

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAISO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



PROYECTO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
QUÍMICO

EVALUACIÓN PRUEBAS DE ESPESAMIETO DE RELAVES EN PLANTA PILOTO

Paloma Gómez Paredes

Profesor Guía:
Carlos Carlesi Jara
José Torres Titus

2012

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a mis Padres Gabriela y Sergio por haberme acompañado en todo momento durante mis estudios y en general en mi vida dándome el apoyo necesario para continuar en momentos difíciles, son el regalo mas grande que Dios me ha dado junto con mis Abuelos Nany y Pepe que también fueron un apoyo incondicional y hasta el día de hoy lo siguen siendo.

Además a Enrique Cancino y Laura Ossa quiero agradecer por acompañar a mis padres y hacerlos mas felices y además que siempre me han ayudado.

A mi Chichi y mi Madona que fueron fieles compañeras, las recordaré por siempre y a mis compañeras de la actualidad Racco, Toribia y Kika.

También quiero agradecer a mi Tío Kiko a mis lindas amigas Daniela, Carla y su hija Amelia, Flavia y Katy que junto a ellas apoyándonos mutuamente salimos adelante en la universidad, que además fueron compañeras de varias aventuras en mi época universitaria y en la actualidad.

A mis amigas del colegio Karen y especialmente a Paty por haberme acogido en su casa siempre que lo necesite y ayudándome incondicionalmente.

A mi prima Paulina Muñoz que también me recibió en su casa durante mi estadía en Santiago demostrándome su solidaridad.

Y en general a toda mi familia que de alguna manera me ayudaron en algún momento de mi vida para poder ser quien soy ahora.

Por último a mis profesores guías José Torres y Carlos Carlesi, por su ayuda brindada.

RESUMEN

Una de las tecnologías que presenta mayor solución a las problemáticas actuales existentes debido a los riesgos ambientales asociados a los tranques de relaves así como a un exponencial aumento en la cantidad de desechos mineros y una gran escasez del recurso hídrico entre otros es la de espesamiento de relaves para su posterior depositación en forma de pasta.

Esta memoria de título postula la Evaluación del proceso de Espesamiento de Relaves ,en una planta piloto existente, donde se pretende investigar, analizar y evaluar la alternativa de aplicar la tecnología de espesamiento de relave con el objeto de validarla, de tal forma que permita disponer de un relave con alto contenido de sólidos y utilizar estos relaves para desarrollar pruebas básicas que permitan identificar los principales factores operativos y los efectos que podrían causar al variarlos.

El estudio se orientó en obtener una tasa de procesamiento de relave lo más alto posible cumpliendo con las condiciones operativas y una altura de interfase que facilite la operación, de modo que se presenta un set de 4 condiciones operativas diferentes con el afán de elegir dentro de ellas las mejores condiciones operacionales.

Como también obtener un diseño conceptual de planta de manera simple, identificando los equipos principales.

INDICE

Capítulo 1: INTRODUCCIÓN.....	5
1.1 Introducción	5
1.2 Planteamiento del problema	6
Capítulo 2: OBJETIVOS.....	8
2.1 Objetivo General	8
2.2 Objetivos Específicos	8
Capítulo 3: DESCRIPCIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN PARA LA CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DEL PROCESO DE ESPESAMIENTO.....	9
Capítulo 4: MARCO TEÓRICO	11
4.1 Descripción General del Proceso de Espesamiento.....	11
4.1.1 Succión y Transporte de Relaves.....	13
4.1.2 Alimentación al Espesador.....	13
4.1.3 Descarga del Espesador.....	14
4.2 Espesadores.....	15
4.3 Floculación	18
4.4 Conceptos básicos y generalidades sobre los Relaves.....	18
4.4.1 Opciones para la descarga de los Relaves.....	19
4.4.2 Depósitos de Relaves	21
4.4.2.1 Embalses de Relaves.....	21
4.4.2.2 Deposito de Relaves Filtrados	22
4.5 Conceptos básicos y generalidades sobre los Relaves Espesados	26
Capítulo 5: METODOLOGÍA.....	33
5.1 Metodologías.....	33
5.1.1 Ensayos de Sedimentación	33
5.1.2 Medición de Flujos.....	34
5.1.3 Medición de la Densidad de Relave.....	34
5.2 Equipos.....	36
Capítulo 6: RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	37
6.1 Ensayos de sedimentación	37
6.2 Ensayos de Espesamiento de Relaves.....	41
6.2.1 Resultados Condición N°1.....	41
Tabla N°2 Resumen de Datos de Condición N°1.....	42
6.2.2 Resultados Condición N°2.....	43

Tabla N°3 Resumen de Datos de Condición N°2	45
6.2.3 Resultados Condición N°3	46
Tabla N°4 Resumen de Datos de Condición N°3	47
6.2.4 Resultados Condición N°4:	48
Tabla N°5 Resumen de Datos de Condición N°4	49

Capítulo 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

Uno de los temas importantes asociados a las faenas mineras corresponde, a los Depósitos de Relaves, cuyos residuos son desechos tóxicos subproductos de procesos mineros y concentración de minerales, que usualmente son una mezcla de tierra, minerales, agua y rocas.

Esto se debe a que en la Industria Minera estos depósitos han ido adquiriendo mayor relevancia, debido principalmente a la baja en las leyes de los minerales indicando que el contenido de relaves generados en los procesos será cada vez mayor trayendo como consecuencia la necesidad de mayores espacios para su disposición.

Por otro lado, la escasez del agua ha llevado a evaluar diversas alternativas tales como utilización de agua de mar y generación de relaves espesados con consistencia de pasta, esto nos indica que estos temas como aumentar la recuperación de agua, contar con relaves depositados en forma estable y disminuir el espacio necesario para su disposición final son cada más importantes, por lo que se debe encontrar solución inmediata.

De acuerdo con lo anterior, la tecnología de los relaves espesados en los últimos tiempos ha alcanzado un interesante desarrollo en ingeniería y tecnología para la administración y cuidado de este desecho minero, volviéndose cada vez más atractiva para las empresas mineras debido a sus ventajas tales como: mitigación sustancial de infiltraciones en el subsuelo, disminución de polución por polvo, estabilidad sísmica sin riesgo de derrame de relaves, plan de cierre de fácil aplicación, bajos costos y principalmente una buena recuperación de agua.[1]

1.2 Planteamiento del problema

Actualmente, la mayoría de las empresas mineras utilizan el proceso convencional de depositación de relaves, es decir levantamiento de muros a partir de arenas del mismo material.

Este sistema tiene la ventaja de ser una tecnología probada y de reducido costo en el corto plazo, pero en el mediano plazo la situación se hace más compleja, ya que el ángulo del talud del muro es bajo de modo que se requieren grandes extensiones.

Esto significa que si se sigue aplicando el método tradicional, en el largo plazo el tranque no tendrá la capacidad suficiente para almacenar todo el relave, haciendo necesario buscar, construir, habilitar y operar un nuevo tranque, lo que implicaría nuevas inversiones incrementando costos de inversión y de operación.

Adicionalmente, cabe indicar que la recuperación de agua contenida en el relave usando la metodología tradicional de depositación, no es eficiente, dado que sólo se puede recuperar para el proceso un tercio de dicho flujo y el resto se pierde por evaporación, infiltraciones u otras causas.

Dentro de las desventajas que tiene este sistema se menciona además: el arrastre de relaves por efecto de lluvias intensas, filtración de aguas del relave al entorno e infiltraciones bajo el tranque, el levantamiento y arrastre de material fino por acción del viento.

Para evitar o disminuir las etapas de construcción de nuevos muros de contención y aumentar considerablemente la recuperación de agua, se pretende investigar, analizar y evaluar la alternativa de aplicar la tecnología de espesamiento de relave con el objeto de validarla, de tal forma que permita disponer de un relave con alto contenido de sólidos y utilizar estos relaves para desarrollar pruebas básicas que permitan identificar los principales factores operativos y los efectos que podrían causar al variarlos.

A continuación se presentan las ventajas de este método de depositación:

Debido a que la pasta corresponde a una mezcla de sólidos y agua con una altísima concentración de sólidos, se minimizan los riesgos de fallas geomecánicas asociadas a los tranques convencionales.

Esto, debido a que se ha extraído el máximo de agua para alcanzar la consistencia de pasta y los relaves ya no están saturados, por lo tanto frente a eventos sísmicos difícilmente podrían desarrollar el fenómeno de licuefacción.

Al no estar saturados, se minimizan los riesgos de generación de aguas ácidas y lixiviación de metales, ya que no existe movimiento de agua en la pasta de relaves.

Además, las pérdidas de agua por infiltración, así como los riesgos de contaminación debido a infiltraciones son mínimas, por no decir, inexistentes.

Por otro lado, la recuperación de agua desde los relaves se incrementa enormemente, lo que se refleja en una importante reducción de los costos de abastecimiento de agua fresca.

Este punto es particularmente importante para el caso de las faenas mineras ubicadas en la zona norte de nuestro país, que en muchos casos tienen limitadas posibilidades de expansión debido a una baja disponibilidad de agua.

Capítulo 2: OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

El objetivo general de esta memoria es proponer conceptualmente y evaluar un proceso que permita obtener un relave espesado con un contenido de sólidos superior al 65%.

2.2 Objetivos Específicos

- Seleccionar equipamientos y reactivos químicos para la operación de espesamiento de relaves.
- Obtener un diseño de planta piloto de espesamiento de relaves.
- Evaluar el funcionamiento de la planta piloto de espesamiento de relaves e identificar los principales factores operativos y los efectos de las variaciones de estos.
- Evaluación del costo del proyecto.

Capítulo 3: DESCRIPCIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN PARA LA CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DEL PROCESO DE ESPESAMIENTO

El objetivo de este capítulo es describir el plan de acción de esta investigación para la evaluación del proceso de espesamiento de relaves.

Se trabajará en una planta piloto ya existente de espesamiento de Relaves con una capacidad máxima de tratamiento de 1.85 [ton/h] perteneciente a la empresa Metalquim, ésta se encuentra ubicada en las dependencias del tranque de relave Ovejerías perteneciente a Codelco División Andina, por lo que el relave utilizado en las pruebas, será proveniente de una etapa anterior de flotación realizada en DAND, es un relave con alto contenido en sólidos de aproximadamente 30% en peso desde el canal.

Para iniciar este proceso se debe contar con los siguientes elementos tales como: Relave, Floculante y Agua, gracias al floculante se aglomeran las partículas sólidas presentes en el relave de manera que sedimentan al fondo del espesador, formando una interfase de sólidos llamada “cama”, por su parte el líquido contenido en el relave se recupera y sube a la parte superior del espesador por diferencia de densidades de manera de recuperar el agua por rebalse.

Ese es básicamente el proceso, entonces en primera instancia se realizará ensayos en laboratorio de sedimentación con el fin de seleccionar el floculante que funcione de mejor modo con el tipo de relave que se dispone para el proceso y también encontrar la mejor concentración de sólidos en la pulpa de relave a la entrada del espesador,

El beneficio de esto se debe principalmente por lo siguiente: al ser un material con demasiado sólido se dificulta el transporte de este por las cañerías produciéndose problemas tales como: sedimentación de los sólidos en las líneas de transporte provocando el embancamiento de las líneas, sobreexigiendo el trabajo de las bombas además, es por esto que resulta imposible alimentar el relave tal como viene del canal con un 50% de sólidos, es por esto que se justifica el trabajo en laboratorio con el afán de encontrar una dilución que permita una alimentación al espesador sin presentar los problemas anteriormente mencionados.

Una vez seleccionado el floculante y la dilución óptima de relave con agua que debe ingresar en el espesador comienza el proceso de espesamiento donde se pretende controlar las siguientes variables. Tiempo de residencia, Flujo de alimentación de relave diluido, Flujo de alimentación de floculante, Flujo de descarga de relave espesado, Flujo de agua recuperada, para de este modo poder identificar los principales factores operativos y los efectos que podrían causar al variarlos con el objetivo de optimizar el proceso, entendiéndose por esto que se pretende una descarga de relave espesado con concentraciones superiores al 65% de sólidos y una máxima recuperación de agua.

Además de los controles metalúrgicos como: la medición de la gravedad específica del relave, el porcentaje de sólidos en la alimentación y la descarga del espesador, sólidos suspendidos en el agua recuperada, altura de interfase o también llamada “cama” para así poder calcular las tasas de alimentación y de descarga.

Finalmente se diseñará un set de pruebas donde en cada una se irá cambiando las condiciones operacionales, tales como tasa de alimentación y la altura de interfase, con el objetivo de encontrar los mejores parámetros operacionales, tales como: mayor tasa de procesamiento de relave y mayor flujo de recuperación de agua.

A continuación se presenta el programa experimental propuesto para la optimización del proceso de espesamiento de relaves, con las variables respectivas a manipular.

Tabla N°1: Programa experimental de pruebas.

Condición N°	Tasa de Alimentación [ton/h/m ²]	Altura de Interfase [m]	% Sólidos Descarga	Dosificación Floculante [gr/ton]
1	1.5	4	65	15
2	1.5	3	65	15
3	2	4	65	15
4	2	3	65	15

Capítulo 4: MARCO TEÓRICO

4.1 Descripción General del Proceso de Espesamiento.

En la Figura N° 1 se muestra un esquema general del proceso continuo de espesamiento de relaves, incluye succión y transporte de relaves, alimentación al espesador y descarga del espesador.

Una vez que el relave es capturado de una operación unitaria anterior por un sistema venturi, es transportado desde una cañería de alimentación a un estanque acondicionador, donde el objetivo es diluirlo y homogenizarlo hasta obtener la concentración de sólidos óptima para que ingrese al feedwell del espesador, que es un cajón interno de alimentación donde su principal objetivo es realizar la mezcla de relave con agua y floculante alimentado por otra línea, actuando como desaireador eliminando las burbujas de aire que perjudican el contacto floculante-sólido, a su vez disminuyendo la turbulencia a la entrada del espesador.

Por otro lado se encuentra la planta de preparación de floculante, una vez listo el floculante se transporta a través de una cañería hacia el feedwell.

Una vez que se forman los flóculos en el espesador los sólidos y el líquido asociado a la pulpa se separan rápidamente, los sólidos se van rápida y constantemente al fondo del espesador (denominada zona de compresión) y el líquido sube rápidamente hacia la superficie, recuperándose esta agua y siendo alimentada nuevamente al proceso.

La formación de pastas en la descarga del espesador se logra extendiendo la zona de compresión del espesador y aumentando las dosis de floculante, esto permite obtener altos sólidos en la descarga.

Por su parte el agua recuperada retorna al estanque acumulador de agua por rebalse del espesador por gravedad.

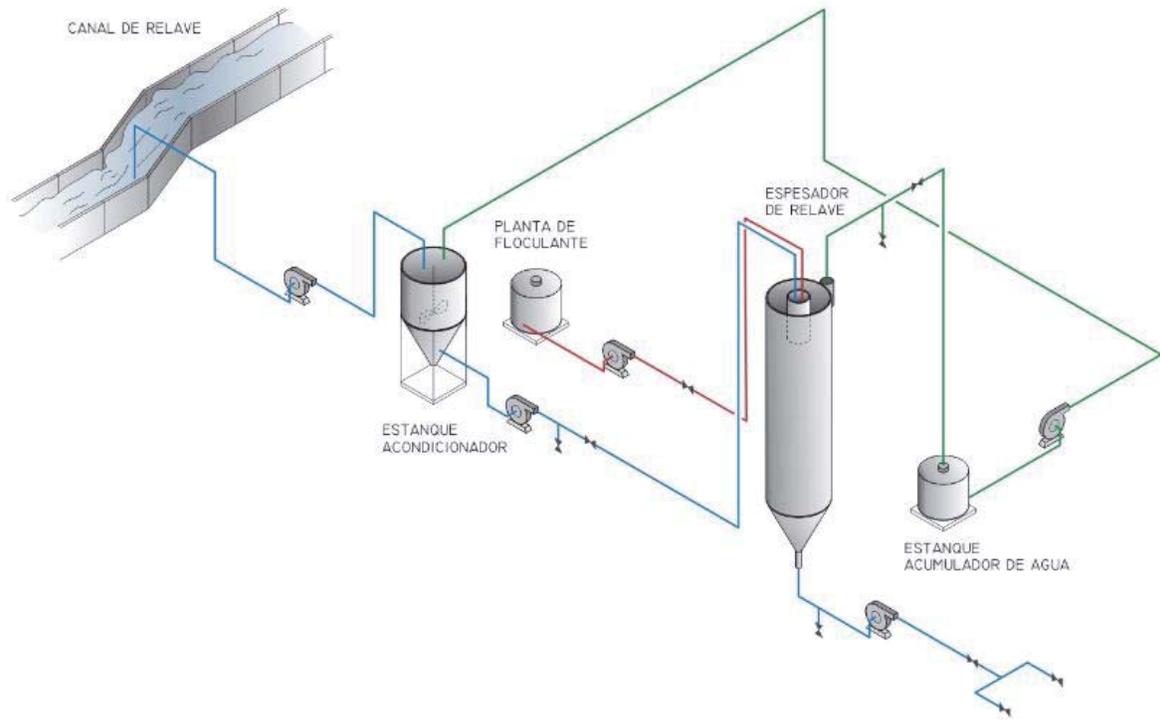


Figura N°1: Descripción del Proceso de Espesamiento de Relaves.

4.1.1 Succión y Transporte de Relaves

El relave que se dispone para la operación proviene de una planta de concentración de cobre perteneciente a DAND, siendo desechado a través de un canal para finalmente terminar en el Tranque Ovejería, para la obtención de este, se puso un puente sobre el canal y de ahí se instaló un venturi de captación de relave a través de una boca por la cual ingresa, sube por un tubo conectado en forma vertical de acuerdo a principio de Bernoulli, llegando a línea de alimentación principal hacia la planta para luego llegar al estanque acondicionador de relave donde se alimenta agua por otra cañería y se diluye hasta lograr una concentración de sólidos alrededor de 20%.

En el proceso el sistema Venturi debe ser bajado al canal de relaves por medio de un sistema de levantamiento (tecle de cadena) durante el proceso de succión.

Una vez que baje el Venturi, el relave será transportado por una bomba de succión junto con el agua de dilución hacia la entrada del feedwell.

4.1.2 Alimentación al Espesador

En ésta etapa del proceso se compone de tres sistemas los cuales son inyección de agua de dilución, alimentación de relave y floculante.

El sistema de agua de dilución corresponde al agua que se inyecta al estanque acondicionador de relave para lograr la dilución óptima, de modo que no ocurra la sedimentación en la línea de alimentación y evitar los embancamientos, para el transporte del agua se utiliza una bomba centrífuga.

Como partida inicial, se comienza con el llenado del espesador con solamente agua. Posterior a ello se ingresaría la pulpa del relave y floculante para realizar la respectiva mezcla y comenzar con el proceso.

La cantidad de agua va a depender de los parámetros operacionales exigidos en su momento, de la capacidad de la bomba, de la cantidad de pulpa de relave a tratar y lo más importante, de la capacidad de tratamiento del espesador.

El sistema de alimentación de floculante se inicia con la preparación e inyección de este reactivo al feedwell, el cual por un proceso que será descrito más adelante, generará flóculos los que se irán depositando en el fondo del espesador e irán formando una interfase con un alto porcentaje de sólidos.

4.1.3 Descarga del Espesador

La etapa se basa en los sistema de descarga de la pasta por bombas y el sistema de descarga de agua recuperada por rebose en la parte superior del espesador.

La descarga de la pasta por la parte baja del espesador se realiza por bombas peristálticas dispuestas para ello, las cuales están conectadas al espesador con válvulas y salen ambas a una unión tipo Y con sus respectivas válvulas más los respectivos despiches para la toma de muestra.

El sistema de descarga de agua recuperada en el proceso sale por la parte superior del espesador (overflow). Esta agua es conducida por gravedad al estanque recuperador de agua la cual se reutiliza en proceso de dilución

4.2 Espesadores

Los espesadores están compuestos por un tanque circular, la alimentación es realizada por la región central lo que permite la distribución homogénea de la pulpa de forma que la sedimentación pueda ocurrir adecuadamente. Las principales características de un espesador convencional son:

- Tanque cilíndrico.
- Parte inferior del tanque cónica.
- Posee una Caja de alimentación “Feedwell”.
- Posee Canaleta para la recuperación de agua clarificada, overflow.
- Posee rastra.

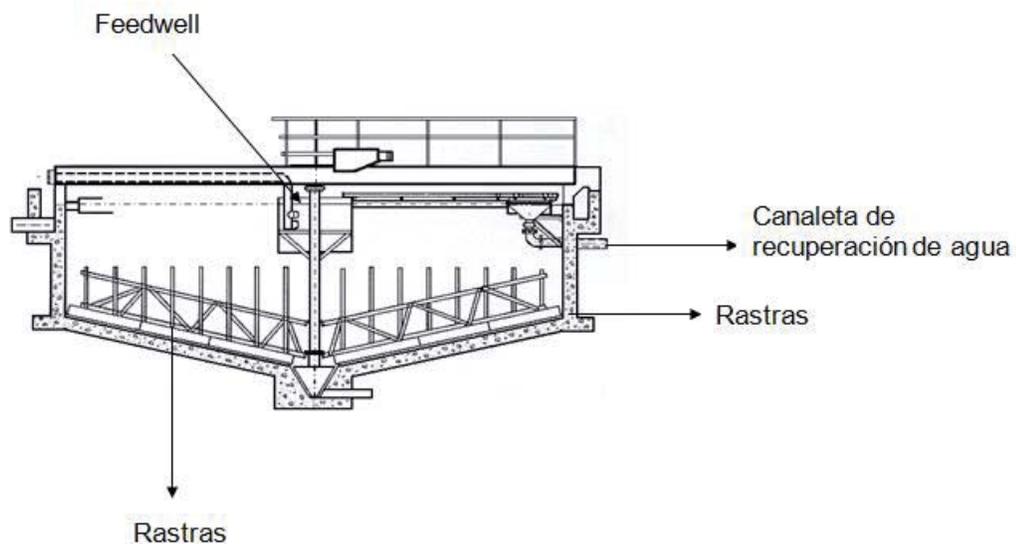


Figura N° 2: Espesador Convencional

Como se puede apreciar en la Figura N°2 los principales componentes de los espesadores, el feedwell compuesto de un cilindro concéntrico al estanque y de pequeño diámetro, cuyo objetivo principal es permitir una buena distribución de la

alimentación al espesador, además de mejorar la mezcla de la pulpa y el floculante, y en algunos casos para diluir la alimentación. El cilindro puede tener baffles internos y agujeros para la entrada de agua de dilución.

La rastra tiene por objetivo llevar el material depositado en el fondo del espesador hacia la abertura de descarga. Un resultado secundario de las rastras es la formación de canales a su paso por el material depositado, por los cuales escurre agua, permitiendo un aumento de la concentración del sedimento. La tracción de las rastras puede ser a través de un motor central ubicado en la parte superior del eje o periférica, con el motor montado sobre rieles en el borde del estanque del espesador.

Las canaletas de rebalse en la periferia del espesador tiene por objetivo evacuar el agua recuperada a una velocidad suficientemente baja para evitar el arrastre de partículas finas.

En la Figura N°3 se aprecia la dinámica que ocurre al interior del espesador, a continuación se describe brevemente este proceso.

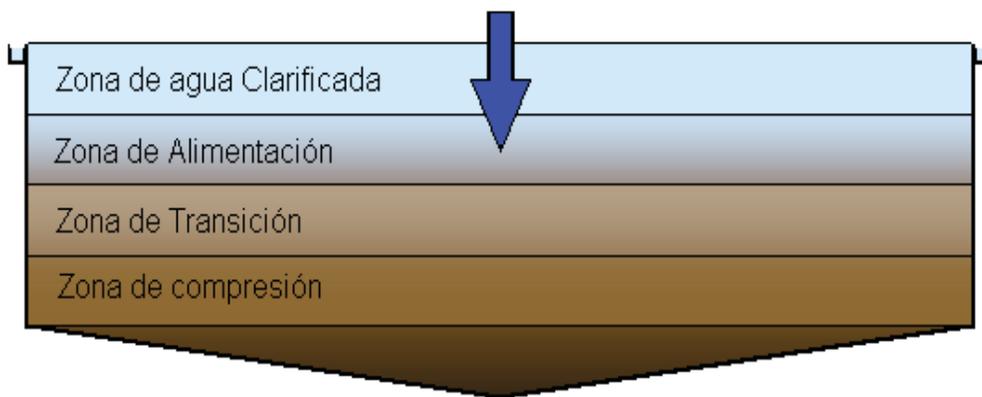


Figura N° 3: Zonas de sedimentación en espesadores industriales

El espesamiento es un tipo de separación sólido líquido basado en la sedimentación, en este proceso se presentan cuatro regímenes distintos, denominados: Zona de agua clarificada, Zona de alimentación, Zona de transición y Zona de compresión.

Los regímenes de clarificación predominan en situaciones de mayor dilución de pulpa donde las partículas sólidas están más distantes unas de las otras.

En la zona de Alimentación puede ocurrir un aumento de la concentración de partículas de la pulpa como el aumento en la tendencia a la formación de agregado.

La zona de transición lleva la concentración del interior del espesador a la concentración del sedimento. Esta transición puede efectuarse mediante una onda de choque, mediante una discontinuidad de contacto, mediante una onda de rarefacción o la combinación de éstas.

La zona de compresión se caracteriza por un aumento de densidad de pulpa o a la mayor tendencia de formación de agregados. Las estructuras formadas en este régimen son rígidas de tal forma que cada capa de sólidos puede soportar mecánicamente las capas superiores. [2]

4.3 Floculación

La floculación es un proceso en el cual una sustancia dispersa se separa del líquido que la contiene en forma de partículas pequeñas, por acción de un floculante.

En la minería, los floculantes utilizados son polímeros sintéticos de alto peso molecular, cuyas moléculas son de cadena larga y con gran afinidad por las superficies sólidas. Estas macromoléculas se fijan por adsorción a las partículas y provocan así la floculación

La ventaja de los floculantes sintéticos es que su estructura molecular, en términos de su contenido químico como peso molecular y su grado de hidrólisis, o ionicidad, pueden ser diseñada a voluntad de acuerdo a las necesidades encontradas en la industria.

Como son producidos a partir de materias primas químicas, su calidad es más consistente que la de floculantes naturales. Además, pueden ser diseñados con pesos moleculares mucho mayores que los encontrados en la naturaleza, lo que les da una ventaja técnica y económica. [3]

4.4 Conceptos básicos y generalidades sobre los Relaves

Toda planta minera cuyo proceso de concentración es flotación produce residuos sólidos que se denominan relaves y que corresponden a una suspensión fina de sólidos en líquido, constituidos fundamentalmente por el mismo material presente en el yacimiento, al cual se le ha extraído la fracción con mineral valioso, formando una pulpa, que se genera y desecha.

La razón aproximada de agua/sólidos del relave van del orden de 1:1 a 2:1. Las características y el comportamiento de esta pulpa dependerá de la razón agua/sólidos y también de las características de las partículas sólidas, como se muestran a continuación:

- Una masa de relaves con un gran contenido de agua escurrirá fácilmente, incluso con pendientes pequeñas.

- Una masa de relaves con un contenido de agua suficientemente bajo (por ejemplo, relaves filtrados) no escurrirá gravitacionalmente.
- Si las partículas sólidas son de muy pequeño tamaño (equivalentes a arcillas), se demorarán un gran tiempo en sedimentar, manteniéndose en suspensión y alcanzando grandes distancias respecto al punto de descarga antes de sedimentar.
- Si las partículas sólidas son de gran tamaño (equivalentes a arenas) sedimentarán rápidamente y se acumularán a corta distancia del punto de descarga.

Las alternativas a utilizar en la depositación de un material de relaves, dependerá de las características de los relaves que produce la planta (cantidad suficiente de material tamaño arena), del costo del agua (si es escasa, se justifican inversiones en equipos para optimizar su recuperación) y, de las características del lugar de emplazamiento del depósito de relaves.

Para conseguir estructuras estables con los relaves, deben determinarse sus características, similares a lo que se hace con los suelos (granulometría, densidad relativa, etc.) [4]

4.4.1 Opciones para la descarga de los Relaves

a. Descarga del Relave Completo

Para esta forma de descarga se requiere disponer de un volumen suficientemente grande para permitir almacenar todos los relaves que se producirán durante la vida útil de una planta. Pueden utilizarse cavidades "pre- existentes" como: rajos mineros abandonados, depresiones naturales en superficie, cavernas naturales, antiguas minas subterráneas abandonadas, etc.

En cualquiera de estos casos, si bien en el pasado en Chile pudieron darse la posibilidad de ser considerados, hoy debido a la legislación ambiental vigente resulta difícil de ser aceptados por su alta connotación ambiental y deberían realizarse estudios muy completos y detallados para demostrar que no se afectará el medio ambiente.

Por esto para la descarga de relaves completos, resulta técnica y ambientalmente más aceptable construir un muro perimetral con talud interno impermeabilizado hecho con material grueso de empréstito y generar así una cubeta de depositación. Este tipo de depósito de relaves se denomina Embalses de Relaves y han sido aceptados como alternativa de depositación de relaves en nuestro país.

b. Construcción del Muro Resistente con Parte del Relave

Esta opción corresponde a tratar los relaves, de manera de separar la fracción gruesa (arenas de relaves) de la fracción fina (lamas), para poder utilizar la primera como material para la construcción del muro perimetral y descargar la segunda a la cubeta de embalse. Al construir el muro utilizando las arenas de los relaves, es posible hacerlo de 3 formas o métodos de crecimiento distintas: Crecimiento del muro hacia aguas arriba crecimiento del muro hacia aguas abajo y crecimiento del muro según el método llamado eje central o mixto. Cualquiera de estos métodos constructivos conforman finalmente a los denominados en Chile Tranques de Relaves.

c. Material de Relaves Equivalente a un Suelo Húmedo.

Esta opción requiere tratar los relaves, de manera de extraerle la mayor cantidad de agua, obteniendo así un material equivalente a un suelo húmedo el cual puede ser depositado sin necesidad de un muro para su contención.

Para este propósito se utiliza la técnica de espesamiento de relaves. Esta opción requiere tratar los relaves provenientes de la planta, de manera de extraerle la mayor cantidad de agua, obteniendo así un material equivalente a un suelo húmedo el cual puede ser depositado sin necesidad de un muro perimetral para su contención.

Para este propósito existen distintos métodos: “Espesar los Relaves” o “Filtrar los Relaves” [5]

4.4.2 Depósitos de Relaves

Dentro de la disposición de relaves existen diferentes y variadas formas de depositación de que dependiendo de diversos factores como son las cercanías al concentrador, capacidad de almacenamiento de relaves, topografía del lugar, producción del yacimiento se deberá seleccionar la forma más apropiada para disponer estos relaves.

Con respecto a lo anterior, los distintos tipos de “Depósitos de Relaves” que se consideran son los siguientes:

- Embalses de Relaves
- Depósito de Relaves Filtrados
- Depósito de Relaves Espesados.

4.4.2.1 Embalses de Relaves

Este tipo de depósito de relaves consiste en construir un muro resistente hecho totalmente de material de empréstito, compactado e impermeabilizando el talud interior del muro como se puede apreciar en la Figura N°4, el relave se deposita en la cubeta sin necesidad de clasificación, pero también deben disponer, de un sistema de evacuación de las aguas claras de la laguna que se forma. La diferencia fundamental entre un embalse destinado a la acumulación de agua y uno destinado a relaves es que mientras el embalse para agua se construye de una vez con su capacidad definitiva, el embalse para relaves se puede ejecutar por etapas a medida que se avanza con el depósito de los relaves, a fin de no anticipar inversiones y reducir a un mínimo su valor presente. La construcción por etapas obliga a que la zona impermeable de la presa se diseñe como una membrana inclinada cercana y en la dirección del talud de aguas arriba. Un perfil como éste, limita los grados de libertad en el diseño de las presas de tierra, cuando están destinadas a contener relaves.

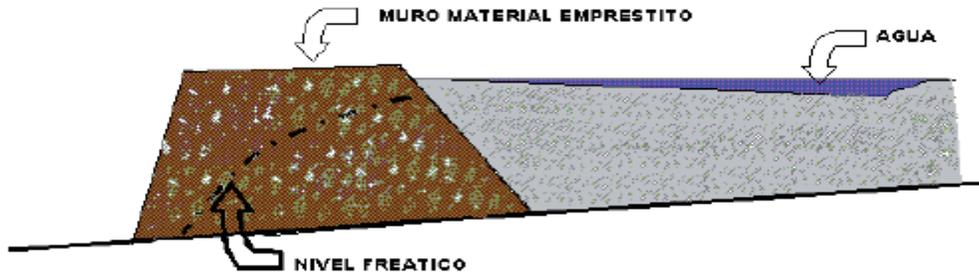


Figura Nº 4 Embalses de Relave.

4.4.2.2 Deposito de Relaves Filtrados

Este tipo de depósitos de relaves es muy similar al de los relaves espesados, con la diferencia de que el material contiene menos agua debido al proceso de filtrado utilizando equipos similares a los que se emplean para filtrar concentrados, como son los filtros de prensa o de vacío.

El relave una vez filtrado se transporta al lugar de depósito mediante cintas transportadoras o bien mediante equipos de movimiento de tierra y/o camiones. En el primer caso, se logra un domo de material; mientras que en el segundo caso se utiliza el equipo de movimiento de tierras para ir construyendo módulos de material compactado, los cuales permiten conformar un depósito aterrazado de gran volumen se observa en la Figura Nº5 . Es importante señalar que en este método, aunque el contenido de humedad que se logra (20% a 30%) permite su manejo con equipos de movimiento de tierra, es suficientemente alto como para tener un relleno prácticamente saturado, por lo que es posible que se produzcan infiltraciones importantes de las aguas contenidas en estos relaves si el suelo de fundación es relativamente permeable. También es necesario señalar que la presencia de algunas arcillas, yeso, etc. en los materiales de relaves pueden reducir significativamente la eficiencia de filtrado.



Figura N° 5 Depósito de Relaves Filtrados.

4.4.2.3 Depósito de Relaves Espesados

Los relaves espesados corresponden a una mezcla de agua con sólido, que contiene partículas finas y un bajo contenido de agua, de modo que esta mezcla tenga una consistencia espesa, similar a una pulpa de alta densidad.

Una buena pasta de relaves requiere tener al menos un 15% de concentración en peso de partículas de tamaño menor a 20 micrones. La mejor propiedad de las pastas de relave es que pueden ser eficientemente transportadas en tuberías sin los problemas de segregar o sedimentar que ocurren normalmente en las pulpas de relaves y una vez depositados los relaves, se dejan secar, luego acopiar, permitiendo así minimizar la superficie de suelo.

La consistencia alcanzada permite que una pasta permanezca estable aun cuando esté varias horas sin moverse.

Es posible producir materiales con la consistencia de pasta a partir de un amplio rango de concentración de sólidos en peso y sobre la base de la variación de la distribución de tamaño de las partículas. Es decir, la producción de pasta es específica para cada tipo de material.

Cuando se dispone pasta de relaves en superficie, una muy pequeña fracción de agua podrá drenar o infiltrarse, ya que la mayor parte de la humedad es retenida en la pasta debido a la tensión superficial de la matriz de suelo.

Con la alternativa de pasta no se requiere una solución tipo embalse. Para faenas de pequeña escala, la pasta puede ser transportada en camiones desde las instalaciones de operación y descargadas en el lugar de disposición final.

Una vez depositada, se deja secar y se puede acopiar como se aprecia en la Figura N°6. Esta forma de acumular, permite minimizar la superficie de suelo cubierto con relaves, realizar un cierre progresivo y al cese de operaciones, el depósito puede ser dejado sin requerir medidas adicionales de cierre.

Para faenas de mayor tamaño, por economía de escala para el manejo de materiales, el sistema considera el uso de bombas o cintas transportadoras hasta un repartidor que realiza la disposición final. Cabe destacar que debido a su alta densidad, las pastas son transportadas mediante el uso de bombas de desplazamiento positivo.[6]

En los depósitos de relaves en pasta se reducen significativamente lo siguiente:

- La necesidad de diseñar y construir grandes depósitos.
- El volumen de materiales involucrados en la construcción de depósitos.
- Los riesgos de generación de aguas ácidas y lixiviación de metales.
- El manejo del volumen de agua clara.
- Las pérdidas de agua por infiltración y evaporación.
- La superficie de suelo para disponer los relaves, optimizando el uso del suelo.
- La emisión de material particulado.

En los depósitos de relaves en pasta se incrementa significativamente lo siguiente:

- La recuperación de agua desde los relaves
- La aceptación ambiental de la comunidad.
- La posibilidad de co-depositar junto a otros residuos mineros (estériles o lastre)
- La flexibilidad operacional.



Figura Nº 6 Depósito de Relave espesados.

4.5 Conceptos básicos y generalidades sobre los Relaves Espesados

4.5.1 Propiedades y características de un Relave Espesado.

Un relave espesado o pasta de relave corresponde a una mezcla de agua con sólidos, que contiene abundante partículas finas (entre un 15 y 20% en peso de los sólidos debe ser de un tamaño inferior a 20 micrómetros).

Características:

El bajo contenido de agua (entre un 10 a un 30%), hace que esta mezcla tenga una consistencia espesa. Existe muy poca diferencia entre una pulpa de relave de alta densidad y una pasta de relave.

Los relaves espesados o en pasta pueden ser eficientemente transportados en tuberías sin presentar los problemas de segregación o sedimentación que ocurren normalmente con las pulpas de relaves (relaves con un porcentaje de sólidos inferior que la pasta). La variabilidad de tamaños evita que las partículas se segreguen y sedimenten cuando la mezcla esté en reposo, esto se debe a que las partículas finas (típicamente menores a 20 micrómetros) forman enlaces a través de interacciones electroestática, estos enlaces resultan en una malla continua que actúa como una especie de red que retiene a las partículas más gruesas no pudiendo éstas segregarse ni sedimentar; esta malla se rompe solamente cuando existe algún tipo de presión aplicada.

La consistencia alcanzada permite que el relave espesado permanezca estable aún cuando esté varias horas sin moverse. La pasta puede formarse a partir de una gran variabilidad de componentes como cuarzo, feldespato, arcillas, micas y sales.

Es posible producir materiales con la consistencia de una pasta a partir de un amplio rango de concentración de sólidos en peso y sobre la base de la variación de la distribución de tamaño de las partículas. Es decir, la producción de relaves espesados o en pasta es específica para cada tipo de material. No obstante, para obtener propiedades de pasta, los materiales requieren tener al menos 15% de concentración en peso de partículas de tamaño menor a 20 micrómetros. [7]

Un relave espesado o en pasta puede ser depositado en interior de minas; como relleno de minas subterráneas; o bien depositado en la superficie:

Cuando se usa como relleno de minas subterráneas se agrega cemento Pórtland u otros aditivos, para que de esta forma su resistencia y durabilidad se incremente significativamente.

Cuando se dispone en superficie, una muy pequeña fracción de agua podrá drenar o infiltrarse, ya que la mayor parte de la humedad es retenida en la pasta.

Adicionalmente, se puede mezclar roca estéril de mina y pasta de relave para ser dispuestos conjuntamente. Esta es una forma de encapsular la roca dentro de una matriz de relave “cemento -estabilizada”. Esta alternativa podría eliminar el potencial de generación de aguas ácidas y convertirse en una solución para cumplir con las regulaciones ambientales.

La mejor propiedad de los relaves espesados o en pasta es que permite una gran flexibilidad en el desarrollo del sitio de emplazamiento, es por ello que se está utilizando un método alternativo al tradicional de depositación denominado ***Thickened Tailings Disposal TTD*** (Depositación de Relaves Espesados o en Pasta).

4.5.2 Método Alternativo a la depositación tradicional de relaves

El manejo de los relaves comúnmente se realiza con pulpas diluidas, con bajas concentraciones de sólidos en peso. Los avances introducidos en el manejo tradicional de relaves consideran la creciente dependencia de sofisticadas geomembranas y sistemas de drenaje, como remedio para proteger el agua subterránea y evitar la infiltración, pero puede no corresponder a la solución exigida en el futuro por la comunidad y las autoridades reguladoras.

Durante la década pasada, la demanda por producir materiales de alta resistencia para el relleno de labores subterráneas abandonadas, permitió el desarrollo de innovaciones en las tecnologías utilizadas en la separación sólido-líquido de pulpas.

En base a estudios realizados se han analizado variadas alternativas para disminuir primero que todo, los riesgos que presentan los depósitos tradicionales de relaves y a su vez mejorar la recuperación de agua desde los relaves, llegando a la conclusión que la etapa de Espesamiento es la operación unitaria que ofrece más oportunidades para aplicar medidas de mejoramiento continuo de depositación y contribuir a incrementar la eficiencia en el uso del agua.

La producción de relaves con bajos contenidos de humedad, no segregables, espesados o en pasta, en la actualidad está siendo evaluada en nuestro país como una solución práctica para disponer los relaves en superficie. La tecnología ya se encuentra probada en otras operaciones mineras fuera de Chile como Canadá, Australia y Sudáfrica.[8]

4.5.3 Método de Disposición de Relaves Espesados, Thickened Tailings Disposal

Este método fue creado hace 30 años por Eli Robinsky en Canadá y ha sido implementado en diversos procesos mineros en el mundo. En Chile, dos compañías mineras se encuentran estudiando la factibilidad de implementar el método TTD en sus procesos: Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi en la primera Región de Tarapacá y Compañía Minera Las Cenizas en Cabildo, Región de Valparaíso.

El Método de Depositación de Relaves Espesados o en Pasta (TTD) consiste en crear un depósito de relaves en pendiente o loma auto-soportante, para minimizar o eliminar el requerimiento de muros de confinamiento y de laguna de decantación que tienen los tranques de relaves convencionales.

Para lograr esto, es necesario aumentar la consistencia de los relaves, removiendo gran parte del agua que éstos contienen. De este modo, la concentración de sólidos en el relave puede alcanzar valores cercanos al 65 o 75%, con lo que el material deja de ser segregable. Así, el material del depósito será homogéneo, permitiendo que mediante el secado por evaporación, alcance su límite de contracción, lo que representa un estado geotécnico denso, no licuable y sísmicamente estable.

Las superficies de depositación del relave espesado pueden ser valles, laderas de cerros o terrenos planos, ubicados en alguna parte cercana a la planta que genera los residuos. En el caso de valles o cerros, los relaves espesados deben ser descargados desde la parte superior para adoptar una depositación en pendiente. La pulpa fluirá aguas abajo hasta encontrar una pendiente de menor inclinación que su condición de equilibrio, la que depende de la consistencia. Así, los relaves espesados depositados en valles o cerros fluirán hasta encontrar una obstrucción topográfica o un muro. En terrenos planos se suele descargar desde una torre artificial, resultando una loma o cono de relaves.

Generalmente, gracias al espesamiento, el depósito de pasta recibe entre la tercera y la quinta parte del agua que recibiría en una descarga de relaves convencional. Por lo tanto, sólo se requiere un pequeño dique para contener las aguas lluvias y no existe agua de proceso recuperable. Desde el punto de vista de estabilidad sísmica de un depósito en pendiente, el objetivo es conseguir que el material se comporte como un suelo denso y no licuable; con el método TTD, se aprovechan dos vías de consolidación que permiten lograr este objetivo.

Para faenas de pequeña escala, los relaves espesados o en pasta pueden ser transportados en camiones desde las instalaciones de operación y descargados en el sitio de disposición final. Una vez depositados, se dejan secar y se pueden acopiar.

Esta forma de acumular, permite minimizar la superficie de suelo cubierto con relaves, realizar un cierre progresivo y al cese de operaciones, el depósito puede ser dejado sin requerir medidas adicionales de cierre.

Para faenas de mayor tamaño, por economía de escala para el manejo de materiales, el sistema considera el uso de bombas o cintas transportadoras para su final disposición. [9]

4.5.4 Caracterización Del Relave Espesado

Una vez que el relave ha sido espesado, tiene que ser transportado a la disposición final. El transporte por lo general consistirá en el de bombeo por tuberías. Existen ciertas características del relave espesado o en pasta que determinan la viabilidad de varias operaciones de bombeo y estos factores serán detallados a continuación.

4.5.4.1 Transporte:

La consistencia de los relaves espesados produce un material viscoso que por lo general exhibe un comportamiento no-newtoniano. Para estos materiales, la variable de importancia es el esfuerzo de corte.

El esfuerzo de corte corresponde al esfuerzo que debe ser excedido antes de la deformación para que así la mezcla pueda fluir. Rara vez es un valor exacto, este puede variar con el valor de la deformación y la naturaleza de la carga de tensión. Sin embargo, en general, es una fuerza muy baja comparada con fuerzas usualmente encontradas en los suelos a través de prácticas ingenieriles de geotecnia.

El esfuerzo de corte de un relave espesado o en pasta puede ser afectado por la adición de floculantes y el costo del transporte del material puede ser optimizado manipulando la adición de floculante.

La viscosidad y el esfuerzo de corte de los relaves influyen en la energía de bombeo requerida para transportar el material en una tubería causando allí un contenido de sólidos óptimos en donde ésta energía es un mínimo.

4.5.4.2 Depositación:

Las principales preocupaciones en relación a un proyecto que implica la tecnología de depositación de relaves espesados o en pasta probablemente sean las propiedades ingenieriles de los relaves una vez que ellos hayan sido depositados.

- **Geometría del Depósito:**

Cuando los relaves son depositados como una mezcla, ellos fluyen como un líquido desde el punto de descarga hacia el punto más bajo del acorralamiento. Este flujo es típicamente separado y serpenteado sobre la playa de depositación. Si el contenido de agua de deposición es alto, como ocurre con la disposición convencional de relaves, la segregación de las partículas más gruesas de las más finas ocurrirá, las partículas más gruesas quedan cerca del punto de deposición y las partículas más finas son transportadas mucho más lejos.

En el proceso de conducción por gravedad, la cantidad de segregación que ocurre y la distribución de los tamaños de partículas a lo largo de la “playa” de depositación es una función tanto del contenido de agua del depósito, la distribución del tamaño de partícula, como de la mineralogía del relave.

Si una corriente de relaves es lo suficientemente espesada, la segregación de partículas será sumamente limitada (esencialmente no ocurrirá en circunstancias ideales) y mezclas aún de muy de alta densidad (y posiblemente algunas pastas) fluirán como un líquido viscoso.

Las cuestas de la playa de depositación serán una función de muchos parámetros incluyendo, desde luego, el contenido de sólidos, la consistencia y la viscosidad del producto espesado.

Basados hasta el momento en la experiencia industrial, aún con mezclas de alta densidad las cuestas tienden a ser relativamente planas en la mayoría de los casos aunque pueden haber excepciones. Se espera que los relaves espesados con consistencia de una pasta formaran una playa ligeramente más escarpada.

.

- **Consideraciones de Licuefacción:**

Aunque es eventualmente raro el fracaso de un depósito de relaves debido a la licuación, es relativamente catastrófico y probablemente el contribuidor primario a todas las percepciones públicas negativas de estas instalaciones.

La licuefacción puede ocurrir principalmente bajo condiciones transitorias (es decir sismos) o bien condiciones estáticas.

La licuefacción inducida por los sismos probablemente es mayormente conocida que la licuación estática. Independientemente del mecanismo que gatille la licuefacción, un relave sólo se licuará si posee un volumen en un estado potencialmente licuable (algunas veces llamado "meta-estable" "o frágil").

Existe un estado que es sensible a la licuefacción. Exactamente como determinar esta potencial sensibilidad a la licuefacción esta todavía sujeta a mucha investigación y

conjeturas, sin embargo en las consideraciones para el uso de relaves espesados y en pasta, esto es un factor que debe ser evaluado en particular si los relaves espesado fueran co-depositados con una fracción gruesa.[10]

- **Consolidación y Desecamiento de los depósitos de Relaves Espesados:**

En un proceso convencional de depositación de relaves hay un volumen grande de agua asociada con la depositación que será expulsada o bien permanecerá dentro de los vacíos del depósito de relaves. Como no toda el agua puede permanecer en los vacíos de los relaves, la expulsión del agua puede ser realizada rápidamente a través de flujos superficiales durante la deposición o bien a través del tiempo. Otra vía de expulsión puede ser por el drenaje descendente (en algunos casos en los mismos sistemas de drenajes construidos) o bien el drenaje ascendente, en el caso de que las charcas de agua se encuentren sobre la superficie, fluyen sobre la cuesta o se evaporan.

Independientemente de cómo se denomine el proceso de post-depositación, el resultado es una disminución en el volumen ocupado por las partículas sólidas y este proceso es comúnmente llamado consolidación.

La consolidación es un proceso dependiente del tiempo y en depósitos de relaves de grano fino puede ser una preocupación de interés, debido a que aún al final de la vida operacional, el relave todavía puede estar no consolidado y dificultar la rehabilitación y un cierre fácil.

Muchos depósitos de relaves espesados alcanzarán una condición de consolidación primaria dentro de un tiempo muy próximo a la deposición y facilitando esto de una forma muy temprana el acceso al relave para su rehabilitación u otras actividades.

La mayor parte de las operaciones de relaves en Australia, Sur África, el cinturón de cobre Chile/Perú y el Sureste de Estados Unidos aprovechan las relativas altas tarifas de evaporación neta que predominan en la mayor parte de sus áreas mineras, esto es lo que a menudo se llama Resecamiento Solar.

El ressecamiento solar requiere que se permita el tiempo de contacto suficiente entre los relaves depositados y la fuente solar para que ocurra el ressecamiento.

Capítulo 5: METODOLOGÍA

El objetivo de este capítulo es presentar el conjunto de procedimientos mediante los cuales se realizaron las pruebas de esta investigación para poder alcanzar los objetivos trazados desde un principio. Para lo cual este capítulo se dividirá en dos ítems, primero se partirá explicando las metodologías y luego los equipos utilizados.

5.1 Metodologías

5.1.1 Ensayos de Sedimentación

La dilución de los relaves no es aleatoria ni la misma para todos los casos depende de varios factores tales como la granulometría del relave a trabajar también el tipo de floculante que se utiliza. Por este motivo, para buen funcionamiento de espesadores de Pasta, es necesario determinar el grado de dilución óptima y una buena elección del floculante a trabajar.

Las pruebas de dilución son para determinar las condiciones óptimas de floculación, que quedan determinadas por la velocidad de sedimentación a diferentes concentraciones de sólidos en la pulpa y con diferentes floculantes.

Se prepararon una serie de pulpas a distintas concentraciones de sólidos (7%, 10%, 15%, 20%) y se probaron cinco tipos de floculantes (Rheomax 1050, Rheomax 1030, Rheomax 1010, SNF 913 y SNF 603), para cada pulpa preparada anteriormente, se utilizó una dosificación de 15 [g/ton] de floculante.

Se cargan probetas de vidrio de 2 [L] con la pulpa con la concentración de sólidos predeterminada anteriormente, se homogeniza la solución e inmediatamente se le agrega el floculante con una jeringa y se comienza a medir el tiempo cada 1 [cm] a medida que van sedimentando los sólidos. Al principio se observan los primeros floculos y posteriormente el relave comienza a sedimentar en pequeños glómeros.

El objetivo de esta prueba es medir el tiempo de sedimentación para cada solución con los diferentes floculantes en cuestión con el fin de encontrar el mejor de su serie, esto significa el que sedimente primero y forme mejores floculos (visualmente).

5.1.2 Medición de Flujos.

La medición de los flujos involucrados en el proceso de realizar de la siguiente manera: utilizando una probeta y un cronometro, el volumen de la probeta va depender del flujo a medir.

Este procedimiento se realiza idealmente con dos personas, de modo que un operador manipule el cronometro y el otro se encargue de operar la válvula correspondiente a la toma de muestra.

Se parte abriendo la válvula y dejando salir una fracción del flujo a medir de modo de asegurarnos su salida constante, luego se pone la probeta bajo el flujo y el operador encargado del cronometro debe accionarlo justo en el momento en que toma contacto la probeta con el flujo, de igual modo cuando se retire el flujo de la probeta el operador debe detener el cronometro, de este modo cuantificaremos cuanto volumen hay en la probeta en un determinado tiempo.

5.1.3 Medición de la Densidad de Relave.

La densidad de la pulpa del relave corresponde a una medición frecuente que se realiza al relave para conocer el porcentaje de sólidos con que viene desde la planta desde un proceso unitario anterior, este parámetro es muy importante, ya que debido al valor obtenido se realiza el balance de masa para saber cuánta agua se debe inyectar en la cañería de transporte de relave más agua para lograr la dilución óptima con la que debería ingresar esta pulpa ya diluida al espesador a través del feedwell.

La medición se realiza del siguiente modo: Una vez que la muestra está completamente homogénea se comienza con tarar el peso de la probeta vacía totalmente seca de 1000 [ml] en la balanza de 5 [kg] una vez obtenida la masa registrar este valor.

Luego se debe llenar la probeta de 1000 [ml] con pulpa hasta el aforo registrar el peso de la pulpa mas probeta.

La diferencia entre ([masa pulpa mas probeta] – [masa probeta]) corresponde a la masa de la pulpa con este valor y el volumen de 1000 [ml] se determina la densidad de la pulpa en [kg/l].

$$\%Cp = \frac{g_s(\mathbf{Densidad} - \rho_l)}{\mathbf{Densidad}(g_s - \rho_l)}$$

En donde:

g_s Corresponde a la gravedad específica del sólido seco y ρ_l corresponde a la densidad del líquido que conforma la pulpa, en el caso de agua de proceso este valor se asume igual a 1, Densidad corresponde al valor de la densidad de la pulpa de relave calculado mediante la metodología anteriormente nombrada y %Cp corresponde al porcentaje de sólidos en la pulpa del relave.

5.2 Equipos

Los principales equipos disponibles en la planta son los siguientes:

- Unidad de espesamiento de relaves del tipo cono profundo, de 1 [m] de diámetro por 6 [m] de altura, de procedencia WESTECH.
- Una planta de preparación de floculante con estanques de preparación y maduración independientes, de capacidades de 1 [m³] cada una, incluye una bomba dosificadora de floculante del estanque de preparación de este al feedwell.
- Un estanque acondicionador de Relave con agitador incorporado de capacidad 7 [m³]
- Un estanque de almacenamiento de agua recuperada con capacidad de 8 [m³]
- Bomba Peristáltica marca BREDEL de Descarga del Espesador (Pasta)
- Bomba de diafragma marca BREDEL de Alimentación de Relave del canal al estanque acondicionador.
- Bomba Centrifuga marca ABEL de Alimentación de Relave desde el estanque acondicionador al espesador.
- Bomba Centrifuga marca ABEL que suministra el agua desde el estanque de agua recuperada al estanque acondicionador de relave.

Capítulo 6: RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1 Ensayos de sedimentación

A continuación se muestran los resultados de los ensayos de sedimentación donde se pretende seleccionar dentro de un espectro de diferentes floculantes el mejor de su serie actuando sobre diferentes soluciones con distintas diluciones de relave ya predeterminadas con anterioridad.

Los floculantes en cuestión son los siguientes: Rheomax 1050, Rheomax 1030, Rheomax 1010, SNF 913 y SNF 603.

Las soluciones de relave diluidas fueron a la siguiente concentración de sólidos: 7%, 10%, 15% y 20%.

Los resultados de las pruebas de sedimentación se muestran en los siguientes gráficos, se puede ver el tiempo v/s la altura de sedimentación.

Como se puede apreciar en la Figura N° 7 y en la Figura N°8 los comportamientos son similares, al ser soluciones con concentraciones menores, presentan una buena floculación, pero por el hecho de haber menos relave, la tendencia de estas partículas es presentarse más dispersas en la solución de modo de que el proceso de sedimentación se hace más lento alcanzando valores de 1800 [s] y 1400 [s] para las soluciones con 7% y 10% de relave, respectivamente.

La Figura N°9 y en la Figura N° 10 que corresponden a las soluciones con mayor concentración de sólidos (15% y 20%), en estos casos la sedimentación ocurre de manera más rápida debido a lo siguiente: por el hecho de haber más partículas en solución, estas se aglomeran por efecto del floculante en partículas de mayor tamaño de modo que las aglomeraciones sedimentan de forma más rápida, presentando tiempos de sedimentación de 1000 [s] y 500 [s] para las soluciones preparadas con 15% y 20% de relave, respectivamente.

Con respecto a la selección del floculante podemos apreciar lo siguiente: para las soluciones más diluidas que vendrían siendo la con 7% y 10% de sólidos el floculante que presenta un menos tiempo de sedimentación es el Rheomax 1050, para el caso de las soluciones preparadas con mayos concentración de sólidos que vendrían siendo las con 15% y 20% de sólidos el floculante que presentó un mejor tiempo de sedimentación fue el SNF 913.

Por lo tanto, se selecciona la solución con un 20% de dilución en conjunto con el floculante SNF 913 que fue el mejor de la serie.

Hay que considerar que son dos elecciones diferentes pero para un mismo resultado, además resulta importante mencionar otro punto favorable para la elección de la solución con 20% de dilución, al poseer una solución demasiado diluida el tiempo de residencia aumenta, lo que vendría siendo desfavorable en la operación, por lo que se recomienda no trabajar con soluciones con tan bajo contenido de sólidos, además visto desde el punto de vista de transporte del fluido facilita bastante el transporte ya que al poseer menos sólidos las posibilidades que sedimente en la cañería son menores.

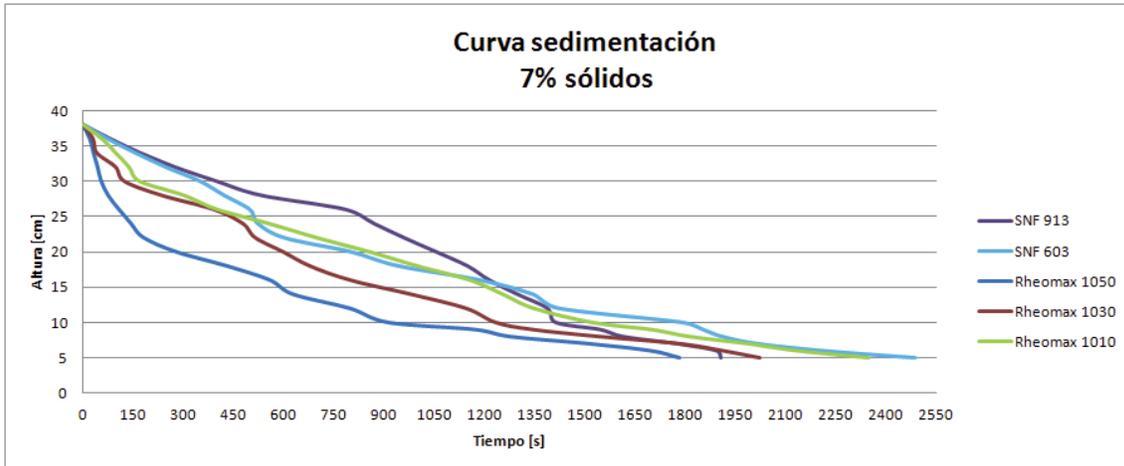


Figura Nº 7 Resultados de los ensayos de sedimentación.

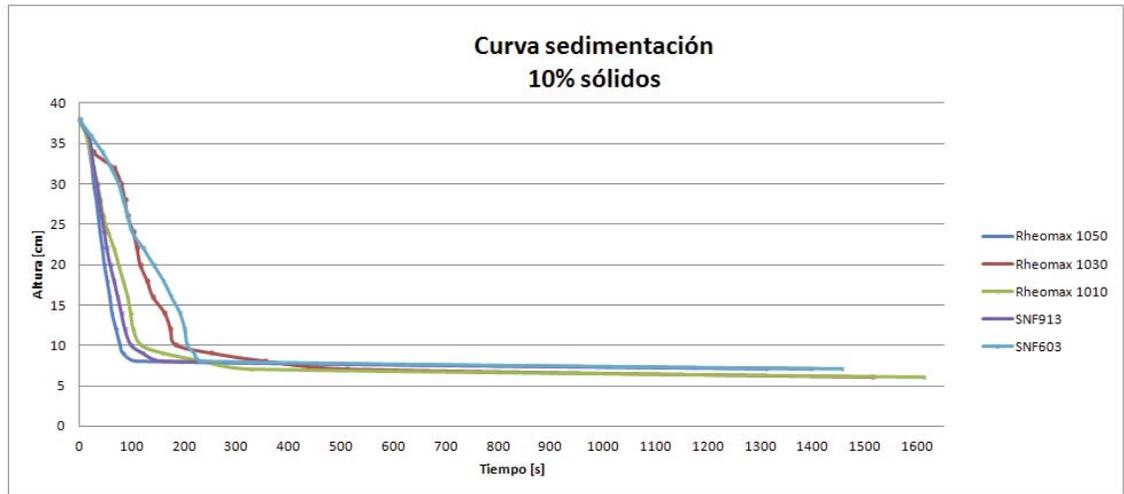


Figura Nº 8 Resultados de los ensayos de sedimentación.

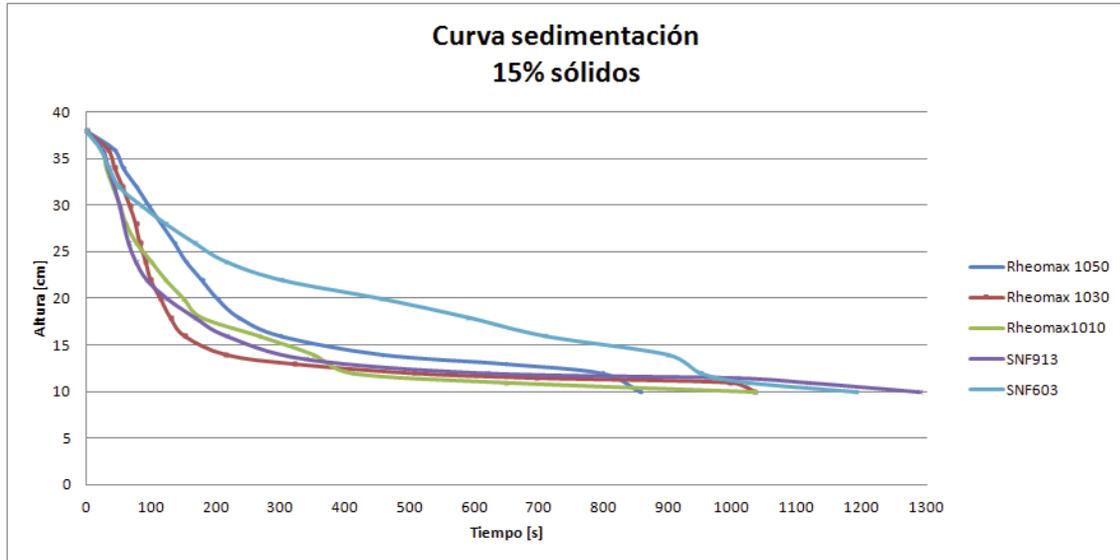


Figura Nº 9 Resultados de los ensayos de sedimentación.

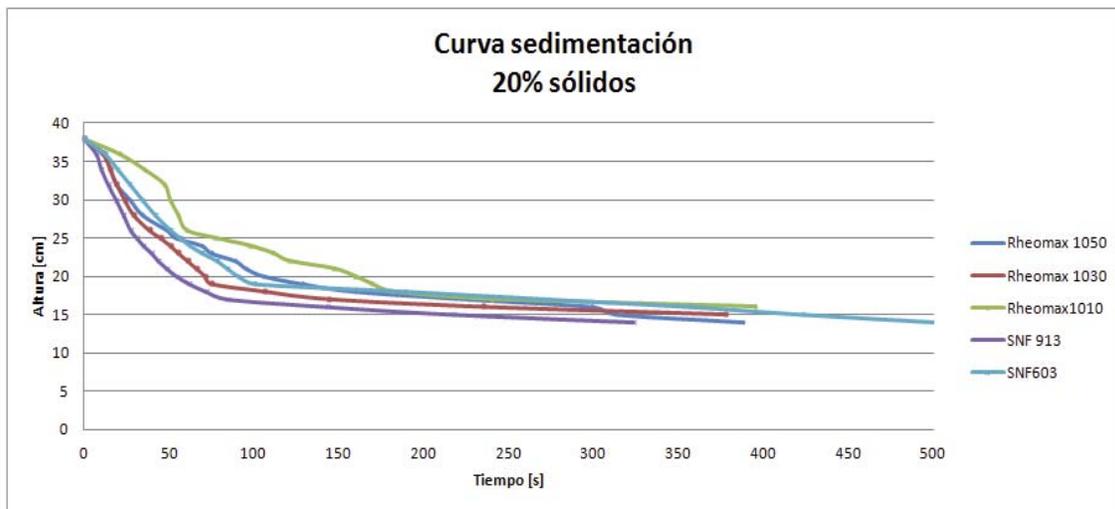


Figura Nº 10 Resultados de los ensayos de sedimentación.

6.2 Ensayos de Espesamiento de Relaves

6.2.1 Resultados Condición N°1.

A continuación se presenta el gráfico de tiempo de residencia y tasa de procesamiento y por otro lado el gráfico de Altura de Interfase, % Sólidos de Alimentación, Dosificación de Floculante y % de Sólidos de Descarga, graficados bajo las condiciones: Tasa de alimentación: 1.5 [ton/h/m²]; Altura de Interfase: 4 [m]; Dosificación de Floculante: 15 [g/ton]; % Sólidos de Descarga entre 65% -68%.

Como se puede apreciar en la Figura N°11 el comportamiento es el siguiente, la tasa de alimentación es inversamente proporcional al tiempo de residencia, se presenta un tiempo de residencia de 7 [h] promedio llegando incluso a valores de 10 [h] debido a que la tasa de alimentación disminuyó drásticamente con respecto al valor estipulado por la condición, esto podría deberse principalmente a un descuido por parte del operador si bien se toman los datos cada 1 [h] pero siempre debemos apelar al factor humano, también hay que destacar que se origina el siguiente problema debido al origen del relave (alto porcentaje en sólidos) en la cañería de transporte desde el canal hacia el estanque acumulador de relave, se arena la cañería por efecto de los sólidos disminuyendo el flujo lo que se traduce en una baja en la tasa de alimentación.

Con respecto a la Figura N°12 para la altura de interfase podríamos decir que prácticamente se mantiene constante en 4 [m], ya que hay que considerar que es bastante difícil mantener el nivel, esas fluctuaciones que se presentan se van a considerar como despreciables por el mismo motivo, para el caso de la dosificación de floculante se presenta de manera constante con un promedio de 15 [g/ton] aproximadamente hasta la hora 90, es allí donde ocurre un aumento significativo de la dosificación de floculante lo que podemos ver reflejado en los sólidos de la descarga que aumentaron llegando a valores de 70% de sólidos, debido a un exceso de floculante, es una situación límite debido que la pasta puede compactarse más de la cuenta endureciéndose lo que puede provocar que la línea de descarga se tape provocando el embancamiento del espesador.

Los sólidos de alimentación están en el rango de entre 15% y 20%, comportándose de buena manera sin ocasionar problemas operacionales.

Tabla N°2 Resumen de Datos de Condición N°1

Tiempo de Residencia [h]	7.05
Altura de Interfase [m]	4.05
% Sólidos Alimentados	13.8
Dosificación [g/ton]	17
Tasa de Alimentación [ton/h/m ²]	1.54
% Sólidos Descarga	66.96
Agua Recuperada [m ³ /h]	2.26

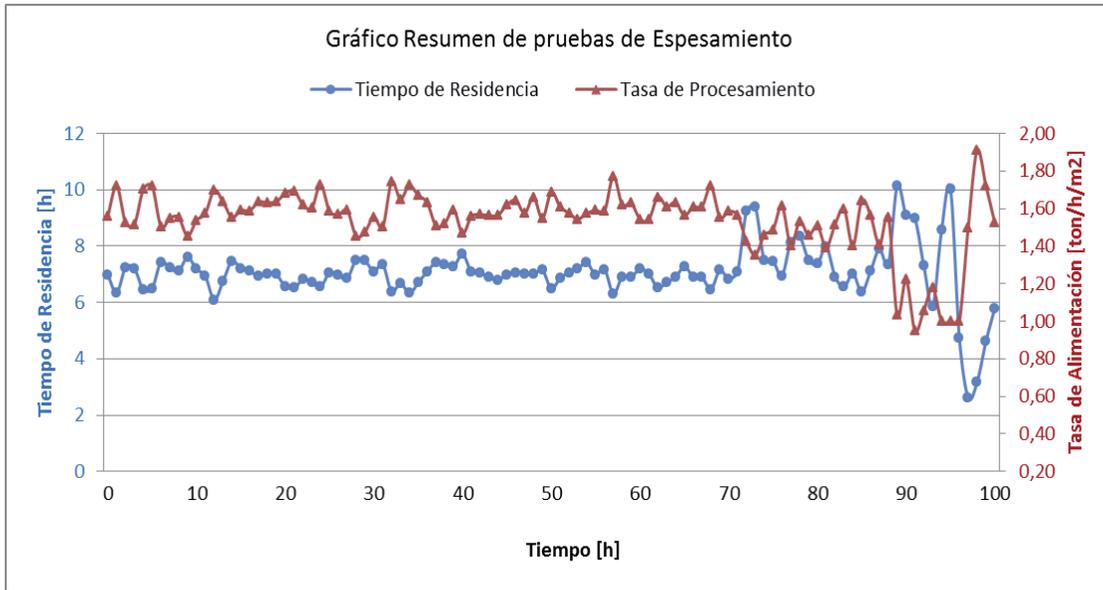


Figura N° 11 Resultados de los ensayos de espesamiento de relave.

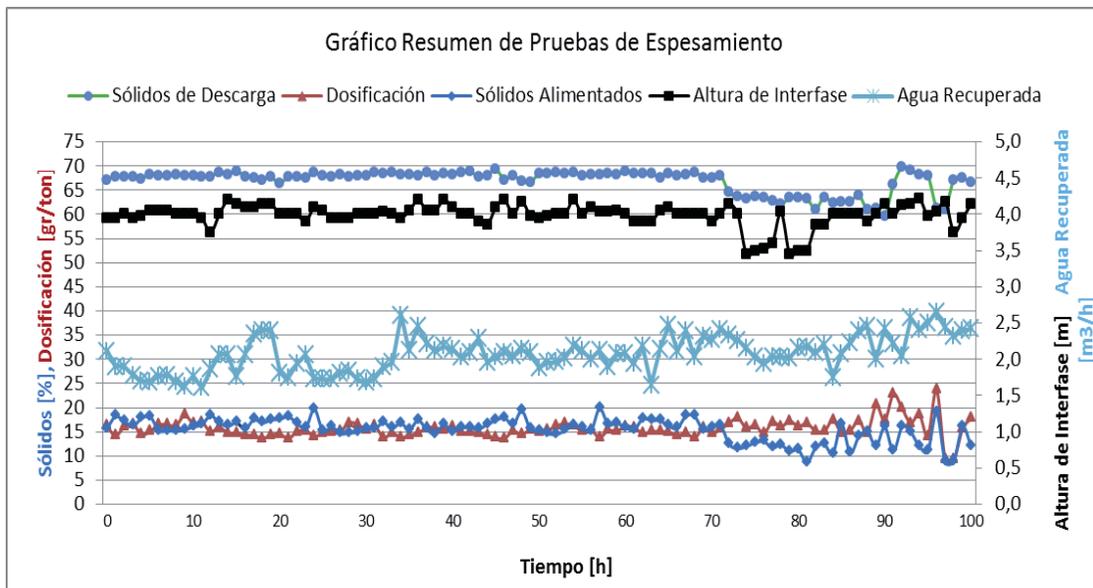


Figura N° 12 Resultados de los ensayos de espesamiento de relave.

6.2.2 Resultados Condición N°2

A continuación se presenta el gráfico de tiempo de residencia y tasa de procesamiento y por otro lado el gráfico de Altura de Interfase, % Sólidos de Alimentación, Dosificación de Floculante y % de Sólidos de Descarga, graficados bajo las condiciones: Tasa de alimentación: 1.5 [ton/h/m²]; Altura de Interfase: 3 [m]; Dosificación de Floculante: 15 [g/ton]; % Sólidos de Descarga entre 65% - 68%.

Como se puede apreciar en la Figura N° 13 la tasa de alimentación al espesador se mantiene prácticamente en un valor constante de 1.55 [ton/h/m²] aproximadamente teniendo algunos altos y bajos pero poco significativos considerando que manualmente se regulan los equipos, el tiempo de residencia promedio para esta condición fue de 6.12 [h] podemos ver que sigue la tendencia debido a que en esta condición la tasa de alimentación promedio fue 1.57 [ton/h/m²] mayor con respecto a la condición anterior 1.54 [ton/h/m²] por lo que el tiempo de residencia promedio para esta condición disminuyó a 6.12 [h] y en la condición anterior sobrepasó las 7 [h].

La altura de la interfase se mantuvo alrededor de los 3.07 [m] en promedio, prácticamente parejo, en esta ocasión los sólidos de alimentación al espesador se presentaron en menor cantidad debido a lo siguiente: el canal de relave viene con menos porcentaje de sólidos de lo habitual, por lo que la cantidad de sólidos en la alimentación disminuyó de forma considerable, registrándose un valor promedio de alimentación de sólidos de 11% esta situación comienza a cambiar al transcurrir 60 [h] aumentando el porcentaje de sólido del canal paulatinamente.

La dosificación de floculante se mantuvo en 16.58 [g/ton] dando como resultado un porcentaje de sólidos de 64.74 %.

Ahora cabe destacar efecto de la variación de la altura de interfase para ambas condiciones, podría ser que al presentarse una mayor altura de interfase se ve reflejado en el porcentaje de sólidos de descarga por lo siguiente, el mayor peso que va ejercer una mayor interfase o llamada "cama" podría influir directamente en una mayor y mejor compactación de los sólidos provocando una descarga con un porcentaje de sólidos más elevado; en este caso particular ambas condiciones eran las mismas salvo porque la

primera su cama fue de 4[m] y la segunda de 3 [m], y siguiendo la tendencia para la primera condición se registraron valores de % de sólidos de hasta 70% no así en la segunda condición que los valores bordearon el 65% de sólidos.

Tabla N°3 Resumen de Datos de Condición N°2

Tiempo de Residencia [h]	6.12
Altura de Interfase [m]	3.07
% Sólidos Alimentados	12.11
Dosificación [g/ton]	16.58
Tasa de Alimentación [ton/h/m ²]	1.57
% Sólidos Descarga	64.74
Agua Recuperada [m ³ /h]	2.34

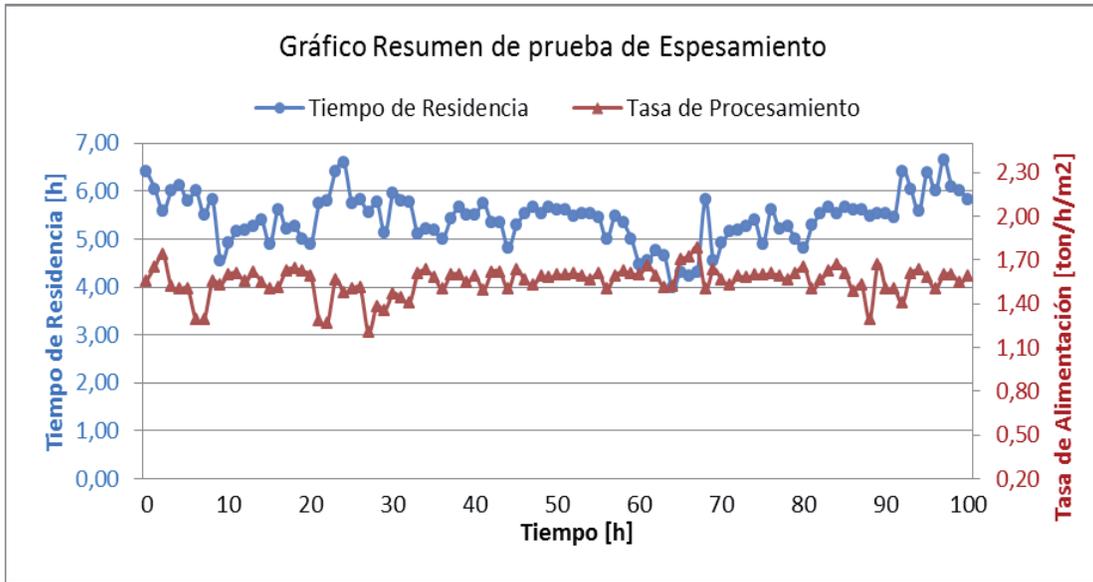


Figura N° 13 Resultados de los ensayos de espesamiento de relave.

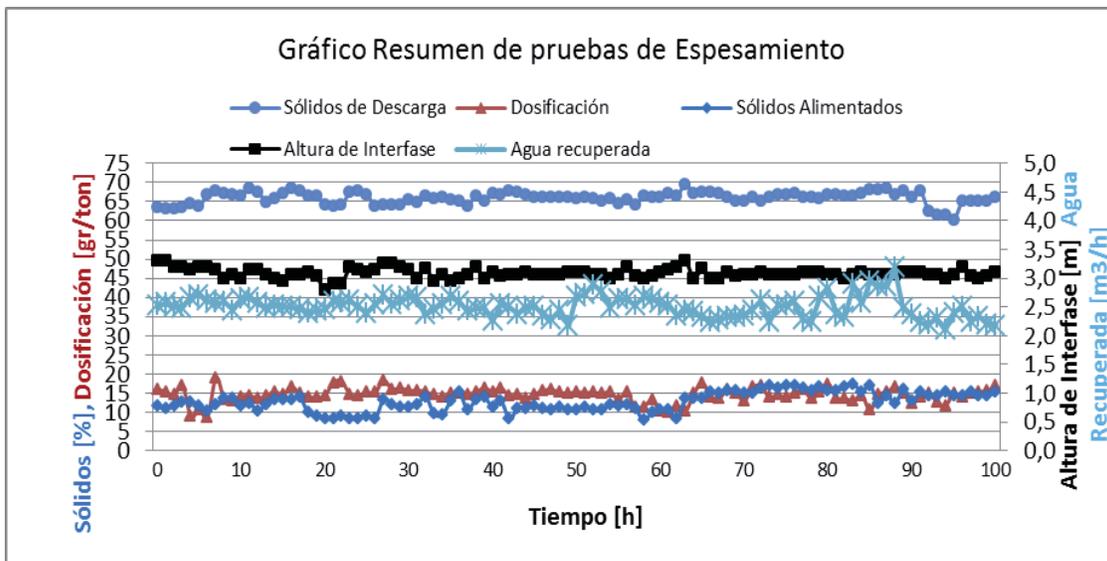


Figura N° 14 Resultados de los ensayos de espesamiento de relave.

6.2.3 Resultados Condición N°3

A continuación se presenta el gráfico de tiempo de residencia y tasa de procesamiento y por otro lado el gráfico de Altura de Interfase, % Sólidos de Alimentación, Dosificación de Floculante y % de Sólidos de Descarga, graficados bajo las condiciones: Tasa de alimentación: 2 [ton/h/m²]; Altura de Interfase: 4 [m]; Dosificación de Floculante: 15 [g/ton]; % Sólidos de Descarga entre 65% - 68%.

Como se puede apreciar en la Figura N° 15 la tasa de alimentación al espesador al principio cuesta bastante regularla disminuyendo considerablemente respecto al valor pretendido llegando incluso a 1.3 [ton/h/m²] aumentando el tiempo de residencia considerablemente a 10 [h] aproximadamente, luego de transcurrir 20 [h] de esta prueba se normaliza la situación manteniéndose en los valores requeridos para esta condición, se presenta un tiempo de residencia promedio en este ensayo de 5.18 [h].

La altura de interfase se mantuvo alrededor de los 4.05 [m] en promedio, los sólidos de alimentación se mantienen prácticamente constantes en un promedio de 16.74 %, en esta ocasión la dosificación de floculante fue controlada con mayor precisión alcanzándose valores más cercanos al propuesto, el valor promedio que se registró fue de 15.12 [g/ton] este valor menor respecto de las otras condiciones fue de suma importancia y podría relacionarse del siguiente modo: al ser menor la dosificación de floculante alimentado al proceso la compactación de los floculos es menor reflejándose menor cantidad de sólidos en la descarga, aun considerando la altura de la interfase de 4 [m].

El porcentaje de sólidos en la descarga del espesador fue de 65.67%.

Tabla N°4 Resumen de Datos de Condición N°3

Tiempo de Residencia [h]	5.18
Altura de Interfase [m]	4.05
% Sólidos Alimentados	16.74
Dosificación [g/ton]	15.12
Tasa de Alimentación [ton/h/m ²]	1.96
% Sólidos Descarga	65.67
Agua Recuperada [m ³ /h]	2.55

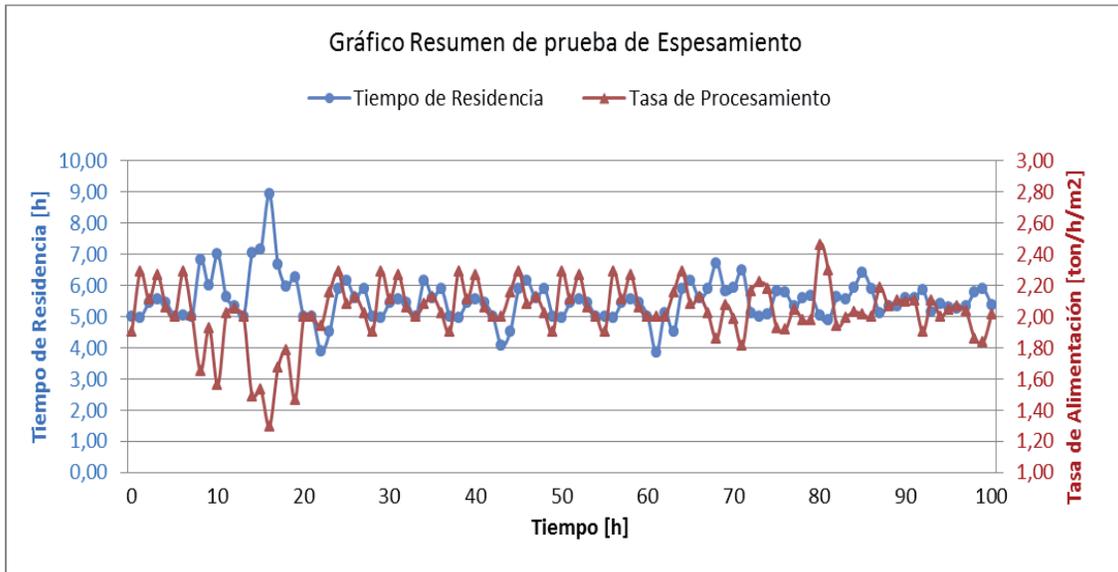


Figura N° 15 Resultados de los ensayos de espesamiento de relave.

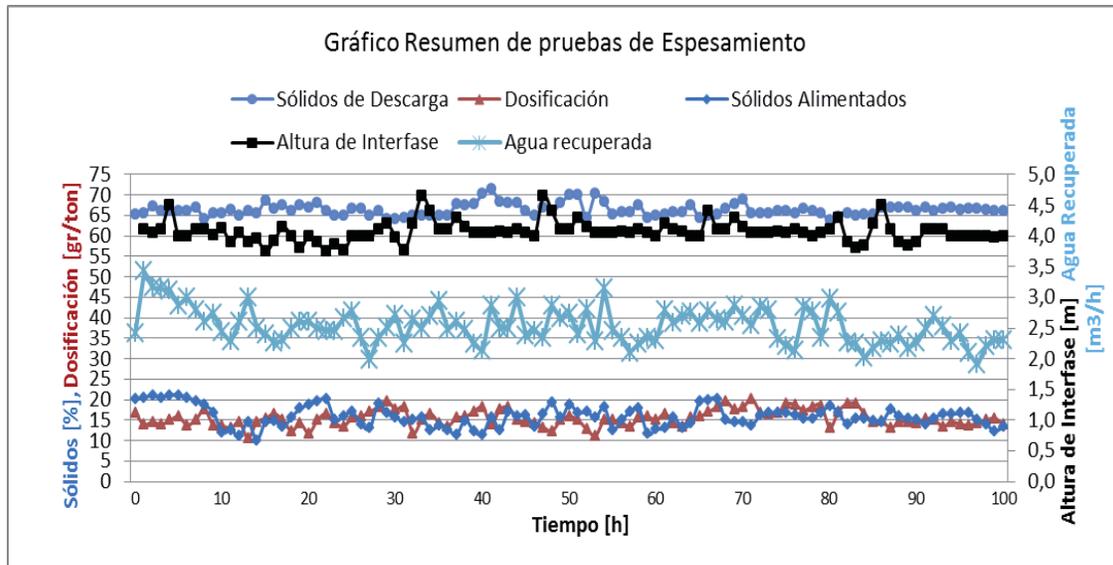


Figura N° 16 Resultados de los ensayos de espesamiento de relave.

6.2.4 Resultados Condición N°4:

A continuación se presenta el gráfico de tiempo de residencia y tasa de procesamiento y por otro lado el gráfico de Altura de Interfase, % Sólidos de Alimentación, Dosificación de Floculante y % de Sólidos de Descarga, graficados bajo las condiciones: Tasa de alimentación: 2 [ton/h/m²]; Altura de Interfase: 3 [m]; Dosificación de Floculante: 15 [g/ton]; % Sólidos de Descarga entre 65% -68%.

Como se puede apreciar en la Figura N° 17 la tasa de alimentación al espesador se parte en un rango promedio aproximado de 2.1 [ton/h/m²] manifestando un tiempo de residencia de 4.5 [h], en este caso podemos observar que ha sido la máxima tasa de alimentación que se ha logrado por lo que los resultados de tiempo de residencia son bastante menores. Para la condición anterior de obtiene un valor promedio de 1.96 [ton/h/m²] con un tiempo de residencia de 5.18 [h] por lo que, en este caso podemos comprobar que mientras mayor sea la tasa de alimentación menor será el tiempo de residencia, además cabe señalar lo siguiente: se midió la máxima tasa que podría utilizarse con los equipos disponibles y dio un resultado de 2.36 [ton/h/m²] para tener en consideración porque no se trabajó con una tasa mayor.

En la Figura N°18 se aprecia que la altura de interfase se mantiene en un valor promedio de 3.07 [m] con algunas oscilaciones llegando incluso a 3.4 [m] logrando disminuirla rápidamente y volviendo a un valor constante, por otro lado los sólidos de alimentación se mantienen en el rango propuesto entre 15% -20% registrando un valor promedio de 17.62% cumpliendo con las expectativas de la prueba.

La dosificación de floculante en esta condición fue de 15.6 [ton/h/m²] y los sólidos de descarga están alrededor de 65.87%, por lo que se considera exitosa esta campaña debido que se logra llegar a los valores propuestos para esta campaña.

Tabla N°5 Resumen de Datos de Condición N°4

Tiempo de Residencia [h]	4.67
Altura de Interfase [m]	3.07
% Sólidos Alimentados	17.62
Dosificación [g/ton]	15.6
Tasa de Alimentación [ton/h/m ²]	2.18
% Sólidos Descarga	65.87
Agua Recuperada [m ³ /h]	2.68

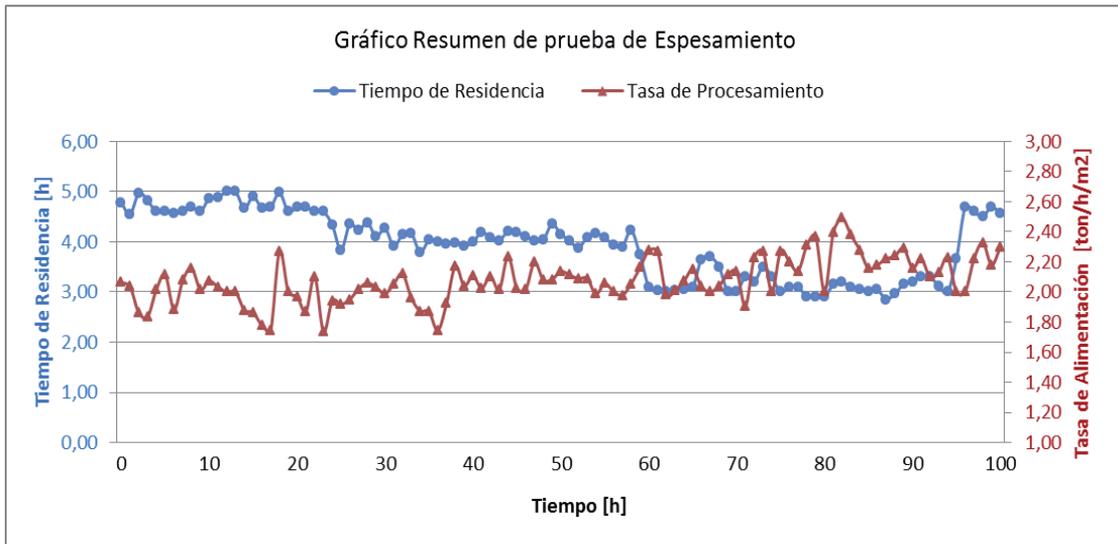


Figura N° 17 Resultados de los ensayos de espesamiento de relave.

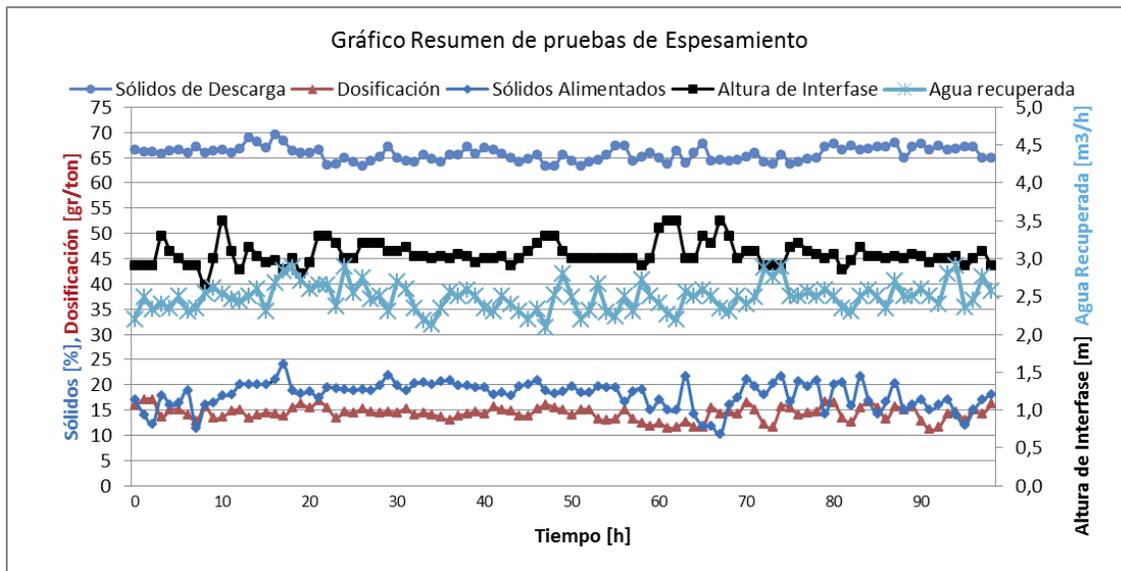


Figura N° 18 Resultados de los ensayos de espesamiento de relave.

Capítulo 7: EVALUACIÓN DEL COSTO DEL PROYECTO

Como la planta de espesamiento de relave no posee ingresos por venta, se provoca la siguiente situación: el flujo de caja y el análisis posterior no será realmente representativo de la conveniencia del proyecto, es por esta razón que no se realizó un flujo de caja sino una evaluación del costo total de la inversión para tener una noción de la propuesta presentada.

La evaluación del costo del proyecto contempla el cálculo de la inversión inicial y los costos asociados a la operación, para calcular el valor del total de la inversión se necesita conocer el valor de los equipos involucrados en el proceso, para esto se utilizará el método de Lang Chilton.[11]

A continuación se determina el capital de inversión especificando sus componentes.

7.1 Capital de inversión

El capital de inversión está constituido por todas las inversiones necesarias para dejar la planta en condiciones de operar. Sus componentes principales son el capital fijo y el capital de trabajo.

$$\text{Capital de inversión} = \text{Capital fijo} + \text{Capital de trabajo}$$

7.1.1 Capital fijo

El capital fijo contempla los gastos necesarios para que la planta quede instalada. Se compone de capital fijo directo y capital fijo indirecto.

$$\text{Capital fijo} = \text{Capital fijo directo} + \text{Capital fijo indirecto}$$

7.1.1.1 Capital fijo directo

Para proyectos de plantas química el costo de cada ítem del capital fijo directo puede determinarse a partir del valor de los equipos principales. Un detalle de los componentes para este proceso se encuentra en la siguiente tabla.

- **Equipos Principales:**

Los equipos principales de este proceso se muestran en la Tabla N°6. Los precios de los equipos han sido obtenidos a partir de bibliografía y cotizaciones.

Tabla N°6: Valor de los equipos principales.

Equipo	Valor [US\$]
Espesador	1.100.000
Planta Floculante	10.000
Estanque Acondicionador de relave	50.000
Estanque Almacenamiento Agua	25.000
Bomba Descarga del Espesador	25.000
Bomba de Alimentación de Relave desde el canal al estanque acondicionador	22.000
Bomba de Alimentación de relave desde el estanque acondicionador al espesador	5.000
Bomba Alimentación de Agua	3.000
Total equipos principales	1.243.000

Datos obtenidos de cotizaciones realizadas por Metalquim

- **Otros componentes del capital fijo directo:**

Para la determinación de los ítems correspondientes al capital fijo directo se utilizó el método de Lang y Chilton determinando valores en base del costo de los equipos, para traslado e instalación de equipos se estimó un 30% del costo total de los equipos.

Por otra parte para las cañerías de proceso se estimó un 15% y para las terminaciones un 1.5% de los equipos instalados.

Para instrumentación un 5%, para instalaciones eléctricas un 12% del costo total de los equipos.

Tabla N°7: Valor de los componentes del Capital fijo directo.

Ítem	Valor [US\$]
Equipos principales	1.243.000
Traslado e Instalación de Equipos	372.900
Cañerías de proceso	186.450
Instrumentación	62.150
Instalaciones Eléctricas	149.160
Terminaciones	18.645
Total Capital Fijo Directo	2.032.305

7.1.1.2 Capital fijo indirecto

El capital fijo indirecto lo componen aquellos gastos de administración en los que se debe incurrir para que la planta quede lista para operar. Dentro de los más importantes en este proceso están los gastos de ingeniería y supervisión, gastos de construcción.

Los gastos de ingeniería y supervisión incluyen el pago de estudios y del personal necesario para poner en marcha la planta.

Los gastos de construcción contemplan el arriendo de maquinarias, materiales, seguros, servicios médicos, vigilancia, galpones y otras facilidades que requiera la obra.

Se realizaron los cálculos en base a lo siguiente:

Se estimó para Ingeniería y Supervisión un 15% del capital fijo de la planta, para gastos de construcción 10% del capital fijo de la planta, en el ítem de imprevistos 5% del capital fijo directo [12]

Tabla N°8: Valor de los componentes del capital fijo indirecto.

Ítem	Valor [US\$]
Ingeniería y supervisión	304.846
Gastos de construcción	203.230
Imprevistos	101.615
Total Capital Fijo Indirecto	609.691

7.1.1.3 Capital fijo total

En la Tabla N°9 se encuentra el valor del capital fijo total, con el detalle de cuánto corresponde al capital fijo directo y al capital fijo indirecto calculado anteriormente.

Tabla N°9: Valor del capital fijo total.

Ítem	Valor [US\$]
Capital Fijo Directo	2.032.305
Capital Fijo Indirecto	609.691
Capital Fijo Total	2.641.996

7.1.2 Capital de Trabajo

El capital de trabajo está compuesto por todos los gastos necesarios para que una vez instalada la planta, quede en condiciones de operar. Incluye los gastos relacionados con las adquisiciones de materias primas e insumos, el pago de sueldos y cualquier eventualidad operacional que surja antes de que la planta comience a operar.

El capital de trabajo puede considerarse como un 15% del capital de inversión. Esto es:

$$CW = 0,15 \cdot CI$$

Además se sabe que

$$CI = CFT + CW$$

CI: Capital de inversión

CFT: Capital fijo total

CW: Capital de trabajo

De donde se obtienen las siguientes relaciones para el capital de inversión y el capital de trabajo en función del capital fijo total ya calculado.

$$CI = \frac{CFT}{0,85}$$

$$CW = 0,15 \cdot \left(\frac{CFT}{0,85}\right)$$

Habiendo calculado anteriormente el capital fijo total de **2.641.996** [US\$] el capital de trabajo resulta ser 466.234 [US\$].

7.1.3 Capital de Inversión

Como se indicó anteriormente, el capital de inversión se compone del capital fijo total y del capital de trabajo según:

$$\text{Capital de inversión} = \text{Capital fijo} + \text{Capital de trabajo}$$

En la Tabla N°10 se muestra el detalle e estas cantidades

Tabla N°10: Valor del capital de inversión.

Ítem	Valor [US\$]
Capital Fijo Total	2.641.996
Capital de trabajo	466.234
Capital de inversión	3.108.230

Por lo tanto, se necesita un capital de inversión de 3.108.230 US\$, para poder tratar 45 [ton/día] de relave espesado, considerando que la producción de relave en el tranque ovejería es de 5100 [ton/día] [13], la planta piloto alcanza a procesar un 0,9% de dicha producción.

Capítulo 8: CONCLUSIONES

En relación con los objetivos planteados se ha pretendido dar una clara respuesta que abarcase desde distintos ámbitos tanto de diseño y operación del proceso de espesamiento de relaves, respondiendo al objetivo general podemos decir lo siguiente: se propone un proceso de espesamiento de relave para la obtención del producto deseado, un relave espesado con un contenido de sólidos superior al 65% como se muestra a lo largo de este documento, se mencionan sus pro y sus contra, considerándose un proceso simple y rápido, se requiere de pocos insumos siendo su principal desventaja el alto costo de capital de inversión que se necesita para implementar la planta, pero considerando que a futuro no será una opción sino una obligación implementar este sistema en la minería debido a todas sus ventajas que fueron descritas anteriormente, desde el punto de vista operativo, si se logra un relave espesado con un contenido de sólidos de 65%.

En cuanto a la selección de reactivos químicos, haciendo alusión a las pruebas de laboratorio, se selecciona el floculante SNF- 913 para la operación de relaves, siendo probado y habiendo obtenido los mejores tiempos de sedimentación en una solución con relave a una concentración entre 15% y 20%, que se considera aceptable ya que a la vez esta dilución ayuda en el proceso de modo de que el transporte del fluido sea más fácil, por el hecho de poseer menos sólidos evitando posibles embancamientos en las líneas de alimentación.

Por otro lado el diseño conceptual de la planta considera una unidad de espesamiento que debido a su gran altura proporciona el tiempo de residencia necesario para alcanzar una óptima compactación y concentración de sólidos en la descarga sobre 65% de sólidos, un set de bombas de desplazamiento positivo para el traslado de relave espesado y un set de bombas centrífugas para el traslado de agua y relave diluido, además de contar con un estanque acondicionador en la etapa antes del espesamiento y un estanque contenedor de agua recuperada.

Finalmente se consta con una planta de preparación de floculante que tiene un estanque de preparación de floculante y otro de maduración, tiempo para la homogenización y

coalescencia de la solución de modo de ser inyectada luego al espesador a través de una bomba dosificadora.

Para la evaluación del proyecto y la identificación de los principales factores operativos y los efectos de las variaciones de estos podemos afirmar lo siguiente: los factores operativos, o más bien las variables a controlar en este caso fueron la tasa de procesamiento de relave y la altura de interfase, es por eso que se diseñó un set de pruebas en donde el objetivo principal fue variar estas variables y ver de que forma afectaban al proceso, de modo de poder encontrar los parámetros operacionales óptimos, que den por resultado el producto que se requiere un relave con alto contenido en sólidos (65%).

Dentro de las 4 condiciones que se realizaron las pruebas, se selecciona la condición 4 como la más apropiada para operar por lo siguiente: la altura de interfase registrada fue en promedio de 3.07 [m] altura que es más fácil de controlar en caso de cualquier emergencia, de embancamiento de las líneas de descarga, es mucho más fácil controlar 3 [m] de altura que 4 [m] por lo que desde el punto de vista operacional facilita el trabajo, en esta condición además se aprecia la mayor tasa de procesamiento de relave de 48 [ton/día] y 64.3 [m³/día] de agua recuperada, manteniendo los sólidos en la descarga en un valor de 65.87% y los sólidos en la alimentación de 15.6 %, datos que favorecen la operación de la planta.

El tiempo de residencia obtenido en esta prueba fue de 4.67 [h] que nos conviene para la operación debido que así podemos tratar mayor cantidad de relave, haciendo más sustentable el proceso.

Haciendo un análisis cualitativo de este proceso de espesamiento de relaves podemos afirmar que son mayores las ventajas que las desventajas partiendo por el ahorro de agua, como además que las partículas no se segregan por lo que se reduce la polución en las cercanías de estos tranques, como así también presentan mejor estabilidad sísmico que un tranque de relave convencional, punto de real interés debido a las condiciones sísmicas de nuestro país, la principal desventaja es el costo de la inversión total que es demasiado elevada pero muy pronto se llegará a un punto en que la Tecnología de Relaves Espesados será conveniente en términos económicos debido a

que están ocurriendo dos procesos en forma simultánea: por un lado la tecnología va avanzando y los equipos se van haciendo más asequibles y, por otro lado, los requerimientos ambientales y el mayor valor del recurso agua, van elevando los costos de las compañías.

El tema central propuesto en esta memoria, el espesamiento de relaves resuelve los problemas de diversos tipos pero principalmente pretende solucionar el problema del agua, que en las faenas mineras se pierden grandes cantidades del recurso hídrico, pero este proceso pretendo invertir esta situación.

Si bien esta tecnología es poco probada en nuestro país no así como en las grandes potencias, el problema radica en el alto costo de los equipos como inversión inicial, no así como en los gastos operacionales y las ganancias de ahorro en agua ya que es reingresada en el proceso, además hay otros tipos de ganancias, estabilidad en el tranque, seguridad y estar a la vanguardia operacional, recordemos que grande es un país minero.

Se recomienda para un futuro estudio enfocado en el diseño de equipos de forma meticulosa ya que al tratarse de una pasta de relave es un tema complejo el transporte de pasta.

Capítulo 9: BIBLIOGRAFÍA

[1] Minería Chilena, [Web en línea], 24/05/2012

http://www.mch.cl/revistas/index_neo.php?id=1446,

[2] FLSmidth Minerals, "**Reporte de pruebas de Sedimentación**", Claudia Urra, Marzo 2009.

[3] Gerardo Acuesta Elizalde , [Web en línea]; 07/07/2012

http://web.mac.com/fjuerra/Personal/UIA_files/Floculacio%CC%81n%20PPT.pdf

[4] Ojeda Ramirez Juan, "**Tranque de Relaves Los Pingos**", Santiago 1997.

[5] Edwards G. Ricardo, "**Curso de Reforzamiento para Operación de Tranques de Arena de Relaves**", Antofagasta 1991.

[6] Ministerio de Energía y Minería, "**Guía para el Manejo de Relaves de Minas y Concentrados**", Aurora Lavanda Salinas S.A. Editores, Perú 1995.

[7] Minera Cenizas-Faena Cabildo, "**Deposito de Relaves Espesados Cabildo**", Leopoldo Valenzuela, Agosto 2007.

8] SERNAGEOMIN, "**Guía técnica de operación y control de depósitos de relaves**", Santiago Diciembre 2007.

9] GECAMIN, "**Paste Thickener Design and Operation Selected Achieve Downstream Requirements**", J.S Slottee & J. Johnson, Julio 2009.

[10] Sociedad Minera Cerro Verde, "**Estudio de la factibilidad del proyecto de Sulfuros Primarios decerro Verde**", Arequipa Junio 2004.

11] Luis Vega Alarcón "**Apuntes de Ingeniería Económica**", Escuela de Ingeniería Química, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 2008.

[[12] Peters, Max S., Timmerhaus, Klaus D y West, Ronald E 2003. Plant Design and Economics for Chemical Engineers, Editorial McGraw Hill. Quinta edición, 226-278.

[13] Codelco, , [Web en línea]; 31/08/2012

http://www.codelco.com/nosotros/prontus_codelco/2011-08-02/195131.html

Capítulo 9: ANEXOS

A.1 - RESIDUOS PROVENIENTES DEL PROCESO DE FLOTACIÓN

A continuación se entregarán aspectos medioambientales, económicos y de salud referente a estos desechos y principalmente al método de disposición que ha sido mayormente utilizado a nivel nacional “Los Tranques de relaves”.

Los Relaves y su Impacto Ambiental en la Minería Chilena:

Análisis realizados a distintos relaves en Chile han identificado elementos como cobre, calcio, magnesio, sodio, potasio, entre otros, en su composición. Mientras, en otros, también se han detectado muestras de arsénico, cadmio, cianuro libre, compuestos fenólicos, hierro disuelto y suspendido, molibdeno, plomo, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos, sulfatos, aceites y grasas. Es por esta peligrosa presencia de muchos agentes tóxicos que se debe tener muchísima precaución en su forma y lugar de disposición.

Históricamente, los relaves eran dispuestos de la forma más conveniente para el dueño de la empresa Minera, considerando la topografía pero siempre bajo el criterio de mínimo costo. Esto, unido a la falta de conciencia y legislación ambiental en todo ámbito, trajo como consecuencia que los relaves fueran descargados generalmente a cursos de aguas como ríos y arroyos.

Sin embargo, en las últimas décadas esta práctica ha ido cambiando. Hoy se tiene una mayor conciencia de los impactos ambientales asociados a la actividad minera y, producto de la apertura de los mercados, las empresas cada vez más incorporan los criterios ambientales en sus procesos productivos, situación a la que no ha sido ajeno nuestro país.

En Chile, en 1965, debido a la falla del Tranque de relave “El Cobre”, murieron 200 personas. Este hecho marcó significativamente a la minería en nuestro país, lo que finalmente se tradujo en la dictación en 1970 del Decreto Supremo N°86 del Ministerio de Minería, sobre Construcción y Operación de los Depósitos de Relaves, decreto que fue derogado mediante la promulgación del D.S. N° 248, del Ministerio de Minería, publicado

en el diario oficial el 11 de abril del 2007. Este nuevo reglamento se denomina “Reglamento para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Cierre de los Depósitos de Relaves”. Decreto mucho más complejo que incluye nuevos e innovadores métodos de depositación de relaves no incluidos en el decreto anterior.

El Decreto Supremo N° 248 estipula que existen tres tipos generales de depósitos de relaves: los Depósitos Superficiales, los Depósitos Subterráneos y los Depósitos Marinos Lacustre.

Los principales tipos de “Depósitos Superficiales” de relaves existentes en Chile son los denominados “Tranques Convencionales de relaves”, que introducen en la operación una etapa de separación de tamaño del mineral contenido en la pulpa y, además, utilizan la arena para construir un muro de contención de la fracción más fina y las aguas sobrenadantes. Algunos ejemplos de Tranques de Relaves son: Talabre, Los Pelambres, Ovejería y Las Tórtolas entre otros. Otro tipo de depósito superficial muy utilizado es el denominado “Tipo Embalse”, que utiliza material de empréstito para la construcción del muro, diferenciándose de los tranques convencionales en que se construyen para una capacidad determinada de relaves.

Finalmente también existe una alternativa no tradicional de depositación, que corresponde a la depositación de Relaves Espesados, en Pasta o Filtrados; depósitos que no han sido implementados masivamente en Chile; ya que se encuentran en etapa de evaluación, diferenciándose sólo en el porcentaje de sólidos presentes en el relave

Riesgos Ambientales asociados a los Tranques de Relave:

Los depósitos de relaves generan riesgos por diversas causas, los que pueden clasificarse en las siguientes categorías:

1. Riesgo sísmico.
2. Riesgo hidrogeológico.
3. Generación de polvo.
4. Contaminación del suelo.
5. Uso alternativo del terreno.
6. Consumo de agua y fallas en el sistema de disposición.

1. Riesgo Sísmico: Chile es un país eminentemente sísmico, de ahí la gran importancia que adquiere esta variable. Su impacto está directamente relacionado con el tamaño, diseño y construcción del tranque y las características del lugar dónde se ubica el depósito, obviamente dependiendo de la magnitud del sismo. Este riesgo se evalúa a través de la estabilidad de los taludes y el riesgo de licuefacción (fenómeno en el cual el relave pasa a ser un fluido viscoso de alta densidad). Ante un evento sísmico puede ocurrir la contaminación de cursos de agua, zonas agrícolas y, lamentablemente daños sobre vidas humanas.

2. Riesgo Hidrogeológico: Este tipo de riesgo puede dar lugar a distintos tipos de efectos tales como arrastre de desechos y residuos debido a lluvias, crecidas de ríos y avalanchas, acidificación de las aguas, solubilización de metales, arrastre de sedimentos y contaminación de napas subterráneas.

Todos ellos impactan de forma diferente el medio ambiente contaminando, por ejemplo, aguas y suelos. Esto puede suceder ya sea debido a la incorporación de relaves a los cursos de aguas (ríos, lagos u océanos, fuentes de abastecimiento de agua potable, recursos para la agricultura y la recreación); como a la inestabilidad presente en las instalaciones por la erosión de los muros, alterando el hábitat de los cursos de agua superficial o percolando las napas subterráneas.

En el caso de descargas directas de relave a los cursos de agua o al océano, pueden generarse problemas de cieno y turbidez que sepultan flora y fauna, así como contaminación de los cursos de agua y la abrasión continua del fondo. Además, las partículas en suspensión obstaculizan el paso de la luz solar, generando daños a las especies habitantes.

3. Riesgo por Generación de Polvo: En el caso de los relaves, la generación de polvo se produce debido a que el tamaño de sus partículas las hace propensas a la erosión eólica. Este fenómeno se presenta con mayor fuerza en depósitos abandonados o que están en proceso de secamiento.

Provoca impacto en la salud humana, debido a que sus partículas son tan finas que pueden ser inhaladas y pasar al sistema respiratorio, causando efectos físicos y químicos importantes. Además, el polvo provoca daños físicos directos a las plantas e impide

parcial o totalmente el proceso de fotosíntesis. También reduce la fecundación de las flores, el rendimiento y la calidad de los árboles frutales y plantas de cultivo.

4. Contaminación del Suelo: Este fenómeno se presenta cuando las sales y metales de los relaves consolidados en el subsuelo se mueven hacia la superficie del suelo productivo. La contaminación de los suelos toma mayor fuerza durante la revegetación de los terrenos.

Es así como se producen dos fenómenos de contaminación: primero: cuando los elementos entran en contacto con las raíces de las plantas provocando su muerte; y segundo: cuando los metales, como el cobre y el molibdeno, son absorbidos y acumulados por las plantas, que al ser consumidas por animales provocan ciertas enfermedades como por ejemplo la molibdenosis.

5. Riesgo por pérdidas de Agua: En el norte de Chile, como en muchas zonas áridas del mundo, se están utilizando las escasas fuentes de agua para desarrollar la actividad minera. La disposición de relaves genera una importante pérdida de agua, ya sea a través de filtraciones, humedad retenida o evaporación, que se hace más importante en zonas calurosas y sin precipitaciones.

6. Riesgos por Fallas en el Sistema de Disposición: Durante la construcción, operación y aún después de ello, los sistemas de disposición de relaves están expuestos a fallas de mal diseño, construcción, operación y/o accidentes que pueden originar derrames.

Además, tenemos los impactos asociados al cierre inadecuado de los tranques, provocando contaminación de ríos, lagos, bordes costeros, problemas de seguridad y riesgo de colapso de la instalación, emisión de material particulado, alteraciones estéticas y paisajísticas, generación de drenaje ácido, entre otros.

Todos los riesgos ambientales que generan los Tranques de Relave se ven alterados en su magnitud por la peligrosidad de sus componentes, el contenido de metales pesados, los reactivos y otras características como por ejemplo el pH del relave.

Aspectos Económicos referentes a los Tranques de Relaves:

El tremendo desarrollo de la actividad minera, durante los últimos 20 años, tiene numerosos costos ambientales (mencionados anteriormente) relacionados con las características propias de la actividad minera, en especial el crecimiento de esta actividad y otros costos asociados a los efectos de la producción.

El conjunto de estos costos (algunos de ellos imposibles de evitar) forman un panorama que muestra los efectos que dicha actividad tiene sobre el medio ambiente.

A esto se agrega el hecho que la minería genera problemas futuros que no han sido resueltos, como la viabilidad económica después del agotamiento de las minas o el establecimiento de planes de cierre de faenas que consigan la reparación ambiental.

Por lo tanto, se puede establecer que son necesarios mecanismos de gestión, fiscalización y control de la Industria Minera que permitan la sustentabilidad de este sector.

Costos de Desarrollo:

El boom del sector minero ha traído costos ambientales asociados a la sobreexplotación del recurso mineral, convirtiéndose la minería en una de las actividades industriales que genera la mayor cantidad de desechos.

En la medida que el sector crece, mayor es la cantidad de desechos que se genera, lo que se ha visto influenciado por dos factores:

En primer lugar, en la actualidad, la mayoría de los yacimientos que se encontraban a baja profundidad ya han sido explotados, lo que significa que ahora los proyectos de explotación se hallan a mayor profundidad, requiriéndose la extracción de una mayor cantidad de materia estéril antes de obtener el mineral.

Aun cuando la extracción de grandes cantidades de material estéril no tiene efectos ambientales desastrosos en Chile, ya que la mayoría de las minas se encuentran en zonas despobladas, sí se genera gran preocupación por el polvo arenoso que afecta a la población y vegetación cercana a la mina.

En segundo lugar, la caída en la ley de los minerales tiene una incidencia fundamental, ya que de ello depende cuánto desecho se genera durante el proceso de molienda. En la actualidad, la mayoría de las menas de cobre tienen en promedio una ley de menos del 1%, lo que significa que de cada tonelada (1.000 kilos) de mena, sólo 10 kilogramos son cobre y los 990 kilogramos restantes son desechos.

Bajo esta perspectiva, la producción de desechos mineros se ha acrecentado enormemente durante los últimos años, entendiendo que la producción minera, sólo considerando el cobre, se ha incrementado en más de un 161% durante el período 1990-2002 (Fuente: Anuario de la Minería de Chile, Sernageomin 2006).

Efectos de los Relaves en la Salud:

La actividad industrial y minera facilita la movilidad de elementos a través de los distintos compartimentos ambientales. Los “Elementos traza” son aquellos cuya concentración en la corteza terrestre es igual o inferior a 1.000 ppm. Muchos elementos traza son esenciales para la vida. Particularmente los metales traza pueden clasificarse entre metales pesados (densidad superior a 5 g/cm³) y ligeros (densidad inferior a 5 g/cm³).

La actividad industrial y minera permite que estos metales contaminen las aguas, pero también se les encuentra en el aire, formando gases y/o partículas fácilmente transportables y potencialmente respirables por el hombre.

Cobre: Es uno de los metales más abundantes. Para muchos organismos es un micronutriente esencial. La Norma Chilena de Agua Potable 409 (Nch 409) establece como concentración máxima de 1 [mg/l]. En algunos organismos los efectos tóxicos son por exposición inmediata. Todos los organismos experimentan daños debido a concentraciones excesivas; algunas algas sufren daños con niveles de concentración de 0,5 [mg/l].

Los efectos en animales superiores dan cuenta de daños cerebrales.

Plomo: Metal ampliamente distribuido en el aire, agua, suelos y alimentos. El uso como aditivo antidetonante en la gasolina permitió que se distribuyera globalmente. Provoca alteraciones graves en la salud, aún en bajas concentraciones, que incluyen daños

cerebrales, daños al sistema reproductor, células sanguíneas, posible causante de aborto etc.

La Nch 409 de agua potable establece que el límite máximo de plomo en aguas debe ser 0,05 [mg/l].

Arsénico: Se utiliza principalmente en pesticidas y preservantes de la madera, es el responsable de cáncer a la piel y pulmonar. También se le encuentra en la fundición de cobre y otros metales. La toxicidad depende de su forma química ya que el arsénico inorgánico es mucho más tóxico que el orgánico.

El cáncer pulmonar generalmente es una enfermedad ocupacional para trabajadores de fundiciones y de plantas de insecticidas. La NCh 409 de agua potable establece como límite máximo de arsénico 0,05 [mg/l].

Bario: La forma más tóxica es el Cloruro de bario. En el organismo el bario se comporta como el calcio y se deposita en los huesos. La exposición al bario es a través de los alimentos y el agua. La Nch 409 lo contempla entre los elementos a controlar. Sin embargo la Environmental Protection Agency (EPA) de EE.UU. establece como límite 1 [mg/l] en el agua potable.

Mercurio: Es un metal líquido. Actúa como neurotoxina capaz de causar daños cerebrales en fetos y perturbaciones emocionales en adultos. Los mariscos pueden ser una causa de contaminación, dado que éste metal se acumula en organismos filtradores. El mercurio tiende a distribuirse en las zonas cercanas a las minas, fundiciones, incineradores de desechos sólidos y plantas generadoras que utilizan combustibles fósiles.

La Nch 409 establece en 0,001 [mg/l] como límite máximo de concentración en agua potable.

Casos Emblemáticos de Desastres en Tranques de Relaves:

Minera Cerro Negro:

El 3 de octubre del 2003 se produjo un grave accidente en la Minera Cerro Negro, ubicada en Cabildo, a 50 Kilómetros al este de La Ligua, en la Región de Valparaíso. Sorpresivamente, se desprendió la pared de contención del quinto sector del tranque, que contenía 300.000 toneladas de material rocoso particulado, producto del procesamiento de las faenas mineras de producción de cobre.

Unas 50.000 toneladas de material escurrieron por las quebradas en un tramo de más de 10 kilómetros hacia el valle del sector de Guayacán, hasta llegar a las aguas del estero los Ángeles, que provee agua a los diferentes predios agrícolas de la zona y desemboca en el caudal del río la Ligua. Para contrarrestar los efectos del derrame, se iniciaron de inmediato trabajos de movimiento de tierra y la construcción de cuatro pozos con maquinaria pesada, para que el material escurrido se deposite allí.

Ante la sospecha de que la contaminación se hubiese extendido, se dispuso la prohibición de uso de agua proveniente de napas y esteros en los sectores rurales aledaños al desastre. Unos mil habitantes de los sectores afectados quedaron sin agua para consumo y uso personal, situación que fue parcialmente paliada con la distribución a través de camiones aljibes proporcionados por la Municipalidad local.

El relave derramado contenía restos de al menos cinco minerales, entre ellos cadmio y metales pesados. De allí el riesgo de contaminación que produjo al deslizarse por los valles y mezclarse con las aguas para beber y regar.

Minera Las Cenizas:

En 1981, durante los temporales de invierno, las aguas lluvias arrastraron relave de la Minera Las Cenizas, ubicada en pleno corazón de la ciudad de Cabildo Quinta Región, hasta el borde mismo de la Carretera 5 Norte. En esa ocasión los problemas no pasaron a mayores, pero toda la zona por donde pasó el barro arrastrado por las aguas lluvias, quedó cubierta de sedimentación mineral que de algún modo afectó a la producción agrícola.

El caso de la Minera Cobrex:

En la cuarta Región, en el año 2002 ocurrieron dos graves accidentes en La Minera Cobrex.

En septiembre, el tranque de relaves Talcuna 1 de la Minera, ubicado a 40 kilómetros de La Serena en la quebrada de Marquesa, Valle del Elqui, sucumbió y provocó un derrame de 8.000 metros cúbicos de relave al río Elqui. La contaminación del cauce del río ocasionó enormes efectos en los cultivos, aunque los canales fueron cerrados antes que un gran volumen de agua supuestamente contaminada alcanzara a ingresar a las superficies sembradas. Se comprobó contaminación de cobre, hierro y manganeso en cantidades muy superiores a las permitidas para el consumo humano.

Como si esto no bastara, a principios de noviembre; dos meses después; volvió a producirse un nuevo derrame sobre el río Elqui, que esta vez puso en peligro las instalaciones de la Empresa Sanitaria de Coquimbo.

Los casos mencionados anteriormente son sólo algunos de los tantos desastres acontecidos a través de la historia en los Depósitos Tradicionales de Relaves, siendo los más significativos; ya sea por las vidas humanas cobradas como por los daños provocados; el colapso del Tranque Barahona de la Mina el Teniente VI Región ocurrido durante el terremoto de Talca en 1928 y en donde murieron 54 personas; y el colapso del depósito de relaves de la Mina el Soldado en la V Región, ocurrido durante el terremoto del día 28 de marzo de 1965 (mueren aprox. 200 personas).

Este último desastre dio origen al D.S N° 86 (1970) del Ministerio de Minería, que corresponde a la primera reglamentación que permitió precisar las ideas y exigencias tecnológicas en la construcción de los tranques de relaves.

A.2- REGLAMENTO PARA LA APROBACIÓN DE PROYECTOS DE DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y CIERRE DE LOS DEPOSITOS DE RELAVE

El D.S N° 86 del Ministerio de Minería promulgado el 31 de julio de 1970, fue publicado el 13 de agosto de 1970 en el diario oficial N° 27.722. Se consideró por la necesidad de precisar las ideas y exigencias tecnológicas en la construcción de los tranques de relaves. Este Decreto Supremo aprobó el denominado “Reglamento de Construcción y Operación de Tranques de Relaves”. Derogado mediante el D.S. N° 248, del Ministerio de Minería, de fecha 29 de diciembre de 2006, el cual ha sido publicado en el diario oficial N° 38.735 del 11 de abril de 2007.

Consideraciones tomadas para el nuevo reglamento de Depósitos de Relaves:

1. La necesidad de proteger la salud y seguridad de las personas, la protección del medio ambiente y la utilización racional de los recursos naturales.
2. La diversidad de sistemas de depósitos de relaves y el avance que han experimentado los métodos de diseño, construcción y operación de aquellos.
3. La necesidad de precisar las exigencias técnicas para obtener la aplicación de conceptos más avanzados en la construcción de depósitos de relaves de la minería chilena.
 - a) La importancia de dar cumplimiento a las disposiciones sobre eficiencia y coordinación de los órganos de la Administración del Estado, que fija el texto Refundido, Coordinado y Sistematizado de la ley N° 18.575 Orgánica Constitucional de Bases de la Administración General del Estado.

La Estructura del Reglamento es la siguiente:

TÍTULO I

DISPOSICIONES GENERALES:

CAPÍTULO PRIMERO: Propósito y Campo de Aplicación.

CAPÍTULO SEGUNDO: Definiciones.

CAPÍTULO TERCERO: Funciones y Atribuciones del Servicio.

CAPÍTULO CUARTO: Obligaciones de las Empresas.

CAPÍTULO QUINTO: Responsabilidades y Derechos del Usuario.

TÍTULO II

PROCEDIMIENTOS PARA LA APROBACIÓN DE PROYECTOS DE DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE DEPÓSITOS DE RELAVES, DE PARTE DEL SERVICIO:

CAPÍTULO PRIMERO: Presentación del Proyecto

CAPÍTULO SEGUNDO: Aprobación del Proyecto.

TÍTULO III

CONSTRUCCIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES:

CAPÍTULO PRIMERO: Generalidades.

CAPÍTULO SEGUNDO: Ejecución de las Obras.

TÍTULO IV

OPERACIÓN Y MANTENCIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES:

CAPÍTULO PRIMERO: Previsiones Generales

CAPÍTULO SEGUNDO: De la Operación y Mantenición.

CAPÍTULO TERCERO: Emergencias.

TÍTULO V

CIERRE TEMPORAL, DEFINITIVO Y REANUDACIÓN:

CAPÍTULO PRIMERO: Reanudación de las Operaciones luego de un Cierre Temporal.

CAPÍTULO SEGUNDO: Cierre definitivo.

TÍTULO VI

ALGUNOS CRITERIOS DE CONTROL

TÍTULO VII

SANCIONES

TÍTULO FINAL

Tipos de depósitos de relaves que contempla el nuevo reglamento:

TRANQUES DE RELAVES.

DEPÓSITO DE RELAVES ESPESADOS.

DEPÓSITO DE RELAVES FILTRADOS.

DEPÓSITO DE RELAVES EN PASTAS.

CONTENIDOS DESTACABLES DEL TÍTULO I DEL REGLAMENTO:

En el Capítulo Primero:

El artículo 1 señala:

El presente reglamento tiene por objeto fijar normas sobre:

- a) Procedimientos para la aprobación de los proyectos de depósitos de relaves mineros.
- b) Requisitos de diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves mineros y la disposición de sus obras anexas que garanticen la seguridad de las personas y de los bienes.

Los artículos 2 y 3 indican:

Que las faenas mineras que generen y deban depositar relaves, deben cumplir con el reglamento y que a Sernageomin le corresponde la aplicación y fiscalización del reglamento, sin perjuicio de las atribuciones que en materia de fiscalización posean otros órganos del estado.

En el Capítulo Segundo:

El artículo 4 indica:

Que se entenderá para efecto del reglamento por: director, organismos o autoridades fiscalizadoras, reglamento, servicio, terceros, usuario o proponente.

Los artículos 5 y 6 indican:

Los alcances que tendrán algunos conceptos básicos y técnicos relativos a los depósitos de relaves, similares a los indicados en el D.S. N° 86, y se incorporan otros como: presión de poros, colapso, suspensión temporal, cierre, modificación significativa, relaves Espesados, relaves en Pasta, etc.

En los Capítulos Tercero al Quinto:

Se destacan las funciones y atribuciones del servicio; obligaciones de las empresas; responsabilidades y derechos del usuario.

El artículo 7 indica:

Las funciones específicas del servicio como son: dictar, aplicar y controlar normas de seguridad minera que deben cumplir los usuarios de depósitos de relaves; recibir, revisarlos y aprobar si corresponde las solicitudes de proyectos de depósitos de relaves, proponer modificaciones o rechazarlos; aprobar mediante resolución fundada del director y previo informe de los organismos técnicos del servicio, nuevas formas de depositación de relaves. etc.

El artículo 8 establece:

Que para una empresa minera que lo requiera deberá presentar al servicio un proyecto de depósito de relaves el cual tendrá que cumplir con este reglamento y el reglamento de seguridad minera y con toda la normativa legal, reglamentaria y disposiciones vigentes.

El artículo 9:

Exige la aprobación previa del servicio de cualquier proyecto de depósito de relaves, cualquiera sea su tipo, ritmo de crecimiento, dimensión y ubicación, antes de su construcción y operación.

El artículo 10:

Establece que las modificaciones durante la construcción u operación del depósito de relaves o de un Proyecto aprobado, deberán ser informadas al servicio antes de su implementación, para obtener su aprobación.

El artículo 11:

Establece que las consecuencias derivadas de una mala operación; incorrecta aplicación de reglamentos o incumplimiento parcial o total de las instrucciones o normativas del servicio serán de responsabilidad directa del usuario o proponente.

El artículo 12:

Establece que se considerará con derecho preferencial al usuario de un depósito de relaves, frente a derechos de terceros que construyan con posterioridad instalaciones o habitaciones aguas abajo del depósito.

El artículo 13:

Establece un requisito indispensable que deben cumplir los proyectos de tranques de relaves, este requisito corresponde a que el volumen de la cubeta sea a lo menos 3 veces el volumen del muro total de contención.

CONTENIDOS DESTACABLES DEL TÍTULO II DEL REGLAMENTO:

El Capítulo Primero:

Consta sólo del artículo 14:

Se refiere a los diversos antecedentes que debe incluir un proyecto de depósitos de relaves, entre otros:

Ubicación del depósito incluyendo: plano regulador, hoya hidrográfica etc.

Antecedentes para formar la base de datos del depósito.

Métodos constructivos.

Parámetros de diseño geotécnico, geológicos, hidrológicos, meteorológicos etc.

Presentación de un diagrama de flujo y plano general de las obras asociadas al depósito de relaves.

Descripción e ilustración de las características especiales de diseño.

Análisis de estabilidad sísmica.

Determinación de distancia peligrosa.

Manual de emergencias.

Programas de capacitación de personal para la operación segura del depósito y las obras anexas y para el manejo adecuado de las situaciones de emergencia.

Capítulo Segundo:

En los artículos 15 al 18 se indica que:

Los proyectos de depósitos de relaves serán aprobados por el servicio mediante resolución, que deberá ser dictada dentro del plazo de 60 días hábiles. Será requisito, si corresponde, la previa aprobación ambiental, de acuerdo a lo establecido en el artículo 67 del decreto supremo N° 95.

Los rechazos de solicitud de proyectos, también requieren de una resolución fundada, la cual deberá ser notificada al interesado.

El proponente tendrá un plazo de 15 días para apelar de las observaciones o modificaciones, o bien, 60 días para subsanarlas y en caso de exceder dicho plazo, el servicio considerará que se le presenta un nuevo proyecto.

CONTENIDOS DESTACABLES DEL TÍTULO III DEL REGLAMENTO:

Capítulo Primero:

El artículo 19:

Será responsabiliza del usuario velar que la construcción del depósito de relaves se ajuste al proyecto aprobado.

El artículo 20:

Establece que al proyecto deberán incorporarse las condiciones de diseño de ingeniería que satisfagan los compromisos ambientales adquiridos en la resolución ambiental respectiva.

El artículo 21:

Exige la autorización previa del servicio, para efectuar modificaciones al proyecto aprobado, durante la etapa de construcción.

Capítulo Segundo:

El artículo 22:

Establece que el usuario comunicará al servicio la fecha de inicio y el cronograma de construcción del proyecto. En todo caso, la ejecución de las obra debe iniciarse en un plazo no superior a 6 meses desde la aprobación del proyecto.

El artículo 23:

Establece que en el caso que las obras estén encargadas a contratistas, se debe cumplir con lo establecido en el Reglamento de Seguridad Minera.

El artículo 24:

Indica que el servicio deberá realizar inspecciones técnicas periódicas en terreno, para verificar que la construcción se ajuste al proyecto aprobado.

En el artículo 25:

Se menciona que si la construcción u operación no se ajusta al proyecto aprobado y el usuario no da cumplimiento con lo indicado en los artículos anteriores, el servicio podrá ordenar el cese de la construcción u operación en su caso.

En el artículo 26:

Se indica que el usuario presentará planos de las obras iniciales construidas dentro del plazo de un 1 mes contado desde la fecha de término de la construcción o desde el inicio de la depositación de relaves.

CONTENIDOS DESTACABLES DEL TÍTULO IV DEL REGLAMENTO:

Capítulo Primero:

Desde los artículos 27 al 29 se establece:

El usuario debe comunicar al servicio la fecha de la puesta en operación del depósito o cambios respecto al cronograma propuesto; también se señala que el servicio debe realizar inspecciones técnicas al proyecto; y de la facultad de las autoridades fiscalizadoras para comunicar al servicio las irregularidades que detecten en la operación de depositación de relaves.

Capítulo Segundo:

Del artículo 30 al 32:

Establecen que el usuario deberá enviar al servicio un informe trimestral sobre la operación y mantenimiento del depósito; el servicio podrá solicitar cualquier otra información adicional que pueda ser de utilidad, siendo el usuario el único responsable de la operación y mantenimiento de los depósitos.

En el artículo 33:

Se indica que el servicio siempre podrá hacer las comprobaciones que estime necesarias y sancionar el incumplimiento de las normas, conforme a la ley y el reglamento si corresponde.

Capítulo Tercero:

Del artículo 34 al 38 se establecen:

Las obligaciones de los usuarios respecto de elaborar y mantener actualizado un manual de emergencias del depósito de relaves; notificar, de inmediato al servicio las situaciones de emergencias que se presenten indicando las características del siniestro; en tal caso el servicio evaluará la situación y enviará personal técnico, si lo amerita; determinará la

necesidad de efectuar trabajos adicionales, pudiéndolos exigir a costa del usuario y si la causa se debe a fenómenos naturales que impidan una operación normal, éstas deberán suspenderse hasta que las condiciones de seguridad se restablezcan.

CONTENIDOS DESTACABLES DEL TÍTULO V DEL REGLAMENTO:

Capítulo Primero:

Del artículo 39 al 43 se establecen:

Las medidas de seguridad que debe adoptar el usuario cuando suspenda las operaciones del depósito, en forma temporal o definitiva comunicándolo previamente al servicio, si el cese de operaciones excede el plazo de dos años el usuario deberá presentar un plan de cierre a menos que solicite una prórroga. Para reiniciar la operación después de un cierre temporal deberá solicitar autorización al servicio.

Si en la reanudación de las operaciones el usuario estima necesario efectuar modificaciones al proyecto aprobado deberá actuar de acuerdo al art.14 en lo que se modifique, finalmente cuando exista cambio de usuario entre el cese de operaciones y el reinicio de actividades, el nuevo usuario deberá informar este cambio al servicio.

Capítulo Segundo:

Del artículo 44 al 47 se señala:

Sobre el cierre definitivo para el cual, se deberá presentar un plan de cierre, pero antes que se cumpla su vida útil, el usuario deberá disponer de un proyecto de cierre del mismo y de las obras anexas, aprobado por el servicio considerando lo establecido en el artículo transitorio del reglamento de seguridad minera; el proyecto de cierre contendrá un plan de acondicionamiento del depósito para soportar condiciones en el largo plazo; en caso que se quiera poner en funcionamiento un depósito de relaves cerrado en forma definitiva, se deberá presentar un nuevo proyecto, incluyendo un nuevo plan de cierre.

CONTENIDOS DESTACABLES DEL TÍTULO VI DEL REGLAMENTO:

Del artículo 48 al 55:

Se contempla criterios de control, que deberán estar contenidos en todo proyecto de depósito de relave cuando corresponda, entre otros se indican:

En los tranques de relaves la laguna de aguas claras debe mantenerse lo más alejado del muro de contención.

El coronamiento debe tener un ancho que asegure la estabilidad del muro, de a lo menos dos (2) metros.

El muro de inicio o partida de un tranque de relaves debe tener una altura equivalente a 1/10 de la altura final del muro de contención, con un mínimo de 2 metros de altura. Este muro debe estar impermeabilizado en su coronamiento y talud interior.

En el caso de un tranque de relaves la arena debe contener no más de un 20% de partículas menores a 74 micrones.

En el artículo 56:

Se indica que el sistema de impermeabilización del fondo de la cubeta de los tranques y embalses de relaves o del área donde se depositan los relaves espesados, de ser necesario, deberá contemplar un tratamiento previo del terreno utilizado, esto para impedir o minimizar filtraciones de aguas contaminadas al exterior del depósito o infiltraciones a cursos de aguas subterráneas.

En el artículo 57 se indica:

En el caso de precipitación de nieve o granizo sobre el prisma resistente y en que, a la vez, se produzca la posibilidad de que debido a bajas temperaturas puedan intercalarse capas de agua a estado sólido, que puedan crear planos de falla en el muro, deberá paralizarse la depositación de arenas en el muro, hasta que pase la situación de riesgo.

CONTENIDO DEL TÍTULO VII DEL REGLAMENTO:

El artículo 58 establece:

Las contravenciones al presente reglamento y a las resoluciones que para su cumplimiento se dispongan, en que incurran las empresas mineras, serán sancionadas en conformidad a lo dispuesto en los artículos 590 y siguientes del Reglamento de Seguridad Minera.

CONTENIDO DEL TÍTULO FINAL DEL REGLAMENTO:

El artículo 59 indica:

El presente reglamento se aplica a todos los proyectos que sean presentados desde la fecha de vigencia del presente decreto así como también modificaciones de los depósitos existentes, cuando aquellas impliquen variación de las condiciones bajo las cuales fue aprobado el proyecto original. Cualquier otro uso que desee darse al depósito de relaves, tales como: reprocesamiento, depositación de otros residuos producto de la actividad minera o tránsito permanente sobre él, una vez concluida la operación; si no ha sido incluido en el proyecto aprobado por el servicio, debe contar con la aprobación de éste.