



Universidad de las Américas
Facultad de Ingeniería y Negocios
Escuela de Minas



FACTIBILIDAD DEL USO DE LODOS DE RELAVES EN LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS UTILIZABLES EN CONSTRUCCIÓN

Trabajo de Título para ser presentado
como requisito para optar al título de
Ingeniero en Minas.

Profesor Responsable: Carlos Espinoza

Juan Barrios P. - Pablo Palma J.

Santiago - 2019

Agradecimientos

Agradezco el tiempo otorgado por todos y cada uno de nuestros profesores los que fueron nuestra primera guía en el largo camino que implica ser profesional

Al profesor Carlos Espinoza, quien fue un muy importante apoyo en cuanto a decisiones, información a utilizar, como orientar el presente trabajo y como enfrentar este gran desafío.

A mi familia, quienes fueron incondicionales, siempre otorgando su confianza, ánimo y compañía en todo momento, y por sobre todo nunca me permitieron bajar los brazos ni dejar de soñar.

Tabla de contenidos

Contenido

Agradecimientos	ii
Tabla de contenidos	iii
Índice de tablas	iv
Índice de figuras	iv
Resumen Ejecutivo	v
CAPITULO 1	2
1.1 Antecedentes generales del estudio	2
1.1.1 Objetivos	2
1.2 Importancia del estudio	2
1.3 Situación actual	3
1.4 Alcances del estudio	5
1.5 Metodología del trabajo	5
1.6 Hipótesis del estudio	7
CAPITULO 2	8
2.1 Antecedentes generales del proyecto	8
2.1.1 Contexto del proyecto	8
2.1.2 El Tranque de Relaves	10
CAPITULO 3	13
3.1 Metodología	13
3.2 Encapsulamiento de Metales Pesados	13
3.3 Preparación de Materiales	15
3.4 Construcción del Ladrillo	16
3.5 Caracterización de Ladrillos fiscales	19
3.6 Resultados	20
CAPITULO 4	21
4.1 Evaluación económica	21
CAPITULO 5	24
5.1 Conclusiones y recomendaciones.	24
5.1.1 Conclusiones	24

5.1.2 Recomendaciones -----	26
CAPITULO 6 -----	27
6.1 Bibliografía-----	27
CAPITULO 7 -----	28
7.1 Anexos -----	28

Índice de tablas

Tabla 1.1. "Concentración máxima permitida de metales pesados totales en suelo agrícola en distintos países"-----	7
Tabla 3.2 Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales -----	14
Tabla 3.3 Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua lacustre.-----	14
Tabla 3.4: Resultados experimentales Ladrillos Fiscales v/s Ladrillos fabricados en laboratorio. -----	20
Tabla 4.4 Costos asociados a la construcción de ladrillos de 5 Kg, por 1 día.-----	22
Tabla 4.5 Cálculo de costos para acondicionamiento de relave-----	23

Índice de figuras

Figura 2.1 Esquema construcción tranque de relaves vía método "aguas abajo"-----	11
Figura 2.2 Esquema construcción tranque de relaves vía método mixto -----	12

Resumen Ejecutivo

Según datos del Servicio Nacional de Geología y Minería existe gran cantidad de tranques de relaves en nuestro país: 718 a nivel nacional, de los cuales 125 se encuentran abandonados, 124 activos, 437 no activos y 32 sin información adicional. A esto se suma que la cantidad de relaves producidos en Chile anualmente está en el orden de los 537 millones de toneladas. Ante esta cantidad de desechos mineros se hace importante proponer una solución para terminar con estos depósitos y de alguna forma reducir la carga monetaria que significa la mantención de estos pasivos mineros, y además disminuir el riesgo ambiental que significa su construcción.

El presente trabajo propone la utilización de relaves como agregado base para la fabricación de ladrillos. Se evalúa la factibilidad técnica y económica de la fabricación de ladrillo siguiendo un proceso de preparación y acondicionamiento del relave de modo que se mitigue el impacto de los metales pesados que pudiere contener el relave. Se presenta el proceso de fabricación a partir del cual se obtuvo una serie de ladrillos los que fueron sometidos a pruebas de resistencia en el laboratorio de mecánica de rocas de la UDLA, sede La Florida. Los resultados de resistencia obtenidos muestran valores resistentes mayores a la del ladrillo fiscal, comúnmente utilizado en la construcción. Se concluye que este proceso de fabricación puede ser mejorado y que el ladrillo construido a partir de relaves es una opción factible para ser utilizado en estructuras no civiles inicialmente, sujeto a mayores pruebas de mitigación de metales pesados para obras civiles.



Introducción

La industria extractiva minera es uno de las más contaminantes y que más impacto ambiental producen a nivel mundial, lo cual ha generado desde la antigüedad hasta la fecha una serie de perjuicios y daños sobre el medioambiente. En Chile la minería significa uno de los mayores ingresos a nivel monetario y gran desarrollo a nivel país, sin embargo, todos los beneficios que conlleva esta actividad también trae consigo gran cantidad de problemas de tipo ambientales, como es la generación de relaves mineros producto del proceso de concentración de minerales a través de la flotación.

A nivel mundial dicho tema es ampliamente conocido y discutido, sobre todo en lo que se refiere al impacto medioambiental que éstos generan. En nuestro país la situación no es menor, esto debido a la gran cantidad de tranques de relaves que se encuentran abandonados o inactivos y que significan una fuente de contaminación para localidades, comunas y, dependiendo de la envergadura del tranque, una región. Sin embargo y a pesar del peligro latente que implica la existencia de estos relaves mineros no se ha logrado formular una propuesta clara sobre la disposición final de un tranque de relave en estado de abandono, y de los que no se tiene información, esto porque precisamente a la empresa minera dueña del terreno donde se construyó no realizó un correcto plan de cierre debido a que la legislación de la época no obligaba a las empresas mineras a considerar dicha medida; actualmente en el caso de los tranques de relave que se encuentran inactivos son responsabilidad de la empresa minera a la cual pertenece.

Según estimaciones del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) actualmente se producen cerca de 537 millones de toneladas anuales de relaves, de los cuales 530 millones de toneladas son producidas por la gran minería. Por esta razón es que se aspira a una forma de mitigar el impacto de los relaves mineros con la búsqueda de usos alternativos para este material de desecho. El presente trabajo presenta una forma de utilizar estos relaves mineros de modo que sean útiles para, primeramente, las empresas mineras y por consiguiente, para la comunidad.

CAPITULO 1

1.1 Antecedentes generales del estudio

1.1.1 Objetivos

i. Objetivo General:

- Proponer un procedimiento de encapsulamiento de los metales pesados contenidos en los relaves mineros
- Obtención de un agregado de construcción en base al material en los tranques de relaves inactivos.
- Realizar pruebas de resistencia a ladrillos de fabricación propia

ii. Objetivos Secundarios:

- Identificar el procedimiento de encapsulamiento de los metales pesados contenidos en los relaves mineros.
- Construcción de ladrillos a partir de relaves mineros para ser utilizado como material de construcción.
- Evaluación de las características resistentes de los ladrillos fabricados para evaluar su factibilidad técnica como material de construcción.
- Realizar análisis económico para acondicionamiento y fabricación de ladrillos.

1.2 Importancia del estudio

Este estudio propone una solución a la problemática de la producción de relaves y su disposición final, específicamente la utilización de dichos desechos mineros como materia prima para la fabricación de ladrillos que puedan ser efectivamente utilizados en construcciones de diversa índole. Cabe señalar que los beneficios no solo son monetarios para las compañías mineras, sino que además se disminuirá la carga ambiental que significa estas miles de toneladas a la intemperie que, si bien se resguarda la seguridad de un tranque, podría colapsar y producir un desastre ambiental de proporciones.

La totalidad de los tranques de relaves suman un total de 718 a nivel nacional, de los cuales 125 se encuentran abandonados, 124 activos, 437 no activos y 32 sin información adicional. La mayor cantidad de tranques de relaves, se ubican principalmente en las regiones de Atacama y Coquimbo, representan el 71% de los tranques a nivel país (SERNAGEOMIN, 2015), por tanto y considerando la cantidad de tranques disponibles para su utilización es que toma importancia la propuesta indicada en el presente documento, ya que se tiene mayor conciencia respecto al gran impacto socio-ambiental que éstos producen y se puede dilucidar cuales serán los beneficios que implicará la utilización de un desecho minero como materia prima para fabricar materiales de construcción de buena calidad y seguros de utilizar. Mencionar además que las empresas a quienes se les puede ofrecer dicho proyecto se verían beneficiadas en el ámbito monetario debido al costo de mantención y sus relaciones con la comunidad al entregar materiales para construcción de escuelas, hospitales, etc.

1.3 Situación actual

Como se indicó anteriormente, la cantidad de tranques de relaves presentes en nuestro país es enorme, además la cantidad de relaves que se producen diariamente hace obligatorio un tratamiento de estos desechos.

Como es de suponer, Chile no es el único país con alta producción minera. De hecho es solo uno de muchos que tienen una producción mucho mayor y de elementos de mayor valor económico. Sin embargo en el caso del cobre estamos muy bien posicionados y catalogados, llegando a ser el año 2017 el mayor productor de cobre en el mercado, esto significó un aporte al mercado mundial de 26,6% que corresponde a 5,3 Millones de toneladas anuales (Revista Reporte Minero, 3 de Agosto de 2018), lo cual se condice con la cantidad de relaves que se obtienen en Chile tras el proceso de flotación.

La legislación actual indica que todo proyecto minero que quiera iniciar operaciones debe presentar junto con el proyecto mismo un plan de cierre de faena, el cual debe indicar, en el caso de que requiera la construcción de un tranque de relaves, que éste contemple como mínimo lo siguiente:

“Artículo 495.- El Proyecto de Plan de Cierre de Depósitos de Relaves deberá contener lo siguiente:

- *Desmantelamiento de instalaciones,*
- *Secado de lagunas de aguas claras,*
- *Mantenimiento de canales perimetrales,*
- *Sistema de evacuación de aguas lluvias,*
- *Cierre de accesos,*
- *Recubrimiento de cubeta y taludes,*
- *Estabilización de taludes,*
- *Señalizaciones,*
- *Habilitación de vertedero de emergencia,*
- *Cercado de torres colectoras,*
- *Instalación de cortavientos,*
- *Compactación de berma de coronamiento,*
- *Piscinas de emergencia (evaporación),*
- *Construcción de muro de protección al pie del talud, y*
- *Medidas de reparación.” (Reglamento de Seguridad Minera, 2004)*

Las operaciones mineras actuales se apegan todo lo posible a la legislación vigente, cumpliéndola a cabalidad. Tras ver que existen tantas labores mineras en estado de abandono, se puede asumir que las empresas antiguas no lo hacían debido a que no existían sanciones a las malas prácticas ni a la desinformación con los organismos gubernamentales. Hoy eso no ocurre debido, justamente, a que conforme se avanzó en el trabajo limpio, seguro y cuidando el medio ambiente, también se avanzó con los temas legales. Uno de esos grandes avances en Chile fue la creación del reglamento de seguridad minera, el cual vino a terminar con la desinformación, transparentando los proyectos mismos y obligando a las empresas a hacerse cargo de todas sus instalaciones. En este punto cobra vital importancia el Servicio nacional de geología y minería (SERNAGEOMIN), responsables de fiscalizar diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves. Esta entidad además está facultada para cursar infracciones y multas a las empresas que no cumplan a cabalidad con la legislación vigente en Chile.

1.4 Alcances del estudio

Principalmente se desea estimar si es económicamente viable la fabricación de ladrillos como agregado de construcción a partir de relaves y, además, fabricar un ladrillo y realizar ensayos de resistencia para hacer la comparación con los ladrillos fiscales disponibles en el mercado de la construcción. Para esto se explora el procedimiento de acondicionamiento del relave (encapsulamiento de metales pesados) y posterior utilización como material base para fabricación de los antes mencionados ladrillos. Una vez realizado lo indicado en el punto anterior se procede a la fabricación de una tabla de costos para estimar si efectivamente se puede utilizar el procedimiento de encapsulamiento de metales pesados con Cal. Además, se utilizará la información recolectada como guía para determinar la mejor opción para hacer el proceso mas eficiente y óptimo para su realización.

1.5 Metodología del trabajo

Al comienzo se realizó una revisión bibliográfica con el fin de analizar trabajos de investigación y otro tipo de documentos informativos. La idea general fue recopilar la mayor cantidad de datos en cuanto a los materiales utilizados en la construcción y contenidos en un tranque de relave. Esto con la finalidad de evaluar la disposición final del mismo, considerando que en la actualidad la disposición final del tranque no es del todo eficiente, ni desde el punto de vista técnico y mucho menos desde el punto de vista económico, toda vez que, ante la inexistencia de un buen plan de cierre, la empresa minera debe incurrir en diversos gastos para su mantención siendo un pasivo para la empresa. Cabe también señalar, que su construcción no es amigable con el medio ambiente, lo que contempla además del daño al ecosistema circundante, daño a los pueblos, localidades o ciudades que se encuentren en su área tal como ya ha ocurrido en nuestro país anteriormente, por ejemplo, en el año 1965 con el colapso del tranque “El Cobre” de minera Disputada de las Condes donde fallecieron alrededor de 200 personas (A. Maturana, 2010). Por otra parte, era una práctica común en algunas mineras obviar el plan de cierre, dejando sus dependencias expuestas a los continuos cambios de clima y fenómenos telúricos que tornan del todo insegura la existencia de los tranques, a pesar

que la ingeniería utilizada en su diseño y construcción tornaba de alguna manera predecible su comportamiento.

A través del análisis de literatura relacionada a tranques de relaves se buscó generar instancias de conocimiento del estado actual de dichas construcciones y determinar la posibilidad de diseñar medidas que puedan dar fin a una posible fuente de contaminación ambiental, aplicando el conocimiento teórico relacionado a la reutilización de los materiales que forman parte de la estructura y contenido del tranque, previo tratamiento de compuestos químicos y metales pesados que podrían ser nocivos para la salud y el entorno natural al encontrarse fuera de las cantidades permitidas por la legislación vigente (Tabla 1.1). Cabe señalar que el contenido de metales pesados expuestos en dicha tabla es para suelo agrícola, lo que no aplica para el caso de la minería ya que no existe legislación respecto de la concentración máxima de metales pesados en los materiales de desecho de los procesos mineros, por lo cual sólo se utiliza a modo de referencia. Principalmente se busca reducir el impacto social y medioambiental que trae como consecuencia la existencia de estos tranques que se encuentran abandonados, sin información o en estado de inactividad.

En lo concerniente al presente documento, se utilizará trabajo del Sr. Alfonso Romero en Perú, (Reúso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas, 2010), el cual se utilizará parcialmente en cuanto a la metodología utilizada y procedimiento, el cuál demostró que efectivamente se pueden obtener agregados de construcción a partir de lodos de relaves, tema del cual se indicará el procedimiento realizado para la preparación y obtención de ladrillos, para posteriormente determinar a través de costos si es factible o no su aplicación en nuestro país.

Tabla 1.1 Concentración máxima permitida de metales pesados totales en suelo agrícola en distintos países.

Pais		Elemento (mg kg ⁻¹)								
		As	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Zn	Cr
Chile ¹	Macrozona norte pH >6,5	20	2	150	1,5	112	75	4	175	n.n.
	Macrozona Norte pH < 6,5	12,5	1,25	100	1	50	50	3	120	n.n.
	Macrozona sur pH > 5	10	2	75	1	30	50	4	175	n.n.
U E ²		n.n.	1-3	50-140	1-1,5	30-75	50-300	n.n.	150-300	100-150
	Francia	n.n.	2	100	1	50	100	n.n.	300	150
	Italia	n.n.	1,5	100	1	75	200	n.n.	300	-
	España	n.n.	0,4	40	0,3	30	40	n.n.	100-150	60
Turquía ³	Suelos pH > 5	n.n.	3	100	2	50	100	n.n.	300	100
Australia ⁴	Suelos pH < 5	20	1	100	1	60	150	5	200	100
US ⁵		n.n.	20	750	8	210	150	n.n.	1400	1500
Canada ⁶	Suelos pH>6	14	1,6	100	0,5	32	60	1,6	220	20

Tomado de Criterios de Calidad de Suelos y Aguas de Riego, SAG, 2005.

Posteriormente a la evaluación bibliográfica se estableció un plan de trabajo para la fabricación de ladrillos en base a relaves, esto con la finalidad de hacer una comparación en resistencia y generar datos que confirmen la hipótesis planteada.

1.6 Hipótesis del estudio

Para el presente trabajo se considera inicialmente la siguiente hipótesis: “¿De qué manera se podría terminar con los tranques de relaves que se encuentran abandonados?”, posteriormente y luego de haber leído al respecto (legislación, construcción de un tranque, proceso y contenido de los relaves) la hipótesis se fue transformando en algo más tangible “¿Es factible usar los relaves para construcciones urbanas?” y por último la hipótesis final al evaluar las posibilidades sobre los procedimientos descritos para usar relaves sin mayor riesgo para la salud es “Demostrar un uso alternativo de los relaves mineros mediante la fabricación de ladrillos a utilizar como material de construcción”

5 CAPITULO 2

2.1 Antecedentes generales del proyecto

2.1.1 Contexto del proyecto

Dentro de los muchos procesos para la obtención de minerales de interés económico se encuentra el proceso de “Flotación”. *Es una técnica de concentración en húmedo donde se aprovechan las propiedades físico-químicas superficiales de las partículas para efectuar la selección, en otras palabras, se trata de un proceso de separación de materias de distinto origen que se efectúa desde sus pulpas acuosas por medio de burbujas de aire y a base de sus propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas* (“Laboratorio de Operaciones Unitarias Metalúrgicas: Flotación”, Universidad Católica de Valparaíso, 2011). Es importante, además, indicar que para que el proceso de flotación sea efectivo se deben agregar compuestos químicos para facilitar la concentración del metal de interés, como son:

- a) *Espumante: Tienen como propósito la creación de una espuma capaz de mantener las burbujas cargadas de mineral hasta su extracción de la máquina de flotación (celdas)*
- b) *Colector: Es el reactivo fundamental del proceso de flotación puesto que produce la película hidrofóbica sobre la partícula del mineral*
- c) *Modificadores: Actúan como depresores, activadores, reguladores de pH, dispersores, etc. Facilitando la acción del colector para flotar el mineral de valor, evitando su acción a todos los otros minerales como es la ganga. (Manual de Flotación, empresa minera los Quenuales S.A., 2004)*

El residuo final del proceso de flotación es conocido como relave, descrito por el Ministerio de Minería de Chile como “...Residuo, mezcla de mineral molido con agua y otros compuestos, que queda como resultado de haber extraído los minerales sulfurados en el proceso de flotación. Este residuo, también conocido como cola, es transportado mediante canaletas o cañerías hasta lugares especialmente habilitados o tranques, donde el agua es recuperada o evaporada para quedar dispuesto finalmente como un depósito

estratificado de materiales finos (arenas y limos)". Dentro de los contaminantes contenidos en relaves, además de los químicos antes mencionados cabe señalar la posibilidad de aumento en contenido de diversos metales pesados, que si están en altas concentraciones pueden ser nocivos para la salud. En esta línea los contaminantes que destacan son: mercurio, arsénico, cadmio, plomo, cromo, cobre, hierro, manganeso y zinc (CENMA Chile, 2012)

El relave es almacenado en estructuras conocidas como tranque de relaves que tiene como objetivo la recepción de la pulpa de relaves que se producen en la etapa de flotación, la que tiene también como uso principal, la construcción de los muros que contienen dicho tranque, por tanto se hace imperativo responder ¿Qué podrían hacer las empresas mineras con sus tranques de relaves? ¿De qué manera pueden las autoridades disminuir el potencial contaminante de estas construcciones?

La legislación chilena actual es clara en este aspecto e indica *"(...) el Usuario deba suspender las operaciones del depósito de relaves, ya sea en forma temporal o definitiva, deberá adoptar las medidas necesarias para evitar el riesgo de accidente, comunicándolas previamente al Servicio para su aprobación. Cuando el usuario decida reiniciar las operaciones después de un cierre temporal, deberá solicitar autorización al Servicio. Además, tomará medidas para evitar condiciones de riesgo a la seguridad de las personas en la puesta en marcha, y continuará operando el depósito de relaves de acuerdo al proyecto aprobado por el Servicio"* (D.S. 248, 2007). Esto indica que la responsabilidad ante un inminente cierre de faena, temporal o definitivo, es la empresa minera la que se debe hacer cargo de la disposición final del tranque y la seguridad de los trabajadores implicados en la puesta en marcha.

En el caso de cierre definitivo, se estipula: *"El usuario deberá disponer de un Proyecto de Cierre de este 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, considerando medidas de refuerzo y rehabilitación, tal que proteja la salud y seguridad de las personas, y restituya el terreno en condiciones aceptables, conforme a lo prometido y aceptado en su Plan de Cierre"* (D.S. 248, 2007).

Considerando lo expuesto anteriormente, se podría considerar tomar acciones sobre los tranques de relaves que en la actualidad se encuentran abandonados y de los que no se tiene información sobre quienes fueron sus dueños. Sin embargo, para tomar acciones sobre los tranques de relaves que se encuentran inactivos lo ideal es tomar contacto con las empresas mineras que figuran como dueñas de estas labores y conocer su postura al respecto, es decir, tener una clara idea sobre si dichas empresas retomarán las operaciones de sus tranques, si se encuentran en este estado de inactividad porque la empresa no sabe qué hacer con ellos o por algún motivo no se ha podido concretar un plan de cierre. Es en este punto donde el presente trabajo toma importancia, ya que si se logra entregar una buena propuesta para el tratamiento final de un tranque de relaves, esto podría traducirse como un ahorro en costos de mantención y vigilancia, además del tiempo valioso que significa su constante monitoreo.

Cabe señalar además que un tranque de relaves es un “pasivo minero”, esto significa que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad. También indicar que sus riesgos específicos incluyen:

- Inestabilidad del tranque (licuefacción)
- Percolación de aguas contaminadas
- Arrastre del relave en caso de crecidas
- Contaminación atmosférica por material particulado
- Accidentes de personas

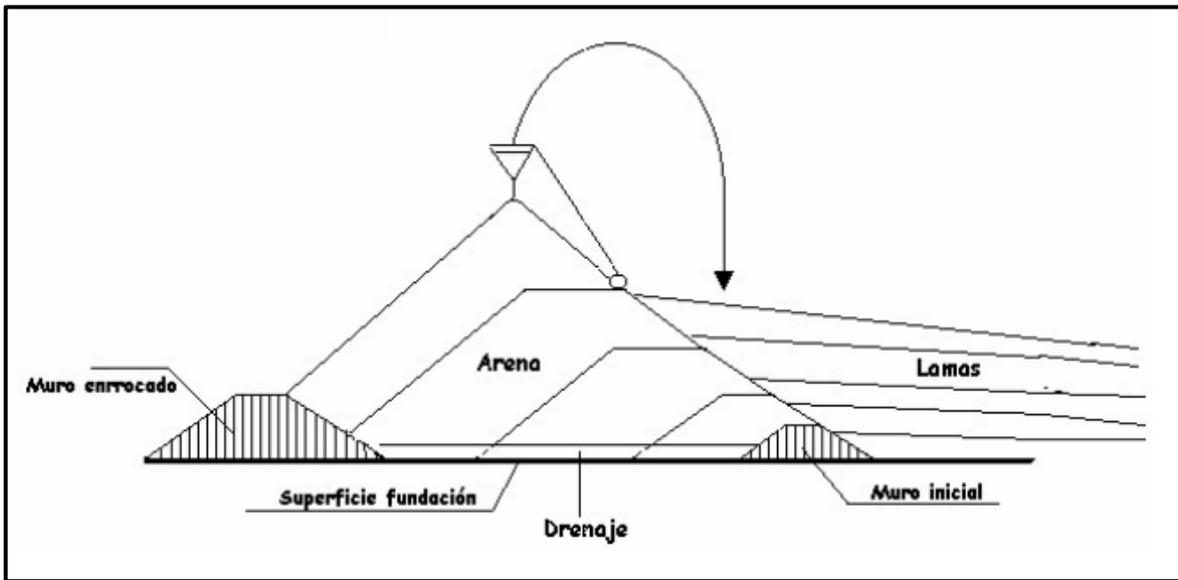
2.1.2 El Tranque de Relaves

En Chile los tranques de relaves se construyen en su mayoría mediante el método “Aguas Abajo”, la construcción se inicia con un muro de partida de material de empréstito compactado desde el cual se vacía la arena cicloneada hacia el lado del talud aguas abajo de este muro y las lamas se depositan hacia el talud aguas arriba. Cuando el muro se ha peraltado lo suficiente, usualmente 2 a 4 m., se efectúa el levante del muro, desplazando los hidrociclones a una mayor elevación en la dirección hacia aguas abajo y comenzando una nueva etapa de descarga de arenas y peralte del muro (ver fig.2.1). A veces se dispone también de un segundo muro pre-existente aguas abajo. Las arenas se

pueden disponer en capas inclinadas, según el manto del talud del muro de partida, o bien, disponerlas en capas horizontales hacia aguas abajo del muro de partida.

Este método de aguas abajo requiere disponer de un gran volumen de arenas y permite lograr muros resistentes más estables del punto de vista de la resistencia sísmica (Nelson

Figura 2.1 Esquema construcción tranque de relaves vía método "aguas abajo"

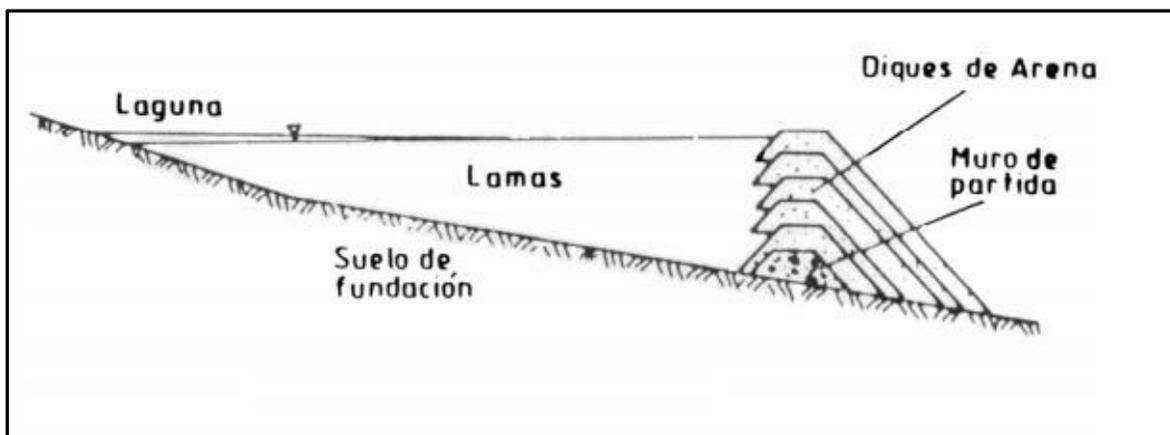


Tomado de "Guía técnica de operación y control de depósitos de relaves" A. Ramírez, 2007

El segundo método utilizado en nuestro país, pero en menor medida corresponde al "Método del eje central o mixto" (ver fig. 2.2), el cual inicia al igual que el método anterior con un muro de partida de material de empréstito compactado, sobre el cual se depositan las arenas cicloneadas hacia el lado de aguas abajo y las lamas hacia el lado de aguas arriba. Una vez completado el vaciado de arenas y lamas correspondiente al muro inicial, se eleva la línea de alimentación de arenas y lamas, siguiendo el mismo plano vertical inicial de la berma de coronamiento del muro de partida. Lo que permite lograr un muro de arenas cuyo eje se mantiene en el mismo plano vertical, cuyo talud de aguas arriba es más o menos vertical, y cuyo talud de aguas abajo puede tener la inclinación que el

diseño considera adecuada, y permite lograr muros suficientemente estables (D.S. 248, 2007).

Figura 2.2 Esquema construcción tranque de relaves vía método mixto



Tomado de "Guía técnica de operación y control de depósitos de relaves", 2007.

En el caso del método "Aguas arriba", la legislación chilena vigente no la contempla para ser utilizada por lo tanto SERNAGEOMIN tiene la obligación de fiscalizar que no se utilice este método de construcción (D.S. 248, 2007).

CAPITULO 3

3.1 Metodología

El trabajo práctico presentado en el presente documento se desarrolló a partir de una muestra de relaves obtenida de una pequeña minera ubicada en caimanes, una localidad ubicada en la comuna de Los Vilos, IV Región de Coquimbo. Dicho relave fue sometido, previo a su utilización para fabricar ladrillos, a un proceso llamado encapsulamiento de metales pesados, el cual acondiciona el relave para que éste al ser material base para los ladrillos no libere su contenido de metales pesados al medio ambiente, ni tampoco sea material de daño para las personas. A Continuación se indica en detalles el proceso antes señalado.

3.2 Encapsulamiento de Metales Pesados

El uso de relaves para la fabricación de ladrillos como material de construcción, requiere conocer el contenido de contaminantes disueltos en el agua, arenas y lodo de relaves, idealmente individualizados en un informe químico. Éste punto es crítico, debido a que cada tranque tiene su propia mezcla de químicos, es decir, que para un mismo elemento la concentración puede variar en un rango muy amplio entre un tranque y otro, sin embargo y destacando el hecho anterior, hay mucha similitud en cuanto a los componentes y partículas contenidas, independiente de la concentración, por lo que se busca un método de neutralización general para, principalmente, metales pesados diluidos en el agua contenida en el tranque.

Por tanto, y considerando lo mencionado anteriormente, los tranques de relaves tienen un alto contenido de metales pesados y otros compuestos de carácter químico. Frente a esto la legislación chilena enmarcó los contenidos límites que se pueden contener en RILES (residuos industriales líquidos), lo cual en este caso serían RILES mineros, estas concentraciones se muestran a modo de ejemplo en las Tablas 3.1 y 3.2. (D.S. 46, 2003) lo que serían las concentraciones de químicos máximas permitidas a cuerpos de agua Fluviales y Lacustres, valores que se utilizarán como referencia nuevamente, ya que la legislación en este ámbito no es clara ni específica en cuanto a la contaminación máxima

que se podría permitir para la actividad minera en Chile. El ente encargado de fiscalizar que se cumplan estos límites de contenido de contaminantes es la Superintendencia del Medio Ambiente.

Por tanto, el proceso de encapsulamiento de metales pesados se define como “tratamiento para metales pesados y contaminantes orgánicos, que trata en forma efectiva efluentes, aguas y otros líquidos y también residuos sólidos, suelos, sedimentos y relaves contaminados. Es un proceso a través del cual se inmoviliza e insolubiliza a los metales pesados mediante la utilización de Cal, este efecto se logra a través de una reacción química entre los componentes de los metales pesados en la matriz del relave, los sistemas más comunes de solidificación involucran a los aglomerantes o cemento”. Convierte los metales pesados a una forma inerte segura mediante el recubrimiento con sílice y es particularmente efectivo para arsénico, cadmio, mercurio, cobre, plomo, zinc y cromo (Alfonso Romero, 2010).

Tabla 3.2 Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales

Contaminantes	Unidad	Expresión	Límite Máximo Permisible
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	20
Aluminio	mg/L	Al	1
Arsénico	mg/L	As	0,1
Cadmio	mg/L	Cd	0,02
Cianuro	mg/L	CN-	0,5
Cobre Total	mg/L	Cu	0,1
Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 ml	Coli/100 ml	1000-70 *
Índice de Fenol	mg/L	Fenoles	0,5
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr6+	0,2
Cromo Total	mg/L	Cr Total	2,5
DBO5	mgO2/L	DBO5	35
Estaño	mg/L	Sn	0,5
Fluoruro	mg/L	F-	1
Fósforo	mg/L	P	2
Hidrocarburos Totales	mg/L	HCT	5
Hierro Disuelto	mg/L	Fe	2
Manganeso	mg/L	Mn	0,5
Mercurio	mg/L	Hg	0,005
Molibdeno	mg/L	Mo	0,07
Níquel	mg/L	Ni	0,5
Nitrógeno Total **	mg/L	N	10
PH	unidad	pH	6,0 - 8,5
Plomo	mg/L	Pb	0,2
SAAM	mg/L	SAAM	10
Selenio	mg/L	Se	0,01
Sólidos Sedimentables	ml/l/h	S SED	5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SS	80
Sulfatos	mg/L	SO42-	1000
Sulfuros	mg/L	S2-	1
Temperatura	°C	T°	30
Zinc	mg/L	Zn	5

Tabla 3.3 Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua lacustre.

Contaminantes	Unidad	Expresión	Límite Máximo Permisible
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	20
Aluminio	mg/L	Al	5
Arsénico	mg/L	As	0,5
Boro	mg/L	B	0,75
Cadmio	mg/L	Cd	0,01
Cianuro	mg/L	CN-	0,20
Cloruros	mg/L	Cl-	400
Cobre Total	mg/L	Cu	1
Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 ml	Coli/100 ml	1000
Índice de Fenol	mg/L	Fenoles	0,5
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr6+	0,05
DBO5	mg O2/L	DBO5	35 *
Fósforo	mg/L	P	10
Fluoruro	mg/L	F-	1,5
Hidrocarburos Fijos	mg/L	HF	10
Hierro Disuelto	mg/L	Fe	5
Manganeso	mg/L	Mn	0,3
Mercurio	mg/L	Hg	0,001
Molibdeno	mg/L	Mo	1
Níquel	mg/L	Ni	0,2
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	NFT	50
Pentaclorofenol	mg/L	C6OHC15	0,009
PH	Unidad	pH	6,0 -8,5
Plomo	mg/L	Pb	0,05
Poder Espumógeno	mm	PE	7
Selenio	mg/L	Se	0,01
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SS	80 *
Sulfatos	mg/L	SO42-	1000
Sulfuros	mg/L	S2-	1
Temperatura	°C	T°	35
Tetracloroetano	mg/L	C2C14	0,04
Tolueno	mg/L	C6H5CH3	0,7
Triclorometano	mg/L	CHCl3	0,2
Xileno	mg/L	C6H4C2H6	0,5
Zinc	mg/L	Zn	3

Una vez caracterizado el contenido de metales pesados en el tranque de relaves, se continúa con realizar el procedimiento de neutralización de los elementos nocivos, con la finalidad de la utilización de materiales disponibles para la fabricación de elementos para construcción, más específicamente, reúso de relaves para obtención de ladrillos para construcción. El proceso indicado anteriormente se llama “Acondicionamiento” del relave, el cual consiste en mezclar previamente dicho compuesto con cal y cemento, de esta manera los metales pesados son “capturados” por la cal y fijados con el cemento, permitiendo así que al ser mezclado con cemento y cal en cantidades distintas para la fabricación final del ladrillo el relave sea suficientemente seguro

3.3 Preparación de Materiales

El primer proceso es caracterizar y determinar la calidad del relave lo cual involucra los siguientes pasos:

- a) Caracterización geoquímica el relave.

Es importante saber detalladamente todos los compuestos del relave con la cantidad correspondiente con ayuda de un Espectrómetro XRF portátil

- b) Análisis granulométrico.

La granulometría del relave se divide en dos tamaños; por un lado se tiene un tamaño de partícula fina (74 micrones), y por otro, un tamaño de partícula gruesa (100 micrones), donde el relave posee una humedad con un valor de 10%; de esta manera, el tamaño de grano y el porcentaje de humedad son considerados como las condiciones óptimas del relave para poder someterlo a las pruebas de elaboración de agregados de construcción para la fabricación de ladrillos.

- c) Caracterización físico-química.

La caracterización se emplea para determinar la forma de cristalización, así como el grado de asociación de las diferentes especies minerales que se encuentran en las muestras del relave polimetálico de flotación.

d) Encapsular los metales pesados presentes en el relave.

Se consigue preparando una mezcla con una proporción en peso del relave que representa del 70 al 90% del peso total del relave a encapsular, cemento que representa del 9 al 16% en peso del total del relave a encapsular, cal que representa del 1 al 10% en peso del total del relave a encapsular; agregar agua hasta obtener una mezcla coloidal y finalmente secar la mezcla. En síntesis, al mezclar el relave con cal se obtiene el agregado de construcción, el cual al ser mezclado con cemento da como resultado un ladrillo para obras de construcción.

3.4 Construcción del Ladrillo

El agua contenida en el tranque de relaves es muy útil, esto porque ayuda a evitar la polución y dispersión de los metales pesados que se encuentran en la construcción, y como se indicó anteriormente son compuestos altamente tóxicos. Lo ideal es trabajar con el relave húmedo ya que así habría un ahorro en cantidad de agua, aunque también se puede trabajar con el relave en seco y luego darle la humedad deseada, la idea principal es disminuir los costos de fabricación por lo cual utilizar el agua del mismo tranque es lo más óptimo. La extracción del barro se realizará con un equipo diseñado para esta tarea, como puede ser una bomba de gran capacidad, ya que se necesita que posea capacidad de movilizar fluidos de mayor densidad que el agua. Una vez extraído y almacenado el barro se continúa con el paso siguiente, que corresponde al análisis de rayos X y microscópico para determinar los compuestos contenidos en el material de prueba, con el fin de neutralizar los elementos peligrosos para la salud de la población y el medio ambiente. Para esto se establecerá la siguiente metodología experimental:

- Procedimiento para la obtención del agregado de construcción a partir de relaves.
- Procedimiento para la fabricación de ladrillos a partir del agregado de construcción.

Para el desarrollo del proyecto se consideraron los siguientes materiales:

- Relave
- Cemento
- Cal
- Agua
- Espátula
- Balde
- Molde para ladrillos



Lo primero es obtener el relave acondicionado el cual se utiliza en húmedo, para posteriormente mezclarlo con las proporciones de cemento y cal de la siguiente manera:

1. Para un ladrillo de 5 Kg cada unidad, se requiere que el 50% del peso corresponda a Relave acondicionado, 10% de Cal, 35% de Cemento y el resto es agua (Alfonso

Romero, 2010).

2. Por lo tanto, 2,5 Kg deben ser de relave acondicionado, 0,75 Kg de Cal y 1,75 Kg de Cemento. Se consideró la fabricación de 8 ladrillos para hacer los ensayos de Compresión simple, Carga puntual y tracción indirecta. Entonces, 8 ladrillos por 2,5 Kg, se requieren 20 Kg de relave acondicionado para 40 Kg totales de mezcla.



Para preparar el relave acondicionado (Agregado de construcción) se debe mezclar de la siguiente manera: Las proporciones indicadas son 75% de relaves, 10% Cal y 15% de Cemento, lo que corresponde a 15 Kg de relaves, 2 Kg de Cal y 3 Kg de Cemento. Una vez homogenizada la mezcla se agregan las proporciones para la fabricación del ladrillo propiamente tal, se agrega agua hasta tener

una mezcla de aproximadamente 10% de humedad (a la vista similar a la greda o arcilla).



4. Posteriormente la pasta homogenizada se vierte en moldes previamente fabricados de medidas 7x15x23cm. En el mercado los ladrillos tienen medidas de 15x5x30, pero se puede solicitar a pedido medidas especiales. En este caso la diferencia con los de fabricación propia no incide en el resultado final de mediciones ya que las muestras se prepararán para dichas pruebas.



5. Lo siguiente es pasar por un proceso de pre-secado, el cual consistió en dejarlos secar al aire libre por 24 Hrs para eliminar el exceso de agua.

Pasado este tiempo, la etapa que sigue es la de secado, esto se puede hacer de 2 maneras: Pasando los ladrillos por una cinta transportadora a través de un horno en forma de túnel donde los ladrillos son expuestos a temperaturas de hasta 1000°C (producción industrial). La otra manera es formar grupos de ladrillos dispuestos en pirámide dejando una entrada pequeña, posteriormente se prende una hoguera al interior utilizando los mismos ladrillos como horno y aprovechando la estructura misma para el propósito final de “cocerlos”.

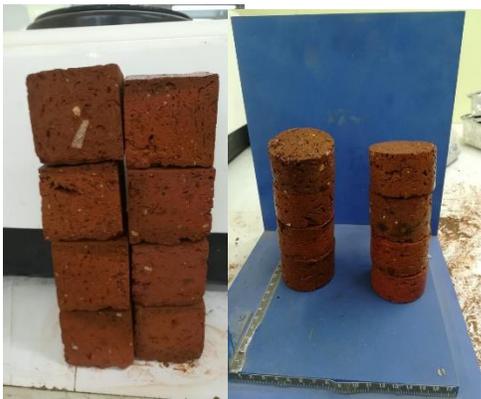


En el caso de esta preparación no se contaba con el espacio ni la cantidad suficiente de ladrillos para montar un horno, sin embargo el laboratorio de mecánica de rocas UDLA cuenta con 2 hornos, los que alcanzan temperaturas de 300°C. La bibliografía revisada indica que los ladrillos se pueden cocer entre 90° y 900°C, por lo cual se tomó la decisión experimental de cocer 5 ladrillos a

150°C y 6 ladrillos a 300°C por 48 Hrs.

Cabe señalar que en cada etapa los ladrillos fueron debidamente pesados, esto para saber cuánto volumen de agua se pierde entre todas las etapas. Dicho pesaje se realizó también con los ladrillos fiscales, lo cual se detallará a continuación.

3.5 Caracterización de Ladrillos fiscales



1. Para el paso experimental se utilizaron 10 ladrillos de tipo fiscales en una conocida tienda del mercado de la construcción. Se numeraron y se seleccionaron al azar 4 ladrillos, los que serían utilizados para medir sus propiedades higroscópicas a través del cálculo de porosidad. Para esto se pesaron, se secaron en horno a 50°C por 24 Hrs. Cumplido este tiempo se volvieron a pesar y luego se sumergieron en tinas de agua presentes en el laboratorio de minas UDLA por 24 Hrs. Finalmente se volvieron a pesar, para con estas diferencias de peso realizar el cálculo de porosidad.

El siguiente paso fue preparar 2 ladrillos más para ensayos destructivos. Estos ladrillos se midieron y dividieron en 8 partes iguales cada uno, se extrajeron cubos y discos para realizar ensayos de compresión y de tracción indirecta. Cortar y perforar los ladrillos son acciones que se realizan en húmedo, por lo cual se secaron las muestras a 50°C por 24 Hrs, se dejaron enfriar y se

dispusieron para los ensayos.

Todas estas acciones de preparación se realizaron también con los ladrillos de elaboración propia, para que no hubiera diferencia entre un tipo y otro se hicieron a la par una vez estuvieron cocidos los ladrillos propios y que los ensayos fueran lo más claro posible.

3.6 Resultados

Con el fin de que los resultados pudieran ser comparados de manera clara y precisa, es que se realizaron los mismos ensayos para ambos tipos de ladrillos. Los resultados obtenidos de los ensayos destructivos se representan en la siguiente tabla:

Tabla 3.4: Resultados experimentales Ladrillos Fiscales v/s Ladrillos fabricados en laboratorio. (Elaboración propia)

	Ladrillo Fiscal	Ladrillo Propio
Porosidad X	34%	12%
Peso Húmedo (Kg) X	4,01	4,6
Peso Seco (Kg) X	3,24	3,7
seco aparente (Kg) X	3,25	4,12
Vol Aparente (cm ³)	2250	2415
Vol Real (cm ³)	1480	1935
compacidad	0,65	0,8
Densidad (g/cm ³)	2,19	1,91
Resistencia a la compresión		
Compresión Simple X	27,42 kN - 2,34 Mpa	61,81 kN - 6,91 Mpa
Tracción indirecta X	8,36 kN - 2,79 Mpa	7,26 kN - 3,85 Mpa
Módulos de elasticidad		
Vp (m/s)	1768,5	2193,1
Vs (m/s)	1061,1	1315,86
Módulo de young	0,566	806,116
Poisson	0,22	0,22

CAPITULO 4

4.1 Evaluación económica

Tabla 4.4 Costos asociados a la construcción de ladrillos de 5 Kg, por 1 día. (Elaboración propia)

Actualización 2018					
Elementos del producto		cantidad	utilizado base 5Kg	Cantidad	unidad
Materiales					
Cemento (saco 25 Kg)	\$	3.550	25 Kg	35%	1,75 Kg
Cal (saco 25 Kg)	\$	3.690	25 Kg	10%	0,5 Kg
Agua	\$	544,0	\$/m3 (1000L)	5%	0,25 L
Lodo relave (acondicionado)	\$	63.876	625 Kg	50%	2,5 Kg
Balde (12 Lt)	\$	1.490	Unidad		1
Molde para ladrillo (tira de madera 320x7,7x2,56 cm)	\$	1.320	Unidad		1
Espátula llana	\$	2.170	Unidad		1
MOD					
Persona 1	\$	2.000	h/t		8 Hr
Persona 2	\$	2.000	h/t		8 Hr
Procesos Productivos (día)					
Costos primos					
MOD	\$	32.000		unidades	\$ por unidad
Materiales x 250 unidades	\$	107.620		venta	250 \$ 1.000 \$ 250.000
Total	\$	139.620		costo	250 \$ 686 \$ 171.620 dif \$ 78.380
Costos de conversión					
MOD	\$	32.000			
Costos Indirectos	\$	-			
Total	\$	32.000			
Costos de producción					
Costos primos	\$	139.620			
Costos de conversión	\$	32.000			
Total	\$	171.620			

Tabla 4.5 Cálculo de costos para acondicionamiento de relave (Elaboración propia)

250 ladrillos				cantidad	
1.250 K	cemento	35%	438 K	18 sacos	\$ 63.900
	cal	10%	125 K	5 sacos	\$ 18.450
	Agua (Aprox)	5%	62,5 L		\$ -
	Relave	50%	625 K		\$ 25.270
Total		100%	1250		\$ 107.620
relave acondicionado					
	proporcion				
cal	0,1				
relave sin procesar	0,75				
cemento	0,15				
para 625 Kg de relave					
					sacos
cal	63	Kg		3	\$ 11.070
relave	469	Kg		0	0
cemento	94	Kg		4	\$ 14.200
	total	625	Kg		\$ 25.270

Información obtenida de catálogo Easy apartado de construcción Julio 2018

Se puede apreciar en las tablas 4.4 y 4.5, los costos asociados a la implementación del plan para la fabricación de ladrillos a partir de desechos de relaves. Al revisar los valores de ladrillos en el mercado se pudo apreciar una gran variedad de éstos y, por lo tanto, una gran gama de valores los que varían desde **\$132.-** hasta **\$7.590.-** por unidad (Catálogo Easy, 2018) dependiendo de su uso, calidad y combinaciones de materiales que lo componen. Un claro ejemplo de lo mencionado es el caso de los “Ladrillos Refractarios” utilizados, por ejemplo, en la construcción de hornos industriales. Éstos tienen un alto valor en el mercado debido a su alta capacidad de resistir y mantener el calor sin sufrir fracturas ni ver afectada su estructura de alguna forma.

Los cálculos fueron realizados en base a la fabricación de ladrillos de aproximadamente 5 Kg de peso (húmedo) y medidas de 7x15x23 cm, se incluyen también las proporciones de cemento y cal agregadas por unidad. Según se indica el costo por fabricar cada unidad de

ladrillo tiene un costo de **\$686.-** solamente en materiales y mano de obra, no se considera arriendo ni gasto en combustible.

Por tanto, si se decide realizar la venta de los ladrillos terminados por un valor de **\$1.000.-** (a modo de ejemplo), se podrían cubrir todos los gastos asociados y obtener un recuperó. Cabe señalar, además, que los ladrillos se venden por unidades o por Pallets, en este último la venta habitual se hace en 250 unidades por pallet, hecho de esta manera y al valor de venta de **\$1.000.-** menos el costo por 250 ladrillos, tenemos una diferencia a favor por pallet de **\$78.380.-**. Tomando esto en consideración conforme avance el proyecto, se debe contar con más trabajadores para lograr una mayor producción de ladrillos y tener disponible para venta más pallets para así generar más ingresos. Para esto lo más apropiado es construir una pequeña fábrica (tal vez artesanal al inicio) o recurrir a fuentes de financiamiento gubernamentales o privadas, un ejemplo de esto es el caso del proyecto liderado por el señor Gonzalo Campusano en la ciudad de Copiapó quien el año 2018 comenzó con su proyecto “Ecoadoquines” para obtener Adoquines a partir de relaves abandonados. El señor Campusano obtuvo financiamiento de un programa impulsado por “Minera Candelaria” y “Chrysalis Atacama” el cual busca desarrollar innovaciones de carácter social en beneficio de la comunidad.

Por último, indicar que para efectos de cálculos no se consideró el costo asociado al agua a utilizar, ya que lo ideal es la reutilización de esta misma presente en el tranque.

CAPITULO 5

5.1 Conclusiones y recomendaciones.

5.1.1 Conclusiones

En cuanto a la hipótesis planteada, en efecto, se pudo demostrar que es factible la fabricación de ladrillos competentes a partir de relaves, y además que es un procedimiento con baja dificultad para llevar a cabo. Es dable señalar además que no es una metodología nueva, ya que es un método probado en Perú y totalmente aplicable en Chile. La ventaja principal de éste es que los materiales para fabricarlos no significan un elevado costo, el punto es que se debe realizar el acondicionamiento previo, lo cual eleva sus costos ya que se necesita más material para este procedimiento, sin embargo es justamente por esta razón que la resistencia obtenida por el ladrillo de base relaves se equipara con un ladrillo macizo común a pesar de no contener arcilla en su constitución.

Se logró obtener información suficiente que permitió exponer el procedimiento de encapsulamiento de metales pesados con Cal y la obtención del agregado de construcción, detallando el paso a paso para obtener dicho agregado y posteriormente el modo de utilización de éste en la mezcla para fabricar el ladrillo en laboratorio.

Se estimó el costo de fabricación, que a juicio nuestro resultan del todo beneficioso para la empresa minera y quien quiera hacerse cargo del manejo de estos desechos, ya que por el momento solo constituyen un gasto continuo para la mantención de este pasivo, por lo que si se trabajase el relave como se propuso, dicho costo podría transformarse en un beneficio, tanto socio-ambiental como monetario.

En relación al objetivo planteado sobre “Identificar los riesgos asociados a la construcción de un Tranque de Relaves y sus consecuencias para la población, estableciendo con esto, los beneficios que traerá la propuesta expuesta en el presente trabajo” cabe hacer presente que el principal riesgo, afecta directamente la salud de las personas por contaminación de metales pesados. Sin perjuicio que existen riesgos como:

- Inestabilidad del tranque (licuefacción)
- Percolación de aguas contaminadas
- Arrastre del relave en caso de crecidas
- Contaminación atmosférica por material particulado
- Accidentes de personas

La salud adquiere vital importancia, considerando que la mayoría de los tranques se ubican en cercanías de zonas pobladas.

En este sentido, la utilización del material de los tranques en la creación de un producto secundario aminoraría los riesgos de salud al que se ven afectadas las personas, logrando con ello un manejo más eficiente y sustentable.

Sobre los resultados obtenidos de los ensayos de esfuerzo en los ladrillos propios y los fiscales, se puede afirmar:

- El ladrillo de fabricación propia presenta una compacidad mayor que el ladrillo fiscal, lo cual se condice con el cálculo de porosidad, ya que al ser más compacto hay menos espacios en su interior por lo que su higroscopicidad será menor.
- Sin embargo, la densidad presentada por el ladrillo fiscal es mayor que el de elaboración propia, esto podría significar que a pesar de que existen más espacios en su interior sus materiales de fabricación son en sí más densos, como es por ejemplo el caso de la arcilla. En los ladrillos fiscales los contenidos de arcilla son casi su totalidad a diferencia del ladrillo de fabricación propia el cual contiene elementos poco densos (cal y relaves) mezclado con un denso como es el cemento, por tanto, su densidad se verá afectada por la mezcla de materias primas.
- En el caso de las resistencias a los esfuerzos se puede asumir que en el caso del ensayo de compresión el ladrillo propio es, por mucho, más resistente en relación a su contraparte, sin embargo, el ensayo de tracción indirecta muestra una clara diferencia entre ambos. En este último caso se puede apreciar que el ladrillo fiscal es más "equilibrado" en cuanto a sus resistencias, en el caso del ladrillo propio la

diferencia entre tracción y compresión es de casi el doble, aunque aún mayor que el esfuerzo soportado por el ladrillo fiscal.

- Para los resultados de los módulos elásticos, el módulo de young es mayor en el ladrillo propio, esto indica que, al aplicar fuerza sobre su estructura en dos direcciones opuestas, ésta se fracturará al aplicar un esfuerzo mayor en comparación al ladrillo fiscal. En el cálculo del módulo de poisson sorprende que el resultado de ambos sea el mismo, esto significa que, al aplicar compresión, la estructura se deformará de la misma manera en ambos ladrillos, por lo cual si la fuerza compresiva es longitudinal, la deformación será perpendicular a este eje.

5.1.2 Recomendaciones

A pesar de que se probó que los ladrillos podrían competir con los presentes en el mercado, cabe señalar que si se quisiera trabajar para que se permita su fabricación, se deben hacer pruebas adicionales para comprobar que no representan un riesgo para la salud, en cuanto a que el encapsulamiento con cal sea realmente efectivo y no se liberen metales pesados al medio ambiente. En ese sentido es el ministerio de salud quien cumple un rol importante para autorizar su fabricación y utilización en construcciones residenciales, de urgencia o educativas, quién a través de pruebas y ensayos específicos debe tomar la decisión de permitir o negar su fabricación según si se determina que pueden o no representar un peligro o producir daños a la salud pública.

Indicar también que el hecho de aplicar este sistema al plan de cierre minero implica además de ser un alivio económico en cuanto a que se reduce enormemente los costos de mantención de un tranque de relaves y sus operadores, significa por otra parte una inversión y beneficios en otros aspectos, por ejemplo, generar empleo en la zona mientras se utiliza el tranque de relaves, proporcionar a la población un materia prima para construcciones seguras y resistentes, así se estaría terminando por una parte con la mala opinión que la sociedad tiene sobre las empresas mineras, entiéndase como empresas contaminantes y poco “amigables” con el medio ambiente, y por otro lado terminar de una

vez por todas con los Tranques de relaves que constituyen un potencial peligro para la naturaleza y el hombre, idealmente transformando dicho pasivo en un activo minero.

CAPITULO 6

6.1 Bibliografía

- SERNAGEOMIN, 2015, “Catastro Depósitos de Relaves en Chile”.
- SERNAGEOMIN, 2015, “Atlas de Depósitos de Relaves de Chile”
- Universidad Católica de Valparaíso, 2011, “Laboratorio de Operaciones Unitarias Metalúrgicas: Flotación”,
- D.S. 248, 2007, “Reglamento para la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves”.
- D.S. 46, Ministerio secretaría general de la presidencia, 2003, “Establece norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas”.
- Romero Alfonso, 2010, “Reúso de Relaves Mineros como Insumo para la Elaboración de Agregados de Construcción para Fabricar Ladrillos y Baldosas Industriales”.
- SAG 2005, “Criterios de Calidad de Suelos y Aguas de Riego”.
- Doc. Tarifas vigentes, Aguas Andinas, 2018.
- Catálogo Easy, apartado construcción, Julio 2018.
- Nelson Ramírez, 2007, “Guía técnica de operación y control de depósitos de relaves
- Ley Núm. 20.949, Septiembre 2017, “Modifica el código del trabajo para reducir el peso de las cargas de manipulación manual”.
- Decreto Núm. 132, Febrero 2004, “Reglamento de Seguridad Minera”.

- Maturana, 2010, “Grandes Desastres Mineros en Chile y el Mundo”.
- Empresa minera los Quenuales S.A., 2004, “Manual de Flotación”.
- CENMA Chile, 2012, Documento Técnico “Evaluación de Riesgos Para la Salud en Asentamientos Humanos Próximos a Sitios de Minería Metálica”.

CAPITULO 7

7.1 Anexos

higroscopicidad	$I = ((P_{sat} - P_{sec}) / P_{sec}) * 100$	
porosidad	$P = (V_a - V_r) / V_a$	<p>Va=volumen aparente Vr=Volumen real $V_v = (P_{sat} - P_{sec}) / P.E \text{ Agua}$ P.E. Agua = 1 g/cm³</p>
módulo de young =	$\frac{p * V_s^2 (3V_p^2 - 4V_s^2)}{(V_p^2 - V_s^2)}$	<p>Vp: Onda de compresión Vs: Onda de corte</p>
módulo de poisson=	$\frac{(V_p^2 - 2V_s^2)}{2(V_p^2 - V_s^2)}$	

