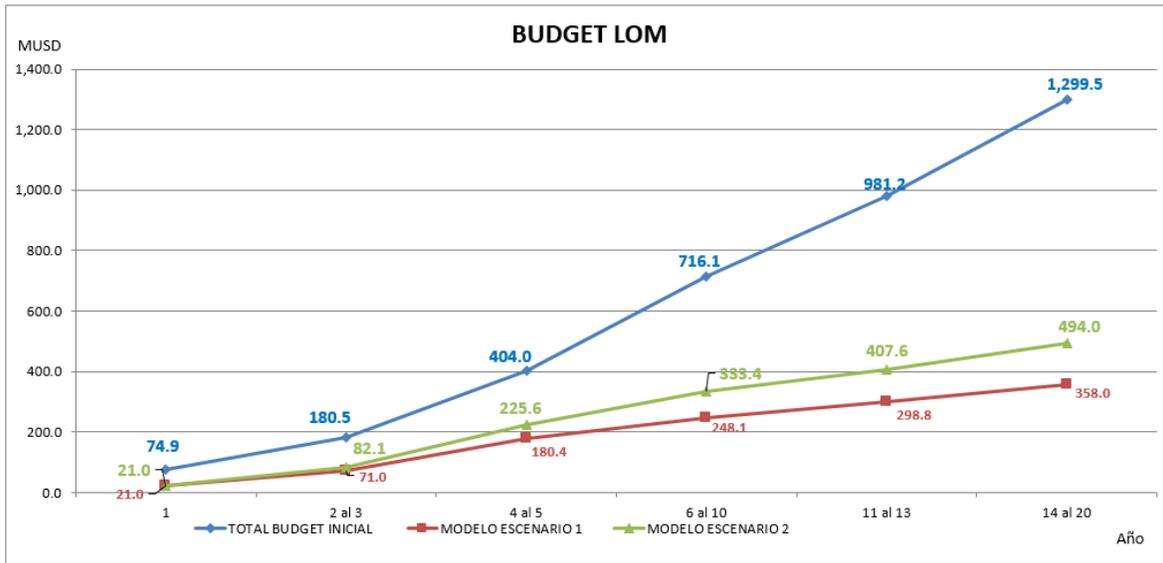


Ilustración 32. Proyección en el Tiempo Gasto Capital Optimizado

7.3.3 Conclusiones del Capítulo - Modelo Aplicado

Se ha desarrollado en el capítulo anterior (7.2) un modelo de evaluación para depósitos de relaves espesados para tasar el proyecto desde un punto de vista holístico y para toda la vida útil del proyecto.

El estudio y modelo fue aplicado y evaluado a las condiciones de operación y vida total del depósito de relaves de la compañía minera Sierra Gorda. Verificando los beneficios de su uso.

8 Conclusiones

Como se ha revisado a lo largo de este estudio, se requiere analizar, identificar y dar a conocer mediante una evaluación financiera la conceptualización de cada proyecto de construcción y operación de un depósito de relaves espesados de manera individual, de lo contrario se corre un gran riesgo de que su implementación impacte negativamente, fuera de las estimaciones en la rentabilidad del proyecto minero y en suma a la compañía.

La correcta aplicación de las regulaciones nacionales e internacionales, recomendaciones de la industria, requisitos de los fondos de inversión privados y públicos, ONGs, conlleva a un desafío permanente que no todas las compañías pueden llevar exitosamente. Por otro lado, malas asesorías, malos e incompletos supuestos del proyecto con una visión limitada de problemáticas cortoplacistas, obviando las preocupaciones que la sociedad tiene de un depósito de relaves afectan y comprometen los resultados económicos de corto y largo plazo de las compañías.

Por otro lado, la metodología expuesta en este trabajo es replicable para los otros tipos de depósitos de relaves en el sentido de haber compilado brevemente las mejores prácticas y estándares de la industria para las operaciones de depósitos de relaves espesados, permitiendo que las mejores tecnologías puedan ser evaluadas en el proyecto desde su génesis, mitigando cualquier pérdida de valor futuro del proyecto.

Se ha revisado que cualquier evaluación económica de un proyecto de depósito de relaves espesados tiene que considerar cuatro campos o divisiones, técnicos, financieros, sociales y ambientales, sin embargo, sólo dos de ellos se pueden monetizar fácilmente.

Queda, por tanto, valorar cuáles de ellos son los más importantes de manera que sí o sí deben ser incluidos en el modelo con el mayor detalle posible, cuales se pueden omitir y cuales se pueden simplificar.

Para poder mejorar la comprensión y evaluación se ha hecho una revisión somera de diferentes tipos de depósito de relaves espesados, sus metodologías de construcción, tecnologías de operación, descripción general de las regulaciones nacionales e internacionales que fijan el diseño, los requerimientos de inversionistas y autoridades gubernamentales.

Los cuales en cada proyecto deben ser evaluados individualmente con supuestos correctos, recalco este punto, los supuestos son muy importantes, una mala elección puede hacer que la compañía desarrolladora se vea comprometida financieramente, hay mucho donde elegir, pero sólo uno de cada uno es lo óptimo y lo que funcionó una vez, no siempre será la mejor solución para otros proyectos.

Se ha desarrollado las bases de un modelo de aplicación para evaluar financieramente las partidas críticas de construcción y operación de un depósito de relaves espesados, evaluar beneficios y comparar resultados, individualizar mejores

prácticas y declarar los impactos que estas generarán en el costo de capital final para toda la vida útil del proyecto.

Con el fin de demostrar su aplicación y beneficios de utilizarlo, se aplicó el desarrollo al depósito de relaves de la Compañía Minera Sierra Gorda SCM, donde se evidenció los beneficios sustanciales en compromisos de capital que se pueden obtener. Al mismo tiempo permite tener una visión a largo plazo de las actividades que se van a desarrollar y una herramienta para hacer seguimiento y gestión.

Ciertamente, el éxito empresarial depende de muchas variables, y el usar las herramientas de gestión que permitan asegurar el éxito es la responsabilidad principal de quien lidere.

La herramienta aquí propuesta será de gran ayuda para lograr ese éxito.

9 Bibliografía

British Columbia Securities Commission. (2016). *National Instrument 43-101*. Canada.

Consejo Minero. (2020). *Consejo Minero Cifras de la minería*. Obtenido de Sitio Web del Consejo Minero: <https://consejominero.cl/chile-pais-minero/cifras-actualizadas-de-la-mineria/>

Consejo Minero. (14 de marzo de 2020). *Plataforma de Relaves*. Obtenido de Web del Consejo Minero: <https://consejominero.cl/comunicaciones/plataforma-de-relaves/>

Fundación Chile. (2018). Programa Tranque - Avances y Retos para la Gestión de los Depósitos de Relaves en Chile. En E. P. Tranque, *Avances y Retos para la Gestión de los Depósitos de Relaves en Chile* (págs. 22-30). Santiago.

Sernageomin. (24 de 04 de 2019). *Sernageomin*. Obtenido de División de Depósitos de Relaves de Sernageomin: <https://www.sernageomin.cl/datos-publicos-deposito-de-relaves/>

TailPro Consulting. (2019). *Estimación de Crecimiento de Muros*. Santiago.

the church of england. (26 de febrero de 2020). *Investor Mining and Tailings Safety Initiative*. Obtenido de the church of england: <https://www.churchofengland.org/investor-mining-tailings-safety-initiative>

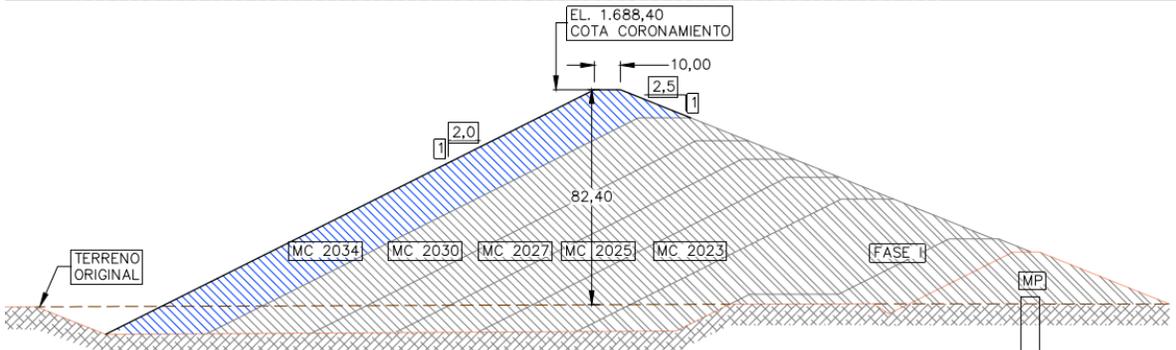
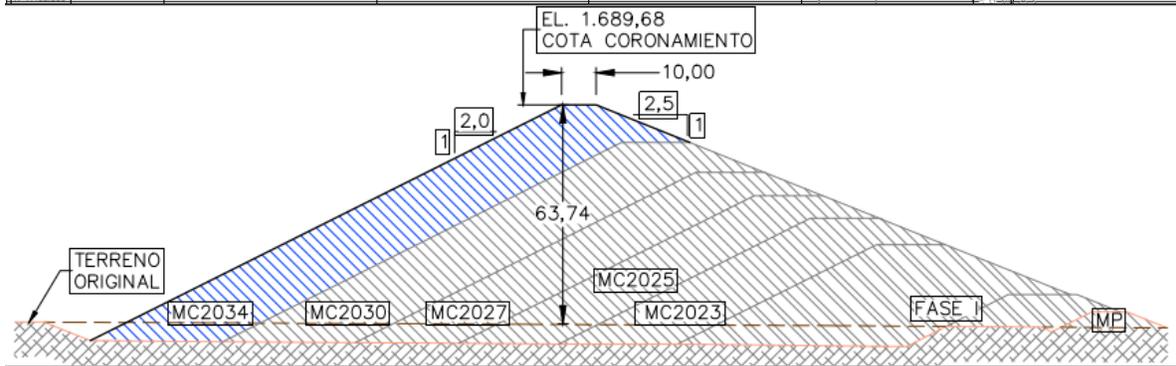
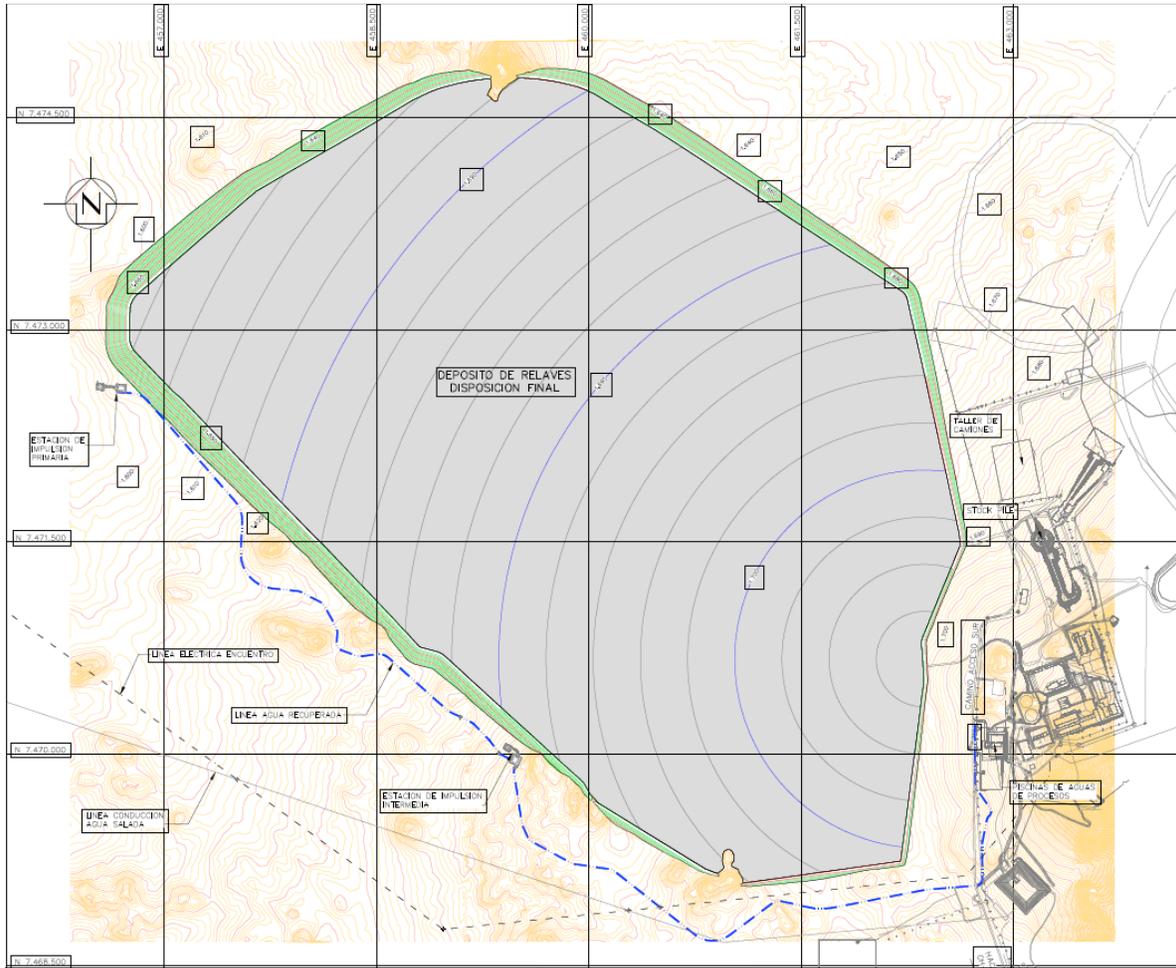
10 Anexos

10.1 Anexo 1 Modelo Situación Actual

FLUJO DE CAJA - CRECIMIENTO DE MUROS TRANQUE DE RELAVES	
	USD\$
Movimiento de tierra	\$ 1,182,208,589
Impermeabilización de muros	\$ 41,985,620
Topografía	\$ 2,480,600
Ingeniería	\$ 5,015,929
Instrumentación	\$ 4,900,000
Spigot	\$ 52,075,028
Sistema agua	\$ 2,044,001
Labor	\$ 8,976,000
TOTAL	\$ 1,299,685,767

MOVIMIENTO DE TIERRA								
AÑOS	ALCANCE	Unidad	Cantidad	USD/m3	USD	PLANO	REV	ETAPA
				P Unit	P Total			
2016-2017	Excavación & Relleno	m3	6,199,953	6.50	31,212,444	SGTD-CW2221749-IND-5411-PLN-CVES-00XX	0	Construcción
2021	Excavación	m3	5,878,887	4.82	28,336,235	SGTD-CW2221749-IND-5411-PLN-CVES-00XX	A	Construcción
	Relleno	m3	10,475,881	8.08	84,645,118	SGTD-CW2221749-IND-5411-PLN-CVES-00XX	A	Construcción
TOTAL FASE I					144,193,798			
2023	Excavación	m3	4,054,687	4.82	19,543,591	SGTD-CW2221749-IND-5411-PLN-CVES-00XX	A	Construcción
	Relleno	m3	10,514,814	8.08	84,959,697	SGTD-CW2221749-IND-5411-PLN-CVES-00XX	A	Construcción
2025	Excavación	m3	3,283,497	4.82	15,826,456	SGTD-CW2221749-IND-5411-PLN-CVES-00XX	A	Construcción
	Relleno	m3	11,934,628	8.08	96,431,794	SGTD-CW2221749-IND-5411-PLN-CVES-00XX	A	Construcción
2027	Excavación	m3	3,195,413	4.82	15,401,891	SGTD-CW2221749-IND-5411-PLN-CVES-00XX	A	Construcción
	Relleno	m3	15,148,037	8.08	122,396,139	SGTD-CW2221749-IND-5411-PLN-CVES-00XX	A	Construcción
2030	Excavación	m3	4,313,340	4.82	20,790,299	SGTD-CW2221749-IND-5411-PLN-CVES-00XX	A	Construcción
	Relleno	m3	24,284,026	8.08	196,214,930	SGTD-CW2221749-IND-5411-PLN-CVES-00XX	A	Construcción
2034	Excavación	m3	264,788	4.82	1,276,278	SGTD-CW2221749-IND-5411-PLN-CVES-00XX	A	Construcción
	Relleno	m3	30,290,731	8.08	244,749,106	SGTD-CW2221749-IND-5411-PLN-CVES-00XX	A	Construcción
TOTAL FASE II					817,590,181			
AÑO	Actividad	Unidad	Cantidad					
LOM	Excavación	m3	23,730,414					
	Relleno	m3	102,648,117					
	Cama apoyo	m3	7,347,487	30.00	220,424,610			
	Geosintético	m2	2,099,282					
SUBTOTAL					1,182,208,589			
IMPERMEABILIZACIÓN DE MUROS								
AÑOS	ALCANCE	Unidad	Cantidad	USD/m2	USD	PLANO	REV	ETAPA
				P Unit	P Total			
2016-2017	Geosintéticos	m2	181,204	20.00	3,624,080	SGTD-CW2221749-IND-5411-PLN-CVES-00XX	A	Construcción
2021	Geosintéticos	m2	319,252	20.00	6,385,040	SGTD-CW2221749-IND-5411-PLN-CVES-00XX	A	Construcción
TOTAL FASE I					10,009,120			
2023	Geosintéticos	m2	238,590	20.00	4,771,800	SGTD-CW2221749-IND-5411-PLN-CVES-00XX	A	Construcción
2025	Geosintéticos	m2	220,453	20.00	4,409,060	SGTD-CW2221749-IND-5411-PLN-CVES-00XX	A	Construcción
2027	Geosintéticos	m2	235,547	20.00	4,710,940	SGTD-CW2221749-IND-5411-PLN-CVES-00XX	A	Construcción
2030	Geosintéticos	m2	365,156	20.00	7,303,120	SGTD-CW2221749-IND-5411-PLN-CVES-00XX	A	Construcción
2034	Geosintéticos	m2	539,079	20.00	10,781,580	SGTD-CW2221749-IND-5411-PLN-CVES-00XX	A	Construcción
TOTAL FASE II					31,976,500			
SUBTOTAL					41,985,620			
TOPOGRAFIA DE MUROS								
AÑOS	ALCANCE	Unidad	Cantidad	USD	USD	PLANO	REV	ETAPA
				P Unit	P Total			
2016-2017	Topografía	gl	1	160,600	160,600	N/A	N/A	Construcción
2021	Topografía	año	4	145,000	580,000	N/A	N/A	Construcción
TOTAL FASE I					740,600			
2023	Topografía	año	2	145,000	290,000	N/A	N/A	Construcción
2025	Topografía	año	2	145,000	290,000	N/A	N/A	Construcción
2027	Topografía	año	2	145,000	290,000	N/A	N/A	Construcción
2030	Topografía	año	2	145,000	290,000	N/A	N/A	Construcción
2034	Topografía	año	4	145,000	580,000	N/A	N/A	Construcción
TOTAL FASE II					1,740,000			
SUBTOTAL					2,480,600			

INGENIERIA DE MUROS								
AÑOS	ALCANCE	Unidad	Cantidad	USD		PLANO	REV	ETAPA
				P Unit	P Total			
2016-2017	Ingeniería	gl	1	1,076,138	1,076,138	SGTD-CW2221749-IND-5411-PLN-CVES-00XX-XX	A	Ingeniería de detalle
2021	Ingeniería	gl	1	1,439,791	1,439,791	SGTD-CW2221749-IND-5411-PLN-CVES-00XX-XX	A	Ing de factibilidad y Ing de
TOTAL FASE I				2,515,929				
2023	Ingeniería	gl	1	500,000	500,000	SGTD-CW2221749-IND-5411-PLN-CVES-00XX-XX	A	Ingeniería de detalle
2025	Ingeniería	gl	1	500,000	500,000	N/A	N/A	N/A
2027	Ingeniería	gl	1	500,000	500,000	N/A	N/A	N/A
2030	Ingeniería	gl	1	500,000	500,000	N/A	N/A	N/A
2034	Ingeniería	gl	1	500,000	500,000	N/A	N/A	N/A
TOTAL FASE II				2,500,000				
SUBTOTAL				5,015,929				
INSTRUMENTACION DE MUROS								
AÑOS	ALCANCE	Unidad	Cantidad	USD		PLANO	REV	ETAPA
				P Unit	P Total			
2016-2017	Instrumentación	gl	1	1,000,000	1,000,000	N/A	N/A	Construcción
2021	Instrumentación	gl	1	650,000	650,000	N/A	N/A	Construcción
TOTAL FASE I				1,650,000				
2023	Instrumentación	gl	1	650,000	650,000	N/A	N/A	Construcción
2025	Instrumentación	gl	1	650,000	650,000	N/A	N/A	Construcción
2027	Instrumentación	gl	1	650,000	650,000	N/A	N/A	Construcción
2030	Instrumentación	gl	1	650,000	650,000	N/A	N/A	Construcción
2034	Instrumentación	gl	1	650,000	650,000	N/A	N/A	Construcción
TOTAL FASE II				3,250,000				
SUBTOTAL				4,900,000				
SISTEMA DISTRIBUCION RELAVES - SPIGOT								
SPIGOT	ALCANCE	Unidad	Cantidad	USD		PLANO	REV	ETAPA
				P Unit	P Total			
Spigot	Ingeniería básica avan	gl	1	162,770	162,770	N/A	N/A	Ingeniería Básica Avanzada
S1	Movimiento de tierra	m3	261,722	5.00	1,308,610	SGTD-CV2223014-INB-5310-PLN-CVDG-000X	TBD	Construcción
S1	Piping Peineta S1	m	2,200	559	1,229,664	SGTD-CV2223014-INB-5310-PLN-CVDG-000X	TBD	Construcción
TOTAL FASE I				2,701,044				
Spigot	Ingeniería básica avan	gl	1	100,000	100,000	N/A	N/A	Ingeniería Básica Avanzada
S1	Movimiento de tierra	m3	468,598	5.00	2,342,990	SGTD-CV2223014-INB-5310-PLN-CVDG-000X	TBD	Construcción
S1	Piping Peineta N1	m	600	559	335,363	SGTD-CV2223014-INB-5310-PLN-CVDG-000X	TBD	Construcción
N1	Movimiento de tierra	m3	646,441	5.00	3,232,205	SGTD-CV2223014-INB-5310-PLN-CVDG-000X	A	Construcción
N1	Piping Peineta N1	m	600	559	335,363	SGTD-CV2223014-INB-5310-PLN-CVDG-000X	A	Construcción
N2	Movimiento de tierra	m3	646,441	5.00	3,232,205	SGTD-CV2223014-INB-5310-PLN-CVDG-000X	A	Construcción
N2	Piping Peineta N2	m	600	559	335,363	SGTD-CV2223014-INB-5310-PLN-CVDG-000X	A	Construcción
S2	Movimiento de tierra	m3	646,441	5.00	3,232,205	SGTD-CV2223014-INB-5310-PLN-CVDG-000X	A	Construcción
S2	Piping Peineta S2	m	600	559	335,363	SGTD-CV2223014-INB-5310-PLN-CVDG-000X	A	Construcción
Estanque elevado	Equipo	gl	1	892,928	892,928	SGTD-CV2223014-INB-5310-PLN-CVDG-000X	A	Construcción
Equipos de bombeo y electricos	Equipo	gl	1	35,000,000	35,000,000	TBD	TBD	Construcción
TOTAL FASE II				49,373,984				
SUBTOTAL				52,075,028				
SISTEMA EVACUACION AGUAS DREN A - PISCINAS								
MURO	ALCANCE	Unidad	Cantidad	USD		PLANO	REV	ETAPA
				P Unit	P Total			
MC3,4,5	Evacuación aguas	gl	1	2,044,001	2,044,001	N/A	N/A	Construcción
SUBTOTAL				2,044,001				
STAFFING SOPORTE EN TERRENO CRECIMIENTO DE MUROS 2016-2017								
SOPORTE	ALCANCE	Unidad	Cantidad	USD		PLANO	REV	ETAPA
				P Unit	P Total			
Ingeniería	Terreno	Persona	1	144,000	2,448,000	N/A	N/A	Construcción
Control de proyecto	Terreno	Persona	1	144,000	2,448,000	N/A	N/A	Construcción
HSEC	Terreno	Persona	2	120,000	4,080,000	N/A	N/A	Construcción
SUBTOTAL				8,976,000				
STAFFING SGO TRANQUE DE RELAVES								
TRANQUE	ALCANCE	Unidad	Cantidad	USD		PLANO	REV	ETAPA
				P Unit	P Total			
Soporte de RRHH	Personal SGO Tranque	gl	1	-	-	N/A	N/A	Construcción
SUBTOTAL				-				
SUBTOTAL				1,299,685,767				
CONTINGENCIA				-				
TOTAL				1,299,685,767				

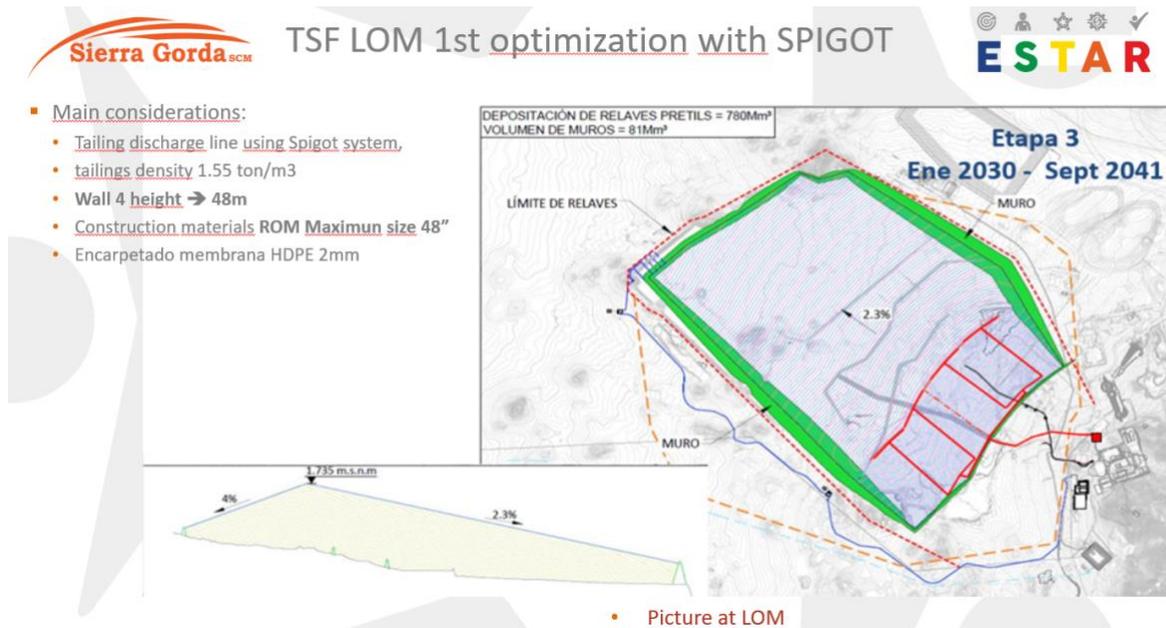
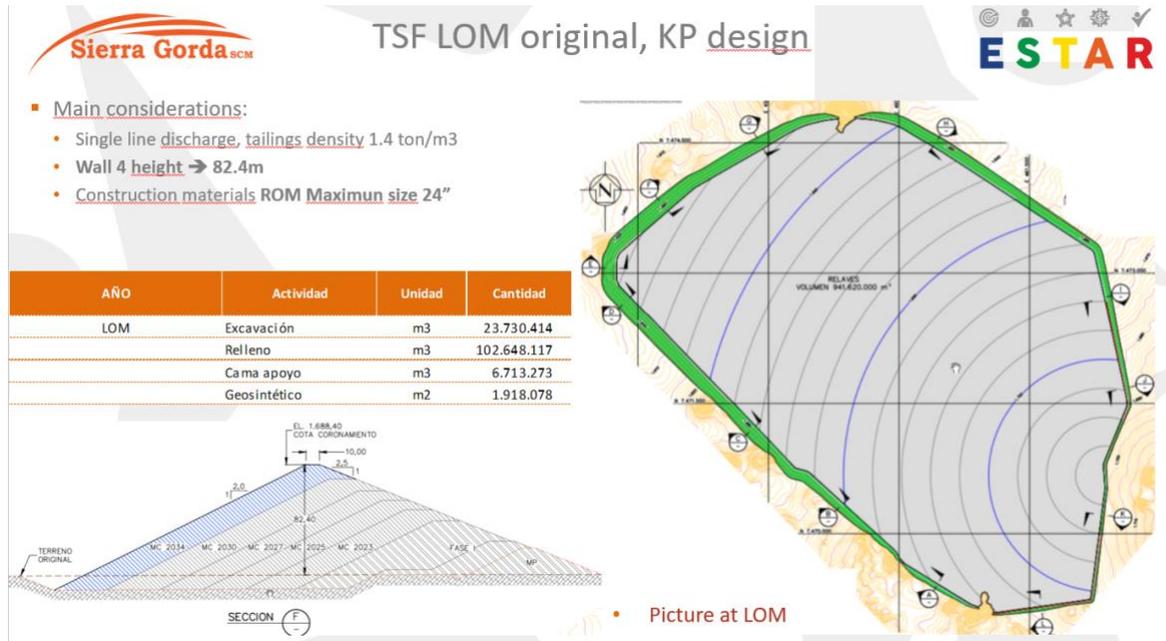


Item	Unidad	Cantidad							
		2021	Total Fase I ⁽³⁾	2023	2025	2027	2030	2034	Total Fase II
Movimientos de Tierra									
Excavación Terreno Natural ⁽¹⁾	m3	5.787.887	5.787.887	4.054.687	3.283.497	3.195.413	4.313.340	264.788	15.111.725
Relleno Masivo ⁽²⁾	m3	10.475.881	10.475.881	10.514.814	11.934.628	15.148.037	24.284.026	30.290.731	92.172.236
Cama de Apoyo, e= 1 m ⁽²⁾	m3	319.252	319.252	238.590	220.453	235.547	365.156	539.079	1.598.826
Zona transición, e= 1 m ⁽²⁾	m3	319.252	319.252	238.590	220.453	235.547	365.156	539.079	1.598.826
Geosintéticos									
Geomembrana HDPE e= 2 mm ⁽²⁾	m2	319.252	319.252	238.590	220.453	235.547	365.156	539.079	1.598.826
Notas									
(1) Cantidades consideran factor 1,15									
(2) Cantidades consideran factor 1,10									
(3) Estas cantidades consideran cubriciones del crecimiento para año 2021, NO incluyendo cantidades de crecimiento 2016.									

Estanque de Acero Elevado con Estructura METALICA CAPEX						Costo Adquisición	Costo Adquisición	Factor Inst. en Sitio	Instalación en Sitio	Factor de Transporte	Transporte	P.U. Estimado
Item	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario \$(USD)	Valor Total \$(USD)	CLP \$	USD \$	-	US\$	-	US\$	US\$
A	Adquisiciones				529.300							
A.1	Válvulas				240.823							
A.1.1	Válvula tipo cuchillo 50" acero inox duplex 2205, CI 150, ASME B16.10 FF, acci	2	un	57.351	114.702	38976070	55.690	0%	0	3%	1670	57.351
A.1.2	Válvula tipo cuchillo 16" acero inox duplex 2205, CI 150, ASME B16.10 FF, acci	8	un	12.322	103.379	8782200	12.546	0%	0	3%	376	12.922
A.1.3	Válvula tipo cuchillo 8" acero inox duplex 2205, CI 150, ASME B16.10 FF, acci	2	un	11.312	22.624	7728336	11.040	0%	0	3%	331	11.372
A.2	Cañerías, Fittings y Piezas Especiales - Relaves				185.593							
A.2.1	Cañería HDPE PE100 DN 300 mm PN 16	100	m	437	43.672	296800	424	0%	0	3%	13	437
A.2.2	Cañería HDPE PE100 DN 800 mm PN 10	60	m	288	17.304	263822,2	280	0%	0	3%	8	288
A.2.3	Cañería HDPE PE100 DN 200 mm PN 10	30	m	18	525	11900	17	0%	0	3%	1	18
A.2.4	Cañería AC DN 16" Sch 40, ERW, API 5L GrB, liner Neo.	480	m	206	98.880	140000	200	0%	0	3%	6	206
A.2.5	Stub-end largo HDPE PE100 DN 300 mm, PN16	12	un	346	4.152	235200	236	0%	0	3%	10	346
A.2.6	Stub-end largo HDPE PE100 DN 800 mm, PN10	6	un	206	1.236	140000	200	0%	0	3%	6	206
A.2.7	Stub-end largo HDPE PE100 DN 200 mm, PN10	4	un	14	56	9800	14	0%	0	3%	0	14
A.2.8	Brida Suelta resp. para Stub-end de HDPE DN 300 mm, compatible con AW/A	12	un	533	6.394	362096	517	0%	0	3%	16	533
A.2.9	Brida Suelta respaldado para Stub-end de HDPE DN 800 mm, compatible con AW	6	un	412	2.472	14399	400	0%	0	3%	12	412
A.2.10	Brida Suelta respaldado para Stub-end de HDPE DN 200 mm, compatible con AW	4	un	139	556	169400	135	0%	0	3%	4	139
A.2.11	Flange SO DN 16", CL 150, FF CS A105 ASME B16.5	16	un	278	4.450	284592	270	0%	0	3%	8	278
A.2.12	Tee 16" Std W/T CS, ASTM A234, Gr W/PB liner Neo., ASME B16.3/16.25	12	un	324	3.893	169400	315	0%	0	3%	3	324
A.3	Instrumentación, Control y Comunicaciones				1.883							
A.3.1	Medidor y Transmisor de Nivel	2	un	942	1.882	640000	914	0%	0	3%	27	942
A.4	Estanque de Acero Elevado con Estructura				103.000							
A.4.1	Estanque de Acero Elevado con Estructura	1	un	103.000	103.000	7000000	100.000	0%	0	3%	3.000	103.000
B	Directos de Construcción y Montaje				157.568							
B.1	Movimiento de Tierra Construcción Estanque Elevado				29.635							
B.1.1	Rollero	270	m3	14	3.704	2800	4	240%	10	3%	0	14
B.1.2	Excavación	540	m3	48	25.931	317520	14	240%	34	3%	0	48
B.2	Montaje cañerías				36.709							
B.2.1	Termofusión y montaje de cañería HDPE PE100 DN: 300 mm PN 16	8	m	34	781	52500	75	20%	15	5%	4	94
B.2.2	Termofusión y montaje de cañería HDPE PE100 DN: 800 mm PN 16	5	m	75	375	42000	60	20%	12	5%	3	75
B.2.3	Termofusión y montaje de cañería HDPE PE100 DN: 200 mm PN 16	3	m	31	78	17500	25	20%	5	5%	1	31
B.2.4	Termofusión y montaje Stub-end largo HDPE PE100 DN: 300 mm, PN16	12	un	415	5.700	265000	380	20%	76	5%	19	415
B.2.5	Termofusión y montaje Stub-end largo HDPE PE100 DN: 800 mm, PN16	6	un	438	2.625	245000	280	20%	70	5%	19	438
B.2.6	Termofusión y montaje Stub-end largo HDPE PE100 DN: 630 mm, PN16	6	un	400	2.400	224000	320	20%	64	5%	16	400
B.2.7	Montaje y Conexión Brida Suelta respaldado DN: 36"	12	un	500	6.000	280000	400	20%	80	5%	20	500
B.2.8	Montaje y Conexión Brida Suelta respaldado DN: 30"	6	un	450	2.700	252000	360	20%	72	5%	18	450
B.2.9	Montaje y Conexión Brida Suelta respaldado DN: 8"	4	un	138	550	77000	110	20%	22	5%	6	138
B.2.10	Montaje y Conexión Brida so ASME B16.5 DI 16"	40	un	250	10.000	140000	200	20%	40	5%	10	250
B.2.11	Montaje e instalación de Válvula tipo cuchillo 16"	8	un	525	4.200	294000	420	20%	84	5%	21	525
B.2.12	Montaje e instalación de Válvula tipo cuchillo 30"	2	un	650	1.300	364000	520	20%	104	5%	26	650
B.2.13	Montaje e instalación de Válvula tipo cuchillo 8"	2	un	400	800	224000	320	20%	64	5%	16	400
B.3	Hormigón				50.466							
B.3.1	Hormigón H30 fundaciones estanque elevado	38	m3	1.188	42.756	770000	1.100	5%	55	3%	33	1.188
B.3.2	Hormigón H10 fundaciones estanque elevado	14,4	m3	535	7.698	346500	495	5%	25	3%	15	535
B.4	Estructura Metálica				40.357							
B.4.1	Montaje estanque elevado, escaleras, barandazas de seguridad	1	kg	40.357	40.357	25000000	35.714	10%	3.571	3%	1.071	40.357
B.5	Construcción, montaje, integración y puesta en ma				400							
B.5.1	Montaje Transmisor de nivel ultrasónico	1	un	400	400	280.000	400	0%				400
1	Directos				686.867,54							
2	Indirectos			30%	206.060,26							
3	Subtotal				892.927,80							
4	Contingencia			0%								
5	TOTAL				892.927,80							

10.2 Anexo 2 Iteraciones Optimización Depósito Relaves SG SCM

A continuación se hace un resumen del número de ciclos realizados para la optimización del depósito de relaves presentado en Capítulo 7.3.2 Construcción Modelo Situación Optimizada.

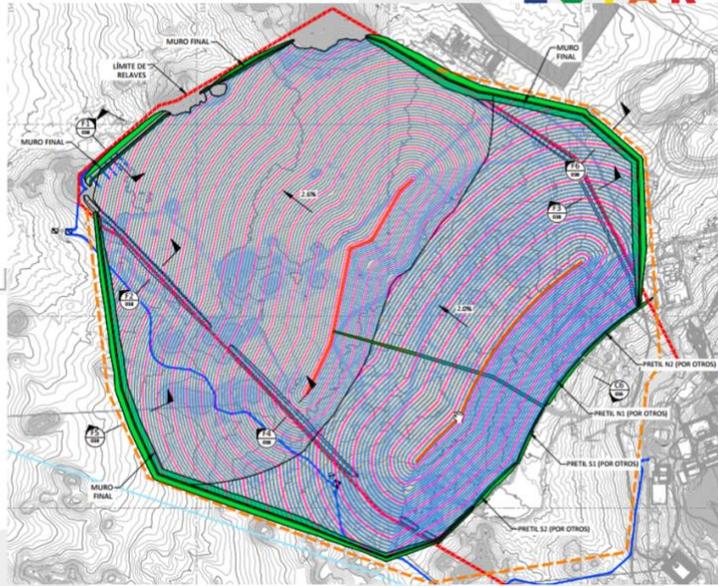


▪ **Main considerations:**

- Tailing discharge line using Spigot system,
 - 2 lines, main Wall and B11
- tailings density 1.55 ton/m³
- Wall 4 height → 40m
- Construction materials ROM Maximun size 48"

Excavacion 7 Mm³

VOLUMEN DE MUROS = 31Mm³



▪ **Main considerations:**

- During gravitational stage:
 - Tailing discharge line using Spigot system, 2 lines
- During pumping stage:
 - Tailing discharge line using Spigot system, 1lines
- Wall 4 height → 36m
- Construction materials ROM Maximun size 48"

Modelo	Elevación de Descarga de Pretil Principal (m.s.n.m)	Volumen Acumulado de Muro Temporal (Mm ³)	Volumen Acumulado de Muro Perimetral (Mm ³)
Modelo 6	1.717	3,66	28,11

