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

FLOTACIÓN DE MINERAL SULFURADO DE COBRE-MOLIBDENO EN PH ALCALINO USANDO AGUA RESIDUAL DE CERVEZA

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

Alumno:
Franz Navarro Barría
Maximiliano Albiña López
Profesor Guía:
Ing. Luis Gutiérrez Meneses

2018

Agradecimientos

Primero que todo agradecer a nuestros padres tanto a los de Maximiliano Albiña como a los de Franz Navarro por darnos su apoyo en todo momento con nuestro trabajo de título, agradecer a cervecería Aconcagua por otorgarnos el agua de desecho de cerveza, Agradecer a laboratorios SOLVAY por que sin ellos nuestro trabajo de título no hubiera sido posible, en especial al área de flotación, especialmente a Mauricio Palacios que en todo momento monitoreo nuestras flotaciones y nos ayudó con las planillas, por otro lado agradecer a rosita que fue la que nos autorizó a realizar el trabajo y finalmente Lisanka que siempre nos dio su opinión respecto a lo realizado, agradecer al profesor Erick quien nos orientó en las conclusiones de nuestro trabajo de título y finalmente agradecer a Luis Gutiérrez por ser nuestro profesor guía en la tesis y estar siempre disponible cuando lo necesitamos.

RESUMEN

KEYWORD: FLOTACIÓN- AGUAS-PROCEDIMIENTO- RECUPERACIÓN

Este trabajo de título consiste en evaluar la acción de las aguas provenientes de desechos de la cerveza en procesos de flotación, en particular para una flotación tipo rougher en los laboratorios de flotación de la empresa Solvay, la cual es una empresa química de materiales avanzados y especialidades, que, entre sus diversas actividades comerciales, realiza pruebas de flotación a nivel laboratorio con el fin de mejorar la productividad del proceso a través de la química de sus reactivos. Estas aguas, provenientes de la industria de la cerveza y sus riles estarán en presencia de, entre otras cosas, azúcares, alcohol y elementos orgánicos como la cebada, es por este motivo que se analizó desde el punto de vista de la recuperación metalúrgica de cobre, molibdeno y hierro la posibilidad de usar este tipo de agua como agua de proceso para una flotación. Cabe destacar que el agua de desecho de cerveza para este trabajo fue proporcionada por la empresa Cervezas Aconcagua de Villa Alemana en la V región de Chile.

En este trabajo se logró concluir que no es posible utilizar este tipo de aguas para una flotación tipo rougher sin embargo se proponen algunas alternativas que debido a las recuperaciones de Cu, Mo, y Fe obtenidas podrían albergar un posible aplicación al uso de este tipo de aguas de desecho de cerveza en flotación.

Índice.

CAPITULO 1: Proceso de flotacion y variables involucradas en proceso de flotación de solvay 3

1.1 Flotación 5

1.1.1 Minerales adecuados para la flotación 5

1.1.2 Proceso Estándar de flotación 6

1.1.3. Conminución 7

1.1.3.2 Molienda 8

1.2. definiciones basicas: 9

1.3 concentracion y secado 11

1.4 Reactivos de flotacion 12

1.4.1 Colectores 13

1.4.2 Espumantes 13

CAPITULO 2: tipos de agua y sus usos en la industria. 16

2.1 Definicion de los tipos de agua utilizados en mineria según fuente de origen 18

2.1.1 Aguas continentales: 18

2.1.2 Aguas de mar: 19

2.1.3 Aguas recirculadas: 20

2.1.4 Aguas de terceros: 20

2.2 Utilizacion de residuos como materia prima 24

CAPITULO 3: Procedimientos utilizados en los laboratorios solvay para los distintos tipos de agua. 27

3.1 Procedimientos 29

3.1.1 Operación molino de bolas: 29

3.1.2 Ensayo de Flotación: 30

3.1.3 Filtración de concentrado y relaves 31

3.1.4 Preparación muestras concentrado y relave: 32

3.2 Trabajo en laboratorio 33

3.2.1 Trabajo en laboratorio para agua potable: 35

3.2.2 Trabajo en laboratorio para agua de mar 36

3.2.3 Trabajo en laboratorio para desecho de cerveza: 37

CAPITULO 4: Resultados de la recuperacion metalurgica requerida para los distintos tipos de agua en la flotacion 40

4.1 Resultados 42

4.1.1 Resultados agua potable: 42

4.1.2 Resultados recuperación agua de mar: 44

4.1.3 Resultados agua de desecho de cerveza: 46

4.2 Conclusiones 48

5 Anexo 50

5.1Cálculos recuperación metalúrgica de Cu, Mo, Fe. 51

5.1.1 Recuperación con agua potable: 51

5.1.2 Recuperación flotación con agua de mar 52

5.1.3 Recuperaciones con agua de desecho de cerveza 54

5.2Flotación inversa 56

5.3Analisis de cabeza 56

6. Bibliografía 61

Índice de Figuras

Figura 1 consumo de agua según sector industrial
Figura 2 Representación del sistema de flotación
Figura 3 Flowsheet de solvay en proceso flotación
Figura 4 chancadora de mandíbula
Figura 5planta concentradora el teniente
Figura 6Estructura química del xantato
Figura 7acción del espumante en flotación
Figura 8 consumo de los distintos tipos de agua
Figura 9 cantidad de los tipos de agua utilizadas por la industria minera del cobre
Figura 10 Caudal utilizado por la minería del cobre en aguas continentales
Figura 11 Procesos en los que se utiliza el agua destinada a la industria minera
Figura 12 Uso de agua de mar en la minería del cobre 2010-2017 (m3/seg)
Figura 13 agua de desecho de cerveza
Figura 14 agua recirculada en los procesos mineros
Figura 15 procedimiento de molienda
Figura 16 procedimiento de flotación
Figura 17 Procedimiento de filtrado
Figura 18 concentrado de agua de desecho de cerveza listo para secado y posterior preparación de muestra
Figura 19 Orden de trabajo solvay
Figura 20 Flotación con desecho de cerveza
Figura 21 Recuperación de Cu, Fe, Mo con agua potable
Figura 22 Recuperación de Cu, Fe, Mo con agua de mar
Figura 23 Recuperación de Cu, Fe, Mo con desecho de cerveza
Figura 24 Análisis de cabeza Excel enviado por solvay
Figura 25 Datos de flotación Excel entregado por solvay
Figura 26 Flotaciones y sus respectivas aguas y reactivos Excel entregado por solvay
Figura 27 Resultados de la recuperación del concentrado entregados en Excel por solvay.
Figura 28 Resultados del relave Excel entregado por solvay
Figura 29 Porcentaje de recuperación Excel enviado por solvay
Figura 30 Cabeza calculada por cada flotación Excel entregado por solvay
Figura 31 Promedio de recuperación entre todas las flotaciones Excel enviado por solvay

Índice de tablas

Tabla 2-1 Tipos de mineral de cobre

Tabla 2-2 Nivel del caudal medio en regiones de chile

Tabla 2-3 Capacidad principales embalses en cada región de chile

Tabla 2-4 consumo de agua de industria ccu

Tabla 4-5 masas de las flotaciones realizadas con agua potable

Tabla 4-6 Masas de las flotaciones realizadas con agua de mar

Tabla 4-7 Masas de las flotaciones realizadas con agua de desecho de cerveza

Tabla 5-8 Recuperación en gramos flotación agua potable

Tabla 5-9 Recuperación en gramos flotación agua de mar

Tabla 5-10 Recuperación en gramos flotación con desecho de cerveza

Índice de ecuaciones

Ecuación 1-1

Ecuación 1-2

SIGLAS Y SIMBOLOGIAS

A. SIGLAS

Cu	:	Cobre.
Mo	:	molibdeno
Fe	:	Hierro
pH	:	Potencial de hidrogeno.
MOP	:	Ministerio de obras publicas
DGA	:	Dirección general de aguas
COCHILCO	:	Comisión chilena de cobre
MINSEGPRES	:	Ministerio secretaria general de la presidencia
D.S.	:	Decreto Supremo
%	:	porcentaje
N°	:	numero

B. SIMBOLOGIA

"	:	Pulgadas
Seg.	:	Segundos
Min,	:	Minutos
Hrs.	:	Horas
#	:	Número de malla
µ	:	Micrones
Kg	:	Kilogramos
gr	:	gramos
N°	:	Numero
RPM	:	Revoluciones por minuto
m3/s	:	metro cubico sobre segundo
g/ton	:	gramos sobre tonelada
L/s	:	Litro sobre segundo

INTRODUCCIÓN

Como bien es sabido Chile es un país que depende mayoritariamente de la minería. La minería consta de varios procesos para lograr recuperar el mineral de interés uno de estos es la metalurgia, según indica COCHILCO, la industria ocupa el 3% del agua de todo el país al año [2].

Fuente: consumo de agua en la minería del cobre 2016

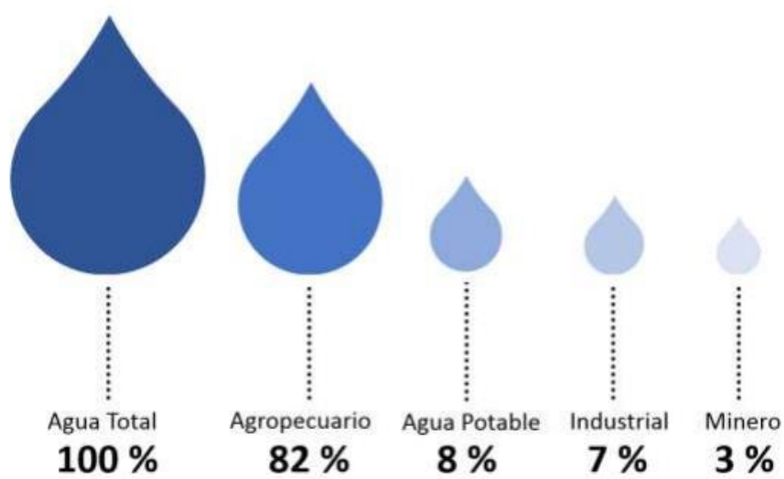

Figura 1 consumo de agua según sector industrial

Según se aprecia en la figura 1, el 3% del consumo de agua del país corresponde al sector minero.

No obstante, este recurso hídrico se ha visto en un estado de escasez debido a los problemas disponibilidad que ha tenido para utilizarlas. Es por lo anterior que mediante nuevas técnicas o métodos se ha buscado disminuir el consumo de esta, ya sea el lugar de proveniencia del agua, como son las aguas superficiales, adquiridas a terceros, potable y últimamente implementa el aguas de mar, es por esto que en este trabajo se busca proponer un tipo de agua que es un desperdicio de la industria de producción de cerveza y que guarda características similares a esta bebida. Para ser usado como agua de proceso de una eventual flotación de un mineral sulfurado de cobre proporcionado por la empresa Solvay.

En base a la recuperación metalúrgica que se logre obtener de sus concentrados de flotación brindar una respuesta respecto a la viabilidad de esta según la recuperación metalúrgica que resulte de este proceso.

El agua de desecho de la cerveza será facilitada por cervecería Aconcagua.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Proponer el uso de agua de desecho de la industria cervecera para la recuperación metalúrgica de Cu, Fe y Mo, a través del proceso de flotación.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir el proceso de flotación según sus procedimientos y variables involucradas.
- Describir los diferentes tipos de agua usadas en el proceso de flotación según DGA y COCHILCO.
- Ejecutar los procedimientos de flotación con agua de desecho de cerveza en el proceso de flotación en laboratorios de flotación de Solvay.
- Evaluar los resultados de la flotación según el contenido de Cu, Fe y Mo de los distintos concentrados obtenidos.

CAPITULO 1: PROCESO DE FLOTACION Y VARIABLES INVOLUCRADAS EN PROCESO DE FLOTACIÓN DE SOLVAY

En el presente capitulo se exponen los conceptos básicos del proceso de flotación y sus procedimientos, considerando diversos factores como las variables que influyen en el proceso, los tipos de reactivos que se utilizan y también incluyendo los procesos que acompañan a la flotación como lo son el chancado y molienda previos a la flotación y el posterior secado y espesamiento de los concentrados y relaves obtenidos en este proceso

Las variables que serán apreciadas son las que analiza Solvay en el proceso de flotación, las cuales son: P80, pH, ley de mineral, recuperación metalúrgica, según las etapas de molienda, flotación, filtrado, secado y preparación de muestra para posterior análisis

1.1 FLOTACIÓN

El procedimiento de flotación es el que permite concentrar el o los minerales de interés que vienen del proceso de molienda. Se bombea aire hacia las celdas de flotación desde el fondo con el objetivo de que las partículas de mineral se adhieran a las burbujas de aire y así suban acumulándose en la espuma. La espuma rebasa y es recuperada para posteriormente ser decantada o filtrada para lograr un concentrado seco.

La flotación es un proceso físico-químico. Los factores químicos involucran la química interfasial involucrada en las tres fases que se involucran en un sistema de flotación sólido, líquido y gas [3]. Las interacciones químicas de estas fases son dictadas por todos los reactivos de flotación, como los colectores, depresantes, espumantes, activadores y modificadores. Un esquema representativo de este proceso se aprecia a continuación:

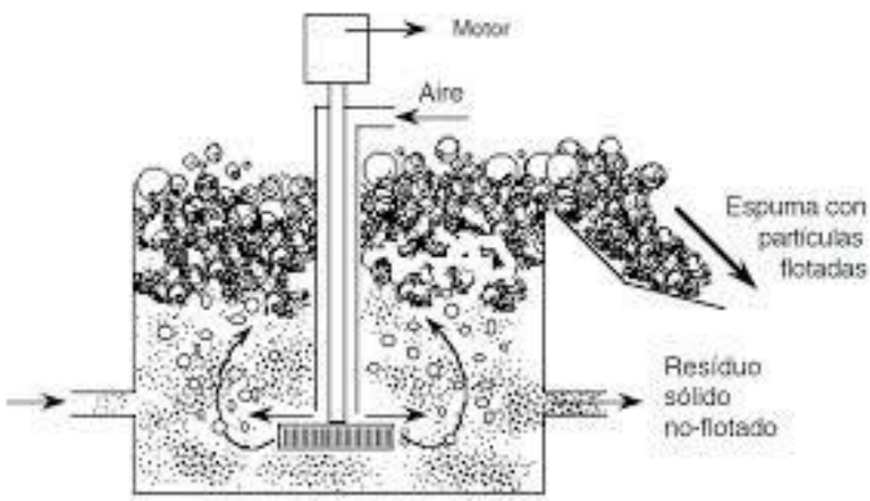

Figura 2 Representación del sistema de flotación

1.1.1 Minerales adecuados para la flotación

La clase de mineral más tratada mediante el proceso de flotación son aquellos que contienen sulfuros de cobre. Estos a veces pueden contener cobre nativo e incluso oro y plata, los todos los cuales en general pueden ser flotados con los minerales sulfurados en un concentrado. Para cualquier sulfuro de hierro, como la pirita se puede inhibir su flotación utilizando reactivos correctos. Los minerales oxidados de cobre, mayormente el carbonato, puede ser extraído desde los minerales que lo contienen a través de métodos diferentes a la flotación de los minerales sulfurados. Hasta el momento las flotaciones en las cuales existen minerales sulfurados y oxidados no han sido muy exitosas [3].
La segunda clase de minerales más flotados son aquellos que contienen una mezcla de sulfuros de plomo y zinc, con o sin pirita [3].

A través de los métodos modernos es posible en la mayoría de los casos obtener concentrados separados mediante etapas sucesivas de flotación, donde cada concentrado contiene uno de los minerales relativamente sin contaminación de los otros.
En este trabajo se utilizará un mineral sulfurado de cobre proveniente de una conocida empresa nacional, el cual será proporcionado por la empresa Solvay para su uso en este trabajo, además cuenta con las características de los minerales sulfurados de cobre más comunes en Chile, donde los principales metales de interés son el Cu, Mo y Fe.

1.1.2 Proceso Estándar de flotación

A pesar de que el método por el cual se trata cada mineral puede presentar problemas que requieran especial consideración, el procedimiento general de la flotación de cada uno de los minerales mencionados con anterioridad ha sido hasta cierto punto estandarizado. Muchos minerales en adición a los que ya han sido mencionados pueden ser concentrados mediante flotación, tales como la molibdenita, grafito, azufre e incluso carbón, pero su tratamiento requiere de métodos especializados [3].
El proceso de concentración de minerales a través de flotación es en realidad una de una secuencia de operaciones. Una planta concentradora, normalmente se compone de: Chancado, molienda, flotación, filtración del concentrado y deposición de relaves.
Todo el proceso de concentración puede ser apreciado de manera visual a través de un diagrama de flujo que represente sus distintas etapas, incluyendo las etapas previas a la flotación, como se aprecia en el diagrama de flujo a continuación:

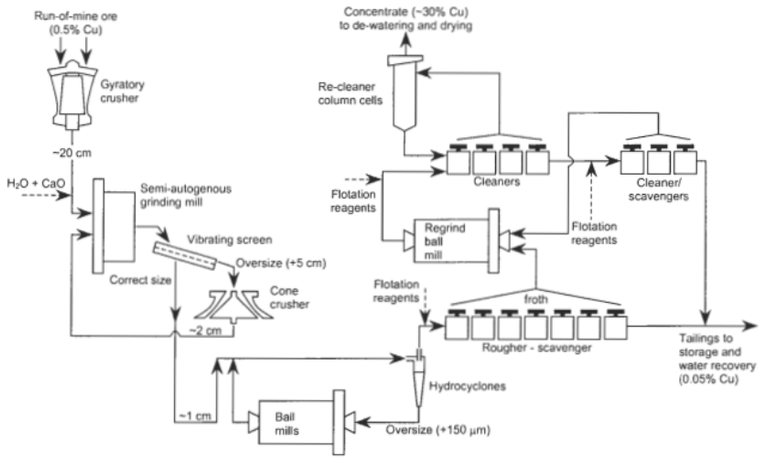

Figura 3 Flowsheet de solvay en proceso flotación

Fuente: Extractive metallurgy of copper, 5th edition.

Antes de continuar con las variables que influyen en el proceso e flotación es pertinente comentar los distintos procesos que ocurren antes y después de la flotación en sí, como se puede ver en la figura 3, el cual es un flowsheet que representa el proceso estándar de flotación.

1.1.3. Conminución

Se usa el concepto de conminución para identificar los procesos de reducción de tamaño de los minerales, liberando las especies valiosas contenidas en ellos [1]. Según este concepto, la tronadura en mina es el primer proceso de conminución.

Como se puede apreciar en la figura 3, el mineral proveniente desde la mina es usualmente chancado, utilizando un chancador giratorio. Antes de entrar a una molienda tipo SAG con adición de cal (CaO) y agua, también llamada lechada y quex fue utilizada en este trabajo como regulador de pH.

El objetivo de la conminución es la reducción de tamaño de las rocas, sin embargo, hasta el momento no se ha podido desarrollar un equipo capaz de realizar todo el proceso de chancado de una sola vez y para todos los tipos de materiales. Es por lo anterior que en la mayoría de las aplicaciones son necesarias varias etapas de fragmentación y más de un equipo [5].

Para aislar los minerales de cobre presentes en la mena y formar un concentrado se requiere que éste sea chancado finamente y separado de los granos que no contienen Cu. La magnitud del chancado requerido está limitado por el tamaño de los granos en el mineral [1]

1.1.3.1 Chancado

Para las reducciones de tamaño se utilizan los chancadores, que son equipos mecánico-eléctricos de grandes dimensiones. Estos equipos trituran la roca mediante la acción de movimientos de atrición y se componen generalmente de aleaciones de acero de alta resistencia.

El chancado es realizado en su mayoría dentro de la mina. Esto permite que el mineral pueda ser transportado por correas transportadoras hacia afuera del rajo. Este mineral chancado es guardado y apilado para luego ser enviado por correas transportadoras hacia un molino autógeno o semi-autógeno [1]. Dentro de los chancadores tenemos la chancadora de mandíbula, por ejemplo, la cual es ampliamente usada a escala laboratorio debido a su versatilidad, como se puede apreciar a continuación:

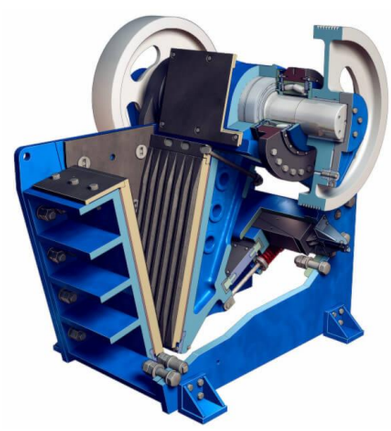

Figura 4 chancadora de mandíbula

Fuente: catálogo de Yeco machinery CO.,Ltd., www.yecomachinery.com

1.1.3.2 Molienda

Para el proceso de flotación es necesario una reducción de tamaño posterior al chancado, para ello se utiliza el proceso de molienda. Este proceso consiste en reducir el tamaño del material mineralizado que viene desde el proceso de chancado a menos de 0,2 milímetros se agrega agua y reactivos dependiendo del caso y se lleva a un molino de barras y/o bolas [5]. Los molinos giran y las barras o bolas muelen mecánicamente el material.

La reducción de tamaño se lleva a cabo fraccionando el material por medios mecánicos hasta el tamaño deseado. Los métodos de reducción más usados en los equipos de molienda son compresión impacto cizalla y corte.

Como se puede apreciar en la figura 3, el mineral chancado ingresa a los molinos para su molienda. Es en esta parte del proceso donde comienza lo realizado en este trabajo de

titulación, donde se obtiene a través de molienda en molino de bolas el mineral con la granulometría establecida por la empresa para este mineral en particular, esto se explica en detalle en el Capítulo 3.

1.2. DEFINICIONES BASICAS:

1.2.1 **Fase:** Corresponde a la diferenciación de componentes de una solución química o cada una de las zonas macroscópicas en el espacio de una composición química donde sus propiedades físicas son homogéneas y las cuales forman un sistema

1.2.2 **Cobre:** El cobre cobre cuyo símbolo es Cu es un elemento químico de numero atómico 29. Es un metal de transición que posee color rojizo y metalico, se caracteriza por ser uno de los mejores conductores de electricidad. Este metal posee una alta conductividad eléctrica, ductilidad y maleabilidad. El Cu está presente de manera común en la corteza terrestre en forma de minerales sulfuros de hierro-cobre o sulfuros de cobre, por ejemplo: calcopirita (CuFeS2), bornita (Cu5FeS4) y calcosita (CU2S). La concentración de estos minerales en un cuerpo mineralizado es baja. Los minerales típicos de cobre contienen entre un 0,5% de Cu (minas a rajo abierto) hasta un 1 o 2% Cu (minas subterráneas)[1]. A continuación, se pueden apreciar los minerales de cobre más comunes encontrados en la naturaleza:

Tabla 1 Tipos de mineral de cobre

Type	Common minerals	
Secondary minerals		
carbonates	azurite	$2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$
	malachite	$CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$
hydroxy-chlorides	atacamite	$Cu_2Cl(OH)_3$
hydroxy-silicates	chrysocolla	$CuO \cdot SiO_2 \cdot 2H_2O$
native copper	metal	Cu^o
oxides	cuprite	Cu_2O
	tenorite	CuO
sulfates	antlerite	$CuSO_4 \cdot 2Cu(OH)_2$
	brochantite	$CuSO_4 \cdot 3Cu(OH)_2$
supergene sulfides	chalcocite	Cu_2S
	covellite	CuS
Primary sulfide minerals		
(hypogene sulfides)	chalcopyrite	$CuFeS_2$
	bornite	Cu_5FeS_4
	pyrite, source of Fe^{++}, Fe^{+++} and H_2SO_4	FeS_2

Fuente: Extractive metallurgy of copper, 4ta edición.

El cobre también está presente en minerales oxidados (carbonatos, óxidos, hidroxi-silicatos y sulfatos), pero en una extensión menor. El metal de cobre que se produce a partir de estos minerales es usualmente tratado por la vía hidrometalúrgica. [1]. Aproximadamente el 20% de la producción primaria de cobre proviene del procesamiento hidrometalúrgico de los óxidos de cobre y calcosina (ver figura 2.). Este cobre es recuperado por lixiviación, extracción por

solvente y electro obtención. El producto final son los cátodos de cobre equivalentes en pureza al cobre electro-refinado.

1.2.3 **pH:** El pH es una escala utilizada para medir la acidez o alcalinidad de una sustancia. El pH indica la concentración de iones de hidrogeno presentes en una solución y se calcula como el logaritmo negativo en base 10 de la actividad de iones de hidrogeno. Para este trabajo se utilizó pH-metro como instrumento de medición de esta variable en todo momento.

1.2.4 **Relave:** Corresponde aproximadamente al 98% del mineral alimentado a la concentradora. se almacena en tranques de relave cercanos a la mina. El agua es reciclada desde los tranques hacia el concentrador. La mayoría de los concentradores descartan una nula cantidad de agua, es decir, casi el 100% del agua se recircula internamente. Esto minimiza el consumo de agua y evita contaminación de los efluentes con cursos de agua cercanos. El pH del agua de relave es cercano al que se necesita en las flotaciones rougher, por ende, se minimiza el consumo de cal. Los relaves de flotación de cobre usualmente contienen 0.02 a 0,15% Cu en base seca.

1.2.5 **Ley mineral:** Se refiere a la concentración del metal de interés presenté en las rocas y en el material mineralizado de un yacimiento, por ejemplo: la ley mineral es del 1% en una roca de 100 kg, esto quiere decir hay 1 kg de mineral de interés y 99 kg de material estéril.

1.2.6 **Recuperación metalúrgica:** Es la razón entre la masa del metal valioso obtenido en el concentrado y la masa de este metal útil en la alimentación, según se aprecia a continuación:

Ecuación 1

$$Recuperación = \frac{Contenido\ metálico\ del\ metal}{Contenido\ metálico\ del\ alimento} \times 100\%$$

1.2.7 **Relación o ratio de concentración en peso:** Es la razón entre la masa del concentrado y la masa de la alimentación, según se aprecia a continuación:

Ecuación 2

$$Radio\ Concentración = \frac{Peso\ del\ alimento}{Peso\ del\ metal}$$

1.2.8 **Temperatura:** Magnitud referida a las mediciones de calor mediante un termómetro. En este trabajo la temperatura no fue una variable muy influyente en el desarrollo del mismo, debido a que la flotación es un proceso que en general se realiza a temperatura ambiente, en particular los laboratorios de Solvay tienen una temperatura regulada a 20-25 °C.

1.2.9 **Molibdeno:** Es un metal plateado, posee el sexto punto de fusión más alto de los elementos. No se encuentra libre en la naturaleza, sino que, en varios estados de oxidación en los minerales, usualmente asociado a los sulfuros de cobre, como es el caso del mineral utilizado en este trabajo, del cual se habla más adelante en este trabajo.

1.2.10 **Hierro:** Metal de transición muy abundante en la corteza terrestre representa el 5% de todos los metales. Su número atómico es 26, su símbolo es Fe, y tiene una masa atómica de 55.85 u. Usualmente está asociado al Cu en los minerales tipo sulfuro de cobre.

1..2.11 **p80:** Corresponde al percentil 80 de la distribución granulométrica de un mineral

1.3 CONCENTRACION Y SECADO

El producto de la flotación contiene aproximadamente un 75% en masa de agua, la mayoría debe ser removida antes de que el concentrado pueda ser transportado y fundido. En su mayoría la eliminación de agua se lleva a cabo por decantación en grandes esperadores inactivos. Los sólidos se decantan por efecto de la gravedad hacia el fondo de los esperadores donde son arrastrados hacia la descarga central por una paleta de rotación lenta. Para una decantación más rápida se añaden pequeñas cantidades de floculantes orgánicos como las poliacrilamidas al "*slurry*" de entrada. Esto genera que las partículas más finas floculen y por consecuencia decanten más rápido [1]. Los espesadores son grandes estructuras como la que se puede apreciar a continuacion:

Figura 5planta concentradora el teniente

Espesadores Codelco División El Teniente

Estos concentrados aun contienen entre 30 a 40% de agua. Esto se reduce a un 10 a 15% en filtros a vacío rotatorios, y luego a un 8% en filtros a presión [1]. El contenido de agua cuando el concentrado es transportado es una proporción que permite minimizar costos de transporte y también perdidas de concentrado como polvo durante el mismo.

1.4 REACTIVOS DE FLOTACION

En el tratamiento de sulfuros y minerales metálicos que contengan minerales de interés tales como cobre, molibdeno, níquel, cobalto, plomo, fierro y metales preciosos (incluyendo metales del grupo de los platinos), y elementos como el arsénico, antimonio y bismuto, un gran número de colectores y espumantes esta en uso actualmente

Para los minerales de cobre, los cuales hoy en día son en su mayoría extraídos a partir de depósitos tipo pórfido y en menor medida desde depósitos tipo veta, es importante una adecuada selección de reactivos para el proceso de flotación [3]. Sin embargo, la selección de estos reactivos depende más del tipo y cantidad de minerales presentes que el origen de ellos. Las consideraciones a grandes rasgos, son:

- El ratio de calcopirita ($CuFeS2$) versus minerales secundarios como la calcosina ($Cu2S$), covelina (CuS), bornita ($Cu5FeS4$), etc.
- La cantidad de actividad (tendencia a flotar) de los sulfuros de hierro como la pirita, marcasita y piorrita.
- El grado de alteración u oxidación de los minerales de cobre.
- La presencia de minerales con contenido de arsénico, antimonio y bismuto.
- Si el mineral contiene cantidades recuperables de plata (Ag) y oro (Au), y la manera en que estos están asociados a otros minerales.

- Si el mineral contiene cantidades significativas de limos, arcillas y minerales de talcosa.
- El pH natural de la pulpa luego de la flotación.
- el grado de liberación de los minerales valiosos y de la ganga [3]

1.4.1 Colectores

Los colectores, so aquellos reactivos que crean una superficie hidrófoba, es decir, que repele el agua, en los minerales sulfurados. Corresponden a moléculas heteropolares. Tienen una zona polar o cargada en un lado y otra no-polar (hidrocarburo). se une su parte polar a la superficie del mineral (el cual es polar en sí), dejando la parte apolar hidrocarburo extendida hacia afuera. Es esta orientación la que imparte la característica hidrofóbica a la superficie condicionada del mineral [4]. Un ejemplo de un colector comúnmente usado es el xantato, cuya estructura química se puede graficar de la siguiente manera:

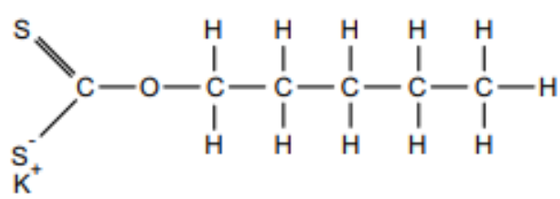

Figura 6Estructura química del xantato

El principal factor a considerar en la selección de los colectores es la forma del mineral (sulfuro, oxido y/o especies metálicas) y sus asociaciones entre ellos y los minerales de la ganga [4].

Recientemente en la práctica de la flotación se ha mostrado que, en muchos casos, una combinación de dos o más colectores resulta en una mejor metalurgia que con un solo colector. Esto no resulta sorpresivo cuando se considera que, para un caso simple como los minerales de cobre, existe una variedad de minerales presentes como la calcopirita, calcosina, covelina, bornita, cobre nativo, tetraedrita y minerales oxidados. Por muchos años las combinaciones de colectores más usadas han sido la de los xantantos y ditiofosfatos, o xantatos y dialquil tionocarbamato. [3].

1.4.2 Espumantes

Los espumantes tienen la función de fortalecer la tensión superficial del aire que es inyectado en la celda de flotación a una presión específica. A medida que el aire sube en forma de burbujas, se pone en contacto con el mineral ya cargado con colector, el cual se

adhiere por afinidad al aire [4]. La burbuja formada seguirá subiendo hasta alcanzar la superficie y el borde de la celda.

Para la flotación de minerales, los espumantes son una importante clase de reactivos químicos. Existe una gran variedad de compuestos que son usados dependiendo del tipo de mineral y las condiciones de operación. Las cantidades de espumante usadas en la industria son bastante bajas, en general van desde 0 hasta 0,3g/ton dependiendo del sistema. Esta variabilidad, en parte, se puede explicar debido a que muchos colectores presentan algún tipo de acción espumante también.

En general, los reactivos espumantes son líquidos que son poco solubles en agua. Incluyen un amplio espectro de sustancias: aceites esenciales como los fenoles, cresoles, toluidinas, etc. En el presente, aún son muy fuertes en el mercado de reactivos los aceites de pino y cresoles. [4]

Las funciones de los espumantes son:

- Disminución de la tensión superficial del agua.
- Disminución de la coalescencia de burbujas (Coalescencia es el fenómeno de unión de las burbujas).
- Formación de las burbujas más finas.
- Regulación de la velocidad a la cual las burbujas suben hacia la superficie de la pulpa.
- Estabilización de la espuma

Cuantitativamente, el rol de los espumantes es difícil de medir, sin embargo, la investigación aplicada ha demostrado que uno de los principales objetivos es incrementar la recuperación metalúrgica del mineral valioso. Esto es logrado a través de la formación de una espuma de carácter consistente (una distribución de tamaño de burbuja consistente) bajo variadas condiciones de operación, una reducción de la coalescencia de las burbujas individuales en la celda, y una disminución de la velocidad de subida de las burbujas hacia la superficie de la celda [4].

Los espumantes tienen como función aumentar la tensión superficial de las burbujas de aire, no crear las burbujas de aire. Esta tensión superficial en el caso de los espumantes se ve aumentada o fortalecida. Diferentes reactivos espumantes tendrán diferentes propiedades como la persistencia, lo cual se refiere a al tiempo que el reactivo permanece en el circuito. Esto depende del tipo de espumante por ejemplo los glicoles que tienen mayor persistencia, o como el MIBC que tiene una persistencia mucho menor. Algunos circuitos necesitan un espumante muy persistente y otros no. Algunos espumantes pueden hacer una burbuja más elástica o más frágil [4]. Cada uno tiene distintas aplicaciones.

Para una flotación efectiva es necesario que la burbuja de aire sea lo suficientemente fuerte para soportar el peso del mineral en su superficie, y también la presión interna del aire contenido dentro de ella, la cual aumenta a medida que sube a la superficie, como se

aprecia en el siguiente esquema donde las partículas orientan su zona no polar hacia adentro de la burbuja, es decir en contacto con el aire, y su parte polar hacia el agua.

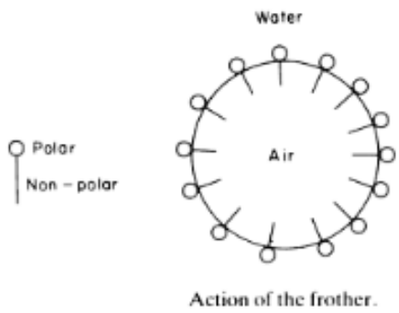

Figura 7acción del espumante en flotación

A medida que la tecnología de los reactivos avanza se puede lograr aumentar la tensión superficial de la burbuja sin que esta perdiera su elasticidad, desarrollando una variedad de reactivos que confieren distintas combinaciones de fuerza, flexibilidad y duración [4]. En general es deseado que la efectividad del espumante disminuya de manera rápida para así evitar problemas subsecuentes de espumación por algún remanente en el equipo.

La fase más abundante y que actúa como medio para la flotación es el agua que se utiliza para cada flotación, sobre esta se ahondará en el siguiente capítulo.

CAPITULO 2: TIPOS DE AGUA Y SUS USOS EN LA INDUSTRIA.

El presente capítulo se realiza una revisión de los tipos de agua con información obtenida atreves de informes de COCHILCO (comisión chilena del cobre) y DGA (Dirección general de aguas) estas aguas están presentes en las industria minero-metalúrgica y actúan en el proceso de flotación, el origen de estos recursos hídricos y su consumo según fuentes oficiales. Las aguas del proceso provienen de distintas fuentes y esto depende de la región en la cual se ubique la empresa minera y varía en gran medida según las características de cada zona.

.

Según el objetivo de este capítulo, es pertinente comenzar con algunas definiciones básicas sobre lo que se entiende por los distintos tipos de aguas, las cuales pueden ser clasificadas según su fuente de origen

2.1 DEFINICION DE LOS TIPOS DE AGUA UTILIZADOS EN MINERIA SEGÚN FUENTE DE ORIGEN

2.1.1 Aguas continentales:

Las aguas continentales son las aguas que podemos encontrar dentro de cuerpos terrestres y que se encuentran alejados de zonas costeras a excepción de las desembocaduras de ríos, podemos encontrar dos tipos importantes de aguas; las superficiales y las subterráneas [2].

2.1.1.1 Aguas superficiales:

Las aguas superficiales se encuentran en el continente o bien dicho son las aguas continentales que se pueden apreciar naturalmente a simple vista, sin importar su fuente u origen las cuales pueden ser corrientes o detenidas, las aguas corriente son aquellas que se mueven o escurren por causes de manera natural o artificial, como por ejemplo las de ríos y esteros y las aguas detenidas son las que se encuentran acumuladas en depósitos naturales o artificiales, en estas podemos encontrar los lagos, lagunas, pantanos, charcas, aguadas, ciénagas, estanques o embalses, esta definición es según el artículo 2 del código de aguas[2].

2.1.1.2 Aguas subterráneas:

El agua subterránea según el artículo 2 del código de aguas son aquellas que se encuentran ocultas en el seno de la tierra, por otro lado, es aquella que desliza o queda almacenada en las capas impermeables de la tierra una vez que estas atraviesan las capas permeables, estas aguas se originan de aguas de lluvias o provienen de ríos o lagos. Las aguas subterráneas provenientes de acuíferos o embalses subterráneos deben tener labores previas de exploración, con el fin de ubicarlas y reconocer sus características para su posterior explotación y aprovechamiento [2].

En la siguiente imagen se puede apreciar el caudal de los principales ríos del país y su caudal.

Tabla 2 Nivel del caudal medio en regiones de chile

REGIÓN	NOMBRE RÍO Y ESTACIÓN	Caudal medio anual (m3/s)				
		2012	2013	2014	2015	2016
Arica y Parinacota	Río Lluta en Panamericana	0,3	1,3	1,0	1,8	2,67
	Río San José en Ausipar	1.0	1,2	0,9	1,1	0,53
Antofagasta	Río Salado en Sifón Ayquina	1,7	0,8	0,6	0,4	0,48
	Río Loa en Finca	1,6	0,4	0,3	0,5	0,43
Atacama	Río Copiapó en la Puerta	0,8	0,6	0,7	0,8	...
	Río Huasco en Algodones	2,0	1,1	1,3	2,3	11,79
Coquimbo	Río Elqui en Algarrobal	3,1	3,0	3,1	4,1	10,81
	Río Grande en Puntilla San Juan	1,3	1,6	1,0	7,1	10,36
	Río Choapa en Cuncumén	3,0	3,4	2,7	7,1	10,85
Valparaíso	Río Aconcagua en Chacabuquito	19,6	18,2	15,5	20,3	33,33
Metropolitana	Río Maipo en El Manzano	69,6	72,2	73,3	78,2	99,87
	Río Mapocho en Los Almendros	3,0	2,8	2,1	3,3	4,68
O'Higgins	Río Cachapoal en junta Cortaderal	38,2	35,2	20,3	34,0	43,63
	Río Tinguiririca bajo Los Briones	34,4	20,8	27,5	44,3	47,15
Maule	Río Teno después junta con Claro	34,4	26,0	32,0	28,5	43,87
	Río Mataquito en Licantén	68,0	47,9	74,5	80,3	55,83
	Río Maule en Longitudinal	87,0	73,7	78,4	101,3	75,52
Biobío	Río Itata en General Cruz	30,6	38,7	67,4	50,2	11,96
	Río Biobío en Rucalhue	283,0	312,4	263,0	169,8	176,64
Araucanía	Río Cautín en Cajón	98,0	115,4	129,5	127,1	73,93
	Río Toltén en Teodoro Schmidt	396,8	442,9	528,1	369,3	349,09
Los Lagos	Río Pilmaiquén en San Pablo	151,3	166,5	153,2	163,2	95,26
Aysén	Río Simpson bajo junta Coyhaique	43,0	49,9	42,8	50,7	9,08
	Río Aysén en Puerto Aysén	...	525,2	519,8	473,4	223,68
Magallanes	Río Serrano en desembocadura	429,9	483,3	375,9	398,5	418,78
	Río San Juan en desembocadura	25,4	24,0	19,1	29,5	11,29

Es notorio que, a pesar de todas las variables que influyen en aumentos o disminuciones de estos caudales, se va reduciendo sistemáticamente la cantidad de agua fluyendo por estos ríos debido a la creciente demanda del recurso natural.

También podemos observar el agua y capacidad de los principales embalses en cada región de Chile, según cifras de la DGA.

Tabla 3 Capacidad principales embalses en cada región de chile

REGIÓN	EMBALSE	CUENCA	Capacidad Total (millones de m³)	Promedio histórico (millones de m³)	Uso principal
Antofagasta	Conchi	Loa	22	16	Riego
Atacama	Lautaro	Copiapó	26	9	Riego
	Santa Juana	Huasco	166	121	Riego
Coquimbo	La Laguna	Elqui	38	24	Riego
	Puclaro	Elqui	200	128	Riego
	Recoleta	Limarí	100	66	Riego
	La Paloma	Limarí	748	415	Riego
	Cogotí	Limarí	150	83	Riego
	Culimo	Quilimarí	10	3,8	Riego
	El Bato	Choapa	26	...	Riego
	Corrales	Illapel	50	42	Riego
Valparaíso	Peñuelas	Peñuelas	95	26	Agua potable
	Aromos	Aconcagua	35	29	Agua potable
Metropolitana	El Yeso	Maipo	220	179	Agua potable
	Rungue	Maipo	1,7	1,6	Riego
O'Higgins	Convento Viejo	Mataquito	237	222	Riego
	Rapel	Rapel	695	592	Generación
Maule	Colbún	Maule	1.544	1.342	Generación y riego
	Laguna Maule	Maule	1.420	1.035	Generación y riego
	Bullileo	Maule	60	56	Riego
	Digua	Maule	225	165	Riego
	Tutuvén	Maule	22	10	Riego
Biobío	Coihueco	Itata	29	26	Riego
	Lago Laja	Biobío	5.582	3.518	Generación y riego
	Ralco	Biobío	1.174	878	Generación
	Pangue	Biobío	83	76	Generación

2.1.2 Aguas de mar:

El consumo de agua marítimo es bien simple y posee dos vías posibles usarla directamente en los procesos en los cuales esta sea requerida, o bien, hacer una previa

desalinización en caso de ser necesario, por otra parte, la adquisición de esta no requiere de derechos de agua competitivos con el agua de mar [2].

2.1.3 Aguas recirculadas:

Son las aguas utilizadas en los procesos metalúrgicos (lixiviación flotación, etc), que son recirculadas y en algunos casos tratadas para no perder el recurso hídrico y así optimizar y a su vez minimizar el consumo de agua.

En la siguiente figura se muestra el consumo de cada tipo de agua en m^3/s

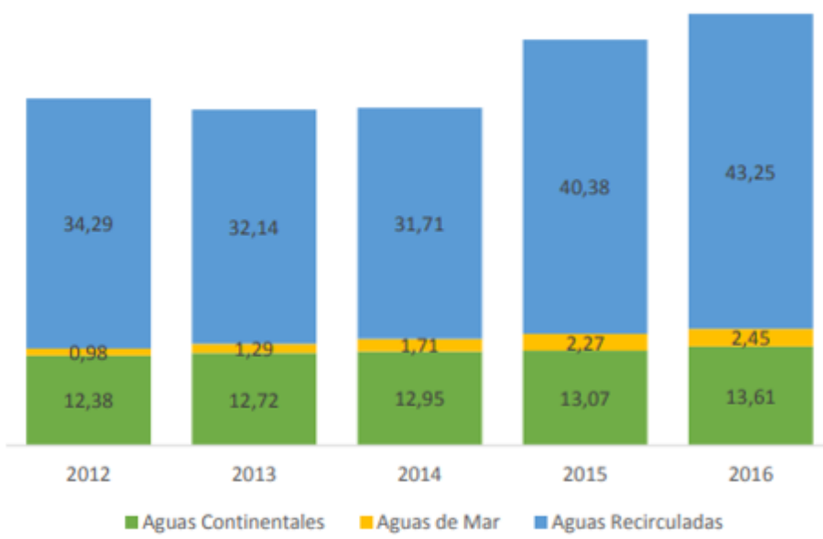

Figura 8 consumo de los distintos tipos de agua

Fuente: COCHILCO, informe anual de consumo de aguas 2016

2.1.4 Aguas de terceros:

Las aguas adquiridas a terceros corresponden a flujos de agua que se obtienen por terceros mediante un contrato previo, esto quiere decir que se compra el agua directamente a terceros con su derecho respectivo. Pueden ser aguas municipales, sanitarias, entre otras [2].

Según el consume de agua publicado por COCHILCO el año 2016, a nivel nacional la mayor fuente de extracción proviene de agua de origen subterráneo, el 39,4%, por otro lado, el agua de origen superficial alcanza el 38,6% del agua, las de origen oceánico llegan al 15,2% y aquellas aguas adquiridas a terceros representan el 6,7% [2].

En la siguiente imagen podemos apreciar las fuentes de abastecimiento y el porcentaje ocupado por estas.

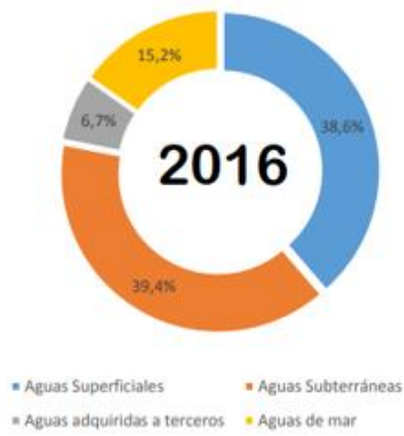

Figura 9 cantidad de los tipos de agua utilizadas por la industria minera del cobre

Fuente: COCHILCO informe anual de consumo de aguas 2016

Según el consumo de agua publicado por COCHILCO el año 2016, a nivel nacional, la mayor fuente de extracción proviene de agua de origen subterráneo, el 39,4%, por otro lado, el agua de origen superficial alcanza el 38,6% del agua, las de origen oceánico llegan al 15,2% y aquellas aguas adquiridas a terceros representan el 6,7% [2].

En el consumo de agua es posible apreciar que un porcentaje del agua usada por la minería chilena proviene desde compras a terceros, este porcentaje podría ser mayor en la medida que nuevas fuentes provenientes de estos mismos terceros, como bien puede ser la industria de los bebestibles como la cerveza.

Cabe señalar que a medida que las leyes minerales disminuyen, progresivamente se requiere un uso del agua mayor para obtener la misma cantidad de cobre, esto debido a que se utilizan mayores cantidades de este recurso para los procesos hidrometalurgicos. Al año 2016 la cantidad de agua continental usada por la minería alcanzó los 13,61 m^3/seg, habiendo un aumento de un 4.2% respecto al año anterior [2]

Figura 10 Caudal utilizado por la minería del cobre en aguas continentales

Según COCHILCO, de los 13,61 m^3/seg de aguas continentales usadas durante 2016 podemos ampliar en los procesos a los cuales fueron destinados, según la siguiente imagen:

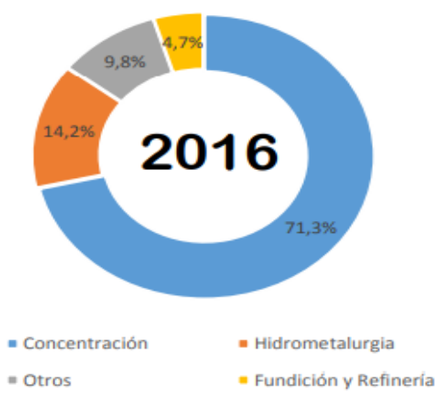

Figura 11 Procesos en los que se utiliza el agua destinada a la industria minera

Fuente: informe anual COCHILCO

Durante el 2016 es claro que el principal consumo de agua continental fue el proceso de concentración de minerales sulfurados, representando el 71% de las aguas continentales usadas en minería, sin embargo, el segundo proceso que más aguas de este tipo consume corresponde a la hidrometalurgia con un 14%, el resto es consumido por aguas usadas en campamentos, para riego, supresión de polvo en caminos, y otros procesos de bajo consumo de agua, sumando un 10% Finalmente el área de fundición y refinería solo representan el 5% del consumo total de aguas continentales [2].

Si bien se obtiene una gran cantidad de agua, inclusive se recircula y reutiliza el agua, pero aun así no es suficiente, sumado a restricciones medioambientales que reducen este consumo de agua, se propone reutilizar una parte de los riles generados por la industria de la producción de la cerveza.

Según COCHILCO, el consumo de agua en la V región se distribuye principalmente entre aguas superficiales (53%) y aguas subterráneas (46%), menos del 1% del agua proviene de otras fuentes como podrían ser terceros [7].
Como en este trabajo se busca realizar flotación con agua reciclada es pertinente revisar de donde provienen estas aguas, sus contenidos y características.
Los grandes proyectos mineros de una de las regiones más importantes en minería, la Región de Atacama, han ideado nuevas formas de desalinización aguas, sin embargo, la desalinización de aguas de mar no es una opción económicamente viable para las

medianas y pequeñas empresas, debido a esto estas empresas se han visto en la obligación de adquirir derechos para poder mantener sus faenas. La escasez de agua en esta región ha activado el mercado de venta de derechos de agua, esto afecta negativamente las zonas puesto que se han venido ofreciendo terrenos agrícolas a las mineras de manera de aprovechar los derechos constituidos, perjudicando a la agricultura de la región [5]

Es claro que acorde al contexto actual del país existe una presión por diversificar las fuentes hídricas, y con ello el agua de mar ha entrado fuertemente dentro de esta tendencia como una fuente abundante. El sector minero es el que aprovecha en mayor medida el agua de mar siendo pionero en su uso, lo cual también ha impulsado una mejora creciente en las tecnologías que permiten su aprovechamiento

En el siguiente grafico que presentó COCHILCO el año 2017 se puede apreciar claramente la evolución del consumo de agua de mar en la minería del cobre desde el año 2010 a 2017, con una tasa de crecimiento anual promedio de 52% [7].

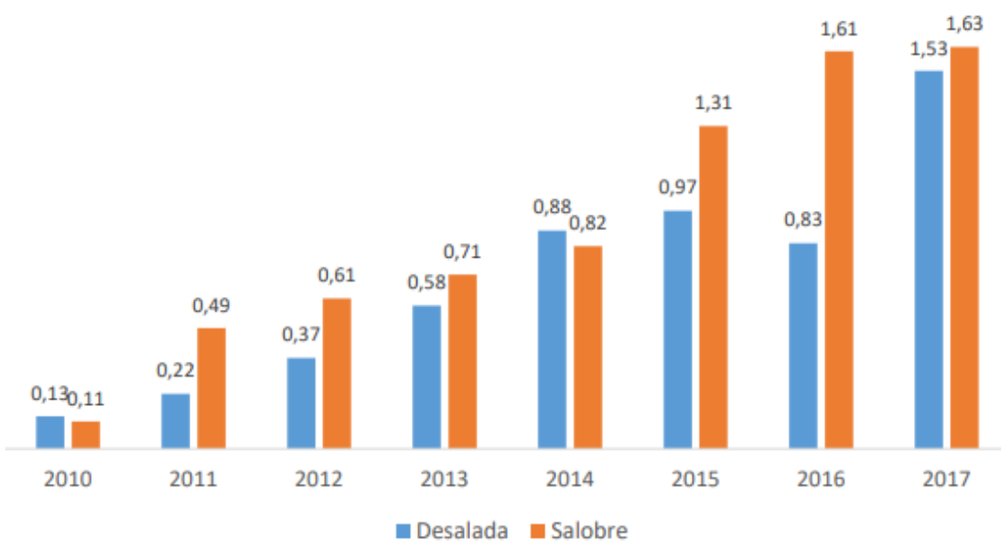

Figura 12 Uso de agua de mar en la minería del cobre 2010-2017 (m3/seg)

En esta búsqueda de una nueva fuente hídrica, es necesario revisar algunos conceptos, como desecho o residuo.

Los desechos o residuos son sustancias u objetos que perdieron su vida útil, pero que pueden ser eliminados o valorizados. En Chile casi la totalidad de los residuos municipales e industriales son enviados a disposición final y en gran parte de los casos no consideran procesos de valorización o transformación energética [6].

Los residuos industriales, según el D.S. 594/99 del Ministerio de Salud indica que corresponden a residuos sólidos o líquidos, o una combinación de estos, los cuales provienen de los procesos industriales y que además debido a sus características físicas, químicas o biológicas no pueden ser tratados como residuos domésticos. La cantidad de residuos industriales, en general, ha ido en aumento en la medida que se expanden industrias de distintos sectores. Más del 50% de los residuos provienen de la industria de la construcción seguido de un 20% proveniente del sector manufacturero, el cual

comprende las industrias de los alimentos, bebidas, tabacos, textiles y cuero, papel, plástica, químicos, entre otros [8].

Figura 13 agua de desecho de cerveza

Fuente: The Beer Times, 2018

De esta manera se pone atención en el 20% de los residuos mencionados anteriormente los cuales provienen de entre otras fuentes, la industria de los bebestibles. Se está de esta manera en presencia de residuos industriales líquidos o RILES, los cuales están regulados por ley.

Los residuos industriales líquidos (RILES) son controlados por la superintendencia de servicios sanitarios (SISS) quien se encargada de controlar y velar que se cumpla la normativa de emisión de RILES según el cuerpo receptor, esto está en DS MINSEGPRES Nº 90/00 para la descarga de RILES en aguas marinas y continentales superficiales, el DS Nº 46/02 regula la descarga de RILES en aguas subterráneas y el DS MOP Nº609 [6].

2.2 UTILIZACION DE RESIDUOS COMO MATERIA PRIMA

El sector industrial de las bebidas y cervezas, el cual sea potente y asentado, genera muchos residuos líquidos, pero, como se ha mencionado antes no es simplemente disponer de ellos en el desagüe, para eso se requiere una depuración, al menos primaria, como lo sería un proceso de filtrado. Esto sin duda se traduce en gastos para la empresa productora. [9]

Es importante saber la proveniencia de las aguas en las que utilizan la fabricación de sus productos. En la siguiente tabla podemos apreciar las fuentes de sus recursos hídricos en m^3.

Tabla 4 consumo de agua de industria ccu

Tipos de fuentes	Métrica	2016	2017
Pozos profundos	m3	5.960.755	5.703.389
Red de agua potable	m3	876.773	876.401
Canales	m3	766.241	713.882
Manantiales	m3	391.255	383.612
Total Consumo	m3	7.995.024	7.677.285

Fuente: informe de sustentabilidad 2017 CCU.

Basándonos en la tabla podemos apreciar que la fuente más recurrida de consumo de agua son los pozos profundos que representan un 74% del total de sus fuentes, es seguido por la red de agua potable con un 12%, los canales con un 9%, y finalmente los manantiales con un 5%.

Tomando en cuenta lo anteriormente expuesto, como la necesidad de reducir el consumo de aguas continentales y de superficie se llegó a la idea de utilizar como una nueva fuente hídrica para flotación de minerales sulfurados de cobre las aguas de desecho de la industria de los bebestibles, en particular de las cervezas.

También es importante mencionar que en la industria minera se utiliza de manera vital el agua de procesos, que también es conocida como el agua recirculada [7].De esta manera se evita el desperdicio de este apreciado y costoso recurso, si bien se ha intentado optimizar esta última no es suficiente y es por esto que se buscan alternativas como las mencionadas anteriormente para completar el recurso al 100% del que requiere el proceso en este caso el de flotación que pertenece a la concentración.
En el siguiente gráfico podemos apreciar el promedio de recirculación a nivel nacional de las mineras de Chile:

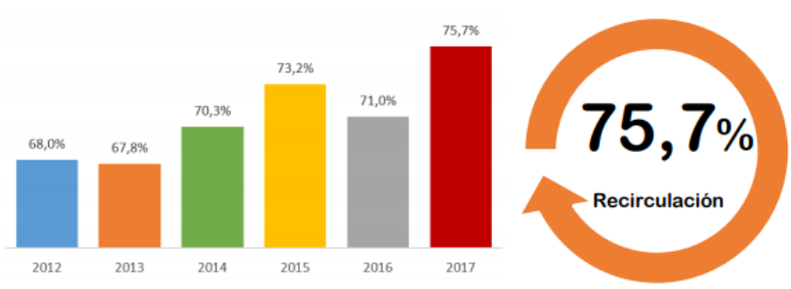

Figura 14 agua recirculada en los procesos mineros

fuente COCHILCO consumo de agua en la minería del cobre 2017

Para entender el grafico hay que mencionar que, para lograr llegar al porcentaje entregado de recirculación, se calcula la cantidad total de agua recirculada por año por el total de agua utilizada en el proceso incluyendo la recirculación y el flujo neto de las reservas de agua.

Basándose en el grafico podemos ver que las plantas concentradoras han aumentado su recirculación ya que por ejemplo la flotación es una de las etapas de la concentración que más agua requiere y es por esto que se toma énfasis en aumentar lo mencionado anteriormente, se puede notar que en 2012 se recirculaba un 68% de aguas, esto quiere decir que era un 7.7% menos que el del año 2017 y en relación al año anterior de este gráfico (2016) hubo un crecimiento de 4.7%, esto demuestra el interés por parte de las empresas mineras en perder la menor cantidad de recurso hídrico posible, si bien no es el 100% de aguas que requiere el proceso ayuda a disminuir el consumo de aguas continentales u oceánicas (agua de mar), según sea el agua que utiliza la minera.

Cabe mencionar que cuando una planta concentradora usa agua fresca en su totalidad para algún proceso, sin recirculación es porque en la mayoría de los casos esta se encuentra a una mayor altura que los relaves y/o espesadores, lo cual hace que la recirculación no sea técnicamente factible debido a los altos costos energéticos y económicos que representa bombear esta agua de vuelta al proceso.

Según todo lo planteado anteriormente, a pesar de la recirculación, con los datos entregados de las gastos de recursos hídricos tanto en aguas continentales, oceánicas e incluso adquiridas a terceros no son suficientes debido a impedimentos legales que han ocurrido sobre todo con las últimas, es por esto que es de importancia buscar alternativas viables y aquí es donde aparece el agua de desecho de la industria cervecera, es por esto que en el siguiente capítulo se establecerán los procedimientos para realizar la flotación con distintos tipos de agua potable que será la muestra continental, agua de mar representando a las aguas oceánicas y finalmente con agua de desecho de la industria cervecera las cuales fueron adquiridas con la cervecería Aconcagua en la región de Valparaíso.

CAPITULO 3: PROCEDIMIENTOS UTILIZADOS EN LOS LABORATORIOS SOLVAY PARA LOS DISTINTOS TIPOS DE AGUA.

En este capítulo se describen los procedimientos de flotación en laboratorio de Solvay y los pasos seguidos en la realización de este proceso de flotación en particular.

Para lograr realizar esto, primero que todo se realizara una descripción de todos los procesos que se realizaran en los laboratorios de la empresa Solvay, una vez descritos se procederá la aplicación de estos con cada tipo de agua y con cada tipo de agua se harán 3 flotaciones, esto quiere decir que será un total de 9 flotaciones.

3.1 PROCEDIMIENTOS

3.1.1 Operación molino de bolas:

Pasos:

3.1.1.1 Abrir la tapa del roller de molienda

3.1.1.2 Tomar el molino y llevarlo al chute de descarga.

3.1.1.3 Abrir el molino con la barra de extensión.

3.1.1.4 Filtrar las bolas recibiendo el filtrado (agua) en un recipiente apropiado.

3.1.1.5 Agregar la carga de bolas al molino. Para esto deberá poner dentro del molino el recubrimiento de goma ajustado de tal forma que permitirá reducir el ruido que genera el golpe de las bolas con el molino, procedimiento que es obligatorio para todas las moliendas, según indicación de la ACHS (minuta de flotación, LDFOF-05. Rxx).

3.1.1.6 Desprender el mineral a moler en el interior del molino formando un cono sobre las bolas.

3.1.1.7 Agregar el peso de cal necesaria.

3.1.1.8 Agregar el volumen de agua requerido para la flotación.

3.1.1.9 Dosificar el (los) reactivo (s), con una micro pipeta (s) homogéneamente en la fase acuosa.

3.1.1.10 Cerrar herméticamente el molino con la barra de extensión.

3.1.1.11 Agitar el molino con dos vigorosos movimientos de balanceo, para homogenizar la carga.

3.1.1.12 Posicionar Depositar el molino en los rodillos rotatorios.

3.1.1.13 Verificar posibles fugas de material desde el interior del molino.

3.1.1.14 Cerrar la tapa del sistema de rotación.

3.1.1.15 Programar el tiempo de molienda en el timer del sistema de rotación.

3.1.1.16 Activar el motor del sistema de rotación en caso de que este no sea automático cuando se cierra la tapa del sistema de rotación.

3.1.1.17 Abrir tapa del sistema de rotación cuando el motor de rotación se detenga.

3.1.1.18 Filtrar las bolas recibiendo la pulpa del mineral en la celda de flotación. Remover manualmente las bolas y usar cortos chorros de agua desde el pitón para transferir restos del mineral remanente en las bolas y en el molino, a la celda de flotación. Una vez retirada a pulpa molida desde el reactor de la molienda.

3.1.1.19 Terminada la molienda, verter las bolas en molino, llenar con agua y mantener con tapa sello.

Elementos de protección personal:

Utilizar zapatos de seguridad, anteojos de seguridad, guantes, ropa de trabajo y protección auditiva.

Figura 15 procedimiento de molienda

En la imagen anterior se logra apreciar el mineral ya molido. Se logra apreciar el momento en donde se retira el molino de bolas del sistema con el mineral reducido de tamaño y listo para limpiar la carga de bolas y recuperar el mineral contenido en él.

3.1.2 Ensayo de Flotación:

Pasos:

3.1.2.1 Moler el mineral en el molino de bolas con el tiempo obtenido en la cinética de molienda.

3.1.2.2 Instalar celda de flotación con pulpa de mineral y rotor en máquina de flotación.

3.1.2.3 Aforar al volumen estándar (llenar con el agua requerida para la flotación para llegar al volumen deseado)

3.1.2.4 Ajustar las RPM según estándar.

3.1.2.5 Ajustar el pH de la pulpa al valor requerido con lechada de cal o solución acida dependiendo el pH requerido.

3.1.2.6 Mantener temporalmente cerrada la válvula de paso de aire.

3.1.2.7 Dosificar el (los) reactivo (s) con micro pipeta (s) o pipeta sobre la pulpa.

3.1.2.8 Activar cronometro y acondicionar el tiempo indicado en estándar de flotación.

3.1.2.9 Abrir válvula de aire comprimido para inyectarlo en la celda.

3.1.2.10 Iniciar el ciclo de paleteo (cuatro a cinco paleteos por ciclo)

3.1.2.11 Continuar el paleteo con la frecuencia definida por el estándar de flotación, recibiendo el concentrado en bandeja de concentrado

3.1.2.12 Reintegrar ocasionalmente a la pulpa el mineral que se deposita en las paredes de la celda, con pequeño volumen de agua potable proyectada desde un frasco lavador

3.1.2.13 Suspender paleteo y el flujo de aire una vez terminado el tiempo estándar de flotación.

3.1.2.14 Los concentrados serán filtrados y posteriormente secados y pesados.

3.1.2.15 El relave restante en la celda será filtrado y secado para completar el 100% de la masa utilizada.

3.1.2.16 Una vez secos serán preparadas las muestras o concentrados para un posterior análisis de muestra.

Elementos de protección personal:

Zapatos de seguridad, anteojos de seguridad, guantes de goma, y ropa de trabajo.

Figura 16 procedimiento de flotación

3.1.3 Filtración de concentrado y relaves

PASOS:

3.1.3.1 Verter el concentrado desde la bandeja de concentrados al filtro provisto de papel filtro con el número correspondiente del ensayo de filtración.

3.1.3.2 Lavar la bandeja del concentrado con agua potable y verter la suspensión en el filtro que se designa para dicho producto.

3.1.3.3 Lavar posible remanente de concentrado en la pared interior del cilindro con agua potable utilizando el pitón instalado para ese fin.

3.1.3.4 Instalar la tapa del filtro y cerrar herméticamente girando la llave mariposa y cerrar la válvula de salida de aire de la tapa del filtro.

3.1.3.5 Abrir la válvula de aire comprimido correspondiente

3.1.3.6 Cerrar la válvula de aire comprimido cuando prácticamente no se detecte flujo de filtrado en la manguera de evacuación

3.1.3.7 Rotar la llave torniquete y retirar la tapa del filtro

3.1.3.8 Retirar el cilindro de filtración y transferir todo resto de concentrado remanente en las paredes del cilindro al concentrado compactado

3.1.3.9 Transferir el concentrado sobre el papel filtro a una de las bandejas inferiores de la estufa en caso de ser concentrado y bandejas superiores de la misma estufa de secado en caso de ser relave.

3.1.3.10 Secar a 120°C por un tiempo no menor de 4 horas.

Elementos de protección personal:

Zapatos de seguridad, gafas de seguridad, guantes de goma y ropa de trabajo

Figura 17 Procedimiento de filtrado

3.1.4 Preparación muestras concentrado y relave:

Pasos:

3.1.4.1 Rotular las bolsas de papel necesarias para las muestras de relave que se prepararan. Especificar en cada bolsa de numero de flotación y mineral

3.1.4.2 Escribir en una bitácora el número correspondiente a los concentrados y relaves que se prepararan para anotar los pesos.

3.1.4.3 Pesar las bolsas de polietileno y tarar la balanza con estas para que no incida en el peso de la muestra.

3.1.4.4 Retirar los concentrados y relaves desde la estufa y trasladarlos a la mesa de preparación de muestras del laboratorio solvay.

3.1.4.5 Depositar cuantitativamente la muestra del relave sobre un paño de roleo

3.1.4.6 Disgregar parcialmente el concentrado o relave, con un cilindro acrílico, hasta que el material no presente aristas que perforen la bolsa de polietileno.

3.1.4.7 Transferir cuantitativamente el relave contenido sobre el paño de polietileno a la bolsa de polietileno correspondiente. Transferir posibles restos de relave utilizando una brocha pequeña limpia

3.1.4.8 Pesar las bolsas conteniendo el relave o concentrado según corresponda.

3.1.4.9 Anotar el peso total (la pesa ya está tarada con la bolsa por lo cual automáticamente no cuenta el peso de esta)

Elementos de protección personal:

Zapatos de seguridad, gafas de seguridad, guantes de goma y ropa de trabajo

Figura 18 concentrado de agua de desecho de cerveza listo para secado y posterior preparación de muestra

Con los procedimientos ya descritos ahora se procederá a su implementación en el laboratorio. A continuación, se dejarán los antecedentes recopilados cuando se trabajó con estos en los laboratorios de Solvay.

3.2 TRABAJO EN LABORATORIO

Lo primero que se realizo fue la elección del mineral que nos facilitó la empresa Solvay. El mineral otorgado cuenta con la presencia de Cobre (Cu), Molibdeno (Mo) y Fierro (Fe).

CYTEC CHILE LIMITADA

Soporte Técnico

Fecha : 23-10-2018

[redacted] SET : 3 OT-090

		Flotador / Ayudante: LP/ MP				
Masa Mineral (grs.)	1153	% Solidos Flotación	38	Flotación	Cinetica (3 , 7 min.)	
Granulometría	250 µm	Volumen Pulpa (Lts.)	2,4	Aire (Lts/min.)		
Agua Molienda (mL)	560	Paleteo cada (seg.)	10			
Tiempo Molienda	10 min 12 seg.	Tiempo Acondic.(min.)	3	PH	10	Cal :
Carga de bolas	Mercator #2	Denver # 2	Análisis : Cu ; Fe ; Mo	Agitación	1200	
	M-3 SIST. 1					

Figura 19 Orden de trabajo solvay

En la imagen anterior se puede apreciar la orden de trabajo para el mineral, el recuadro blanco con negro es para ocultar el nombre del cliente de la empresa que por órdenes de esta no se puede revelar para mantener la privacidad del cliente. Lo que sí se puede utilizar es el procedimiento que realiza la empresa para flotar el mineral es por esto que por ejemplo el tiempo de molienda ya está designado y no es necesario hacer un ensayo de tamiz para obtener su P80 puesto que ya está previamente determinado según su curva de molienda.

En la orden de trabajo o en su simbología OT se aprecian las siguientes acciones:

- Tiempo de molienda: 10 min con 12 segundos.
- Masa del mineral: 1153 grs
- Granulometría: 250 um.
- Volumen de la pulpa: 2,4 litros (esta incide en el tamaño de la celda)
- Paleteo: cada 10 segundos.
- Tiempo de acondicionamiento: 3 minutos
- Cinética de la flotación: 3 y 7 minutos
- pH: 10
- agitación: 1200 rpm.
- Respecto a la carga de bolas mercator #2 corresponde al tipo de carga de bolas y Denver #2 es la maquina utilizada para flotar dentro del laboratorio de flotación de Solvay.

Ya en conocimiento de todo lo anterior solo nos resta saber los reactivos que se usaran para la flotación. Debido a que se está emulando la flotación que realiza Solvay ocuparemos los mismos reactivos que utilizan en la misma cantidad que estos mismos utilizan,

Reactivos:

- 10,8 mililitros de Diésel.
- 25,8 Mililitros de Ap-3894.
- 16.6 mililitros de Af-70.

3.2.1 Trabajo en laboratorio para agua potable:

Una vez transcurrido el tiempo se realizó el procedimiento "operación molino de bolas" con el tiempo obtenido y una muestra a la vez. Una vez realizados del paso 3.3.1.1 al 3.1.1.6 de este procedimiento, en el paso 3.1.1.7 se procedió a agregar la cal, previo a esto se le midió el pH al agua potable el cual arrojo 7,6, es por esto que se decide agregar 1,2 gr de cal para ver que pH arrojara a la hora de flotar. Cumplido el paso 3.1.1.8, en el paso 3.1.1.9 se adiciona el reactivo AP 3894. Finalmente, cumplidos todos los demás pasos se da término a la etapa de molienda.

Cumplido el procedimiento "operación molino de bolas" se da inicio al "ensayo de flotación".

Ya cumplidos el paso 3.1.2.1 y 3.1.2.2, en el paso 3.1.2.3 se termina de llenar con la misma agua potable los 2,4 litros para que la celda este llena correctamente; en el paso 3.1.2.4 se ajustan 1200 RPM; en el paso 3.1.2.5 el pH inicial medido fue 8,7 por lo que se ajusta con lechada (cal apagada con agua); en el paso 3.1.2.6 se prende la maquina Denver, pero sin que esta inyecte aire; en el paso 3.1.2.7 agregamos con ayuda de micro pipetas el reactivo AP 3894 y Diésel en la proporción mencionada anteriormente.

En el paso 3.1.2.8 con los reactivos ya agregados se procede a activar el cronometro y empieza el acondicionamiento de 3 minutos; en paso 3.1.2.9 una vez transcurrido estos 3 minutos inyectar el aire en la celda de flotación, esta inyección de aire fue de 4 L/min puesto que así el colchón (espumas) con altura constante, paso 3.1.2.10 se inicia el ciclo de paleteo de 10 segundos, se realiza el paso 3.1.2.11, en el paso 3.1.2.12 se reintegra el mineral en las paredes pero el agua no es suficiente por lo que cada 1 minuto se le agrega el un vaso precipitado de 100 ml con agua potable. Antes de pasar al paso 3.1.2.13 cabe mencionar que cuando se cumplieron 3 minutos se saca este concentrado y se procede a seguir con el siguiente concentrado que se retirara a los 7 pero se realiza una variación en la inyección de aire y es que en vez de seguir con 4 L/min se sube a 6 L/min, ya al mencionar esto se procede a seguir con el paso 3.1.2.13 al 3.1.2.16 y finalizar este procedimiento.
Ya terminado el ensayo de flotación se procede al procedimiento de "Filtración de concentrado y relaves"

En este procedimiento no ocurre ninguna variación por lo que se procede a realizar los pasos del 3.1.3.1 al 3.1.3.10 sin ningún problema o punto el cual merezca ser mencionado.

Finalmente, en el procedimiento de "preparación de muestras de concentrado y relave" se realizan los pasos del 3.1.4.1 al 3.1.4.9 el cual arroja un concentrado de 3 minutos denominado c3, un concentrado de 7 minutos que llamaremos c7 y un relave que llamaremos R, estos serán mandados a analizar y se obtendrá la recuperación de Cu, Mo y Fe, y por otro lado del relave lo que no se recuperó de estos 3 estos se darán a conocer en el siguiente capítulo.

Como se realizaron 3 flotaciones con agua se repetirá este procedimiento de laboratorio 3 veces.

3.2.2 Trabajo en laboratorio para agua de mar

Una vez listo el tiempo se realiza el procedimiento "operación molino de bolas" con el tiempo obtenido y una muestra a la vez. Una vez realizados del paso 3.1.1.1 al 3.1.1.6 de este procedimiento, en el paso 3.1.1.7 se procede a agregar la cal, pero previo a esto se le midió el pH al agua de mar el cual arrojo 7,71 muy similar al del agua potable, a diferencia del agua potable se le agrego 1.7 gr de cal puesto que cuando se midió con el pH-metro y nos arrojaba un pH menor al del agua potable. Cumplido el paso 3.1.1.8, en el 3.1.1.9 se le agrega el reactivo AP 3894 en conjunto al Diésel en las proporciones mencionadas. Finalmente, cumplidos todos los demás pasos se dio termino a la etapa de molienda.

Ya con esto estamos listo para el procedimiento "ensayo de flotación"

Ya cumplidos el paso 3.1.2.1 y 3.1.2.2, en el paso 3.1.2.3 se termina de llenar con la misma agua de mar los 2,4 litros para que la celda este llena correctamente, en el paso 3.1.2.4 se ajustan 1200 RPM, en el paso 3.1.2.5 el pH inicial dio 8,5 por lo que se ajusta con lechada. Cabe mencionar que el agua de mar fue más difícil de modificar el pH (cal apagada con agua), en el paso 3.1.2.6 se inicia el funcionamiento de la maquina Denver sin inyección de aire, en el paso 3.1.2.7 se agrega con ayuda de una micro pipeta el reactivo AF 70.

En el paso 3.1.2.8 con los reactivos ya agregados se procede a activar el cronometro y empieza el acondicionamiento de 3 minutos, paso 3.1.2.9 una vez transcurrido estos 3 minutos inyectar el aire en la celda de flotación, esta inyección de a3.1.2.ire fue de 5 L/min puesto que así el colchón (espumas) se mantenía a buena altura, paso 3.1.2.10 se inicia el ciclo de paleteo de 10 segundos, se realiza el paso 3.1.2.11, en el paso 3.1.2.12 se reintegra el mineral en las paredes pero el agua no es suficiente por lo que cada 1 minuto se le agrega el un vaso precipitado de 100 ml con agua mar. Antes de ir al paso 3.1.2.13, cabe

mencionar al cumplir 3 minutos, se retira el concentrado y se procede a seguir con el siguiente, que se retirara a los 7, pero se realiza una variación en la inyección de aire y es que en vez de seguir con 5 L/min se aumenta a 8 L/min, ya al mencionar esto se procede a seguir con el paso 3.1.2.13 al 3.1.2.16 y finalizar este procedimiento.

Ya terminado el ensayo de flotación se procede al procedimiento de "Filtración de concentrado y relaves"

En este procedimiento no ocurre ninguna variación por lo que se procede a realizar los pasos del 3.1.3.1 al 3.1.3.10 sin ningún problema o punto el cual merezca ser mencionado.

Finalmente, en el procedimiento de "preparación de muestras de concentrado y relave"

Se realizan los pasos del 3.1.4.1 al 3.1.4.9 el cual nos arroja un concentrado de 3 minutos que llamaremos c3, un concentrado de 7 minutos que llamaremos c7 y un relave que llamaremos R, estos serán enviados a analizar y se obtendrá la recuperación de Cu, Mo y Fe, y por otro lado del relave lo que no se recuperó de estos 3 estos se darán a conocer en el siguiente capítulo.

Como se realizaron 3 flotaciones con agua se repetirá este procedimiento de laboratorio 3 veces.

3.2.3 Trabajo en laboratorio para desecho de cerveza:

Una vez listo el tiempo se realiza el procedimiento "operación molino de bolas" con el tiempo obtenido y una muestra a la vez. Una vez realizados del paso 3.1.1.1 al 3.1.1.6 de este procedimiento, en el paso 3.1.1.7 se procede a agregar la cal, pero previo a esto se le midió el pH al agua de desecho de cerveza dando un resultado de pH 4.4 el cual es muy bajo, es por ello que se agregan 2 gramos de cal al molino. Cumplido el paso 3.1.1.8, en el 3.1.1.9 se agrega el reactivo AP 3894 y Diésel. Finalmente, cumplidos todos los demás pasos se dio término a la etapa de molienda.

Ya con esto realizado se inicia el procedimiento "ensayo de flotación".

Ya cumplidos el paso 3.1.2.1 y 3.1.2.2, en el paso 3.1.2.3 se termina de llenar con la misma agua de desecho de cerveza los 2,4 litros para que la celda este llena correctamente, en el paso 3.1.2.4 se ajustan las 1200 RPM, en el paso 3.1.2.5 el pH inicial dio 8,5 por lo que se ajusta con lechada cabe mencionar que el agua de desecho de cerveza fue más difícil de modificar el pH(cal apagada con agua), en el paso 3.1.2.6 se prende la maquina Denver pero sin que esta inyecte aire, en el paso 3.1.2.7 se agrega el reactivo aF-70 en las proporciones mencionadas anteriormente. En el paso 3.1.2.8 con los reactivos ya

agregados se procede a activar el cronómetro y empieza el acondicionamiento de 3 minutos, según el paso 3.1.2.9 una vez transcurrido estos 3 minutos se comienza a inyectar el aire en la celda de flotación, esta inyección de aire fue de 1 L/min puesto que así el colchón (espumas) se mantenía a una altura adecuada, paso 3.1.2.10 se inicia el ciclo de paleteo de 10 segundos, se realiza el paso 3.1.2.11, en el paso 3.1.2.12 se reintegra el mineral en las paredes pero el agua no es suficiente por lo que cada 1 minuto se le agrega el un vaso precipitado de 100 ml con agua de desecho. Antes de pasar al paso 3.1.2.13 cabe mencionar que cuando se cumplieron 3 minutos se saca este concentrado y se procede a seguir con el siguiente concentrado que se retirara a los 7 pero se realiza una variación en la inyección de aire y es que en lugar de continuar con una inyección de 3L/min se disminuyó a 1L/min, y luego se procede a seguir con el paso 3.1.2.13 al 3.1.2.16 finalizando este procedimiento.

Ya terminado el ensayo de flotación se procede al procedimiento de "Filtración de concentrado y relaves"

Para la flotación n°2 se decide no agregar el reactivo AF 70 (espumante) para eventualmente lograr un colchón de espuma menos agresivo lo cual se discute en el capítulo IV de este trabajo.

Posteriormente, no ocurre ninguna variación por lo que se procede a realizar los pasos del 3.1.3.1 al 3.1.3.10 del procedimiento sin ningún problema o punto el cual merezca ser mencionado.

Y finalmente en el procedimiento de "preparación de muestras de concentrado y relave", se realizan los pasos del 3.1.4.1 al 3.1.4.9 el cual nos arroja un concentrado de 3 minutos que llamaremos c3, un concentrado de 7 minutos que llamaremos c7 y un relave que llamaremos R, estos son enviados a análisis químico de Cu, Mo y Fe, con la finalidad de determinar su contenido de estos metales anteriormente mencionados y lo cual se analizará en el siguiente capítulo.

Figura 20 Flotación con desecho de cerveza

Ya terminado el procedimiento realizado en laboratorio, las muestras de concentrado y relave fueron enviadas a análisis químico para determinar sus respectivos contenidos de metales de interés y realizar el balance metalúrgico correspondiente al proceso. En el siguiente capítulo veremos los resultados, conclusiones y discusiones que se podrían generar al obtener estos.

CAPITULO 4: RESULTADOS DE LA RECUPERACION METALURGICA REQUERIDA PARA LOS DISTINTOS TIPOS DE AGUA EN LA FLOTACION

En el presente capítulo se evaluarán los resultados obtenidos de los 3 tipos de flotaciones (agua potable, agua de mar y agua de desecho de cerveza), en base a estos resultados se obtendrán más tarde en el mismo capítulo tanto conclusiones como discusiones relevantes frente al resultado del trabajo realizado y sus objetivos.

4.1 RESULTADOS

4.1.1 Resultados agua potable:

En la siguiente tabla se apreciará el balance de masa realizado luego de la flotación

Tabla 5 masas de las flotaciones realizadas con agua potable

Masas de las flotaciones realizadas con agua potable			
N° de flotación	**Masa concentrado (gramos)**	**Masa Relave (gramos)**	**Masa total (gramos)**
1	**117.3**	**1029.2**	**1146.5**
2	**117.3**	**1028.8**	**1146.1**
3	**122.9**	**1023.4**	**1146.3**

Podemos ver que el resultado de la masa total no son los mismos y tampoco es el mismo pesaje inicial del mineral que era de 1153 gramos. Esto es debido a que se pierden pequeñas cantidades de mineral en los procedimientos, principalmente de molienda y filtrado lo cual está contemplado en el margen de error. Lo anterior es importante de resaltar ya que altamente improbable que se obtengan cantidades de masas iguales incluso con una realización prolija de los procedimientos

En el siguiente grafico se evidenciará los resultados obtenidos en las 3 flotaciones realizadas con agua potable.

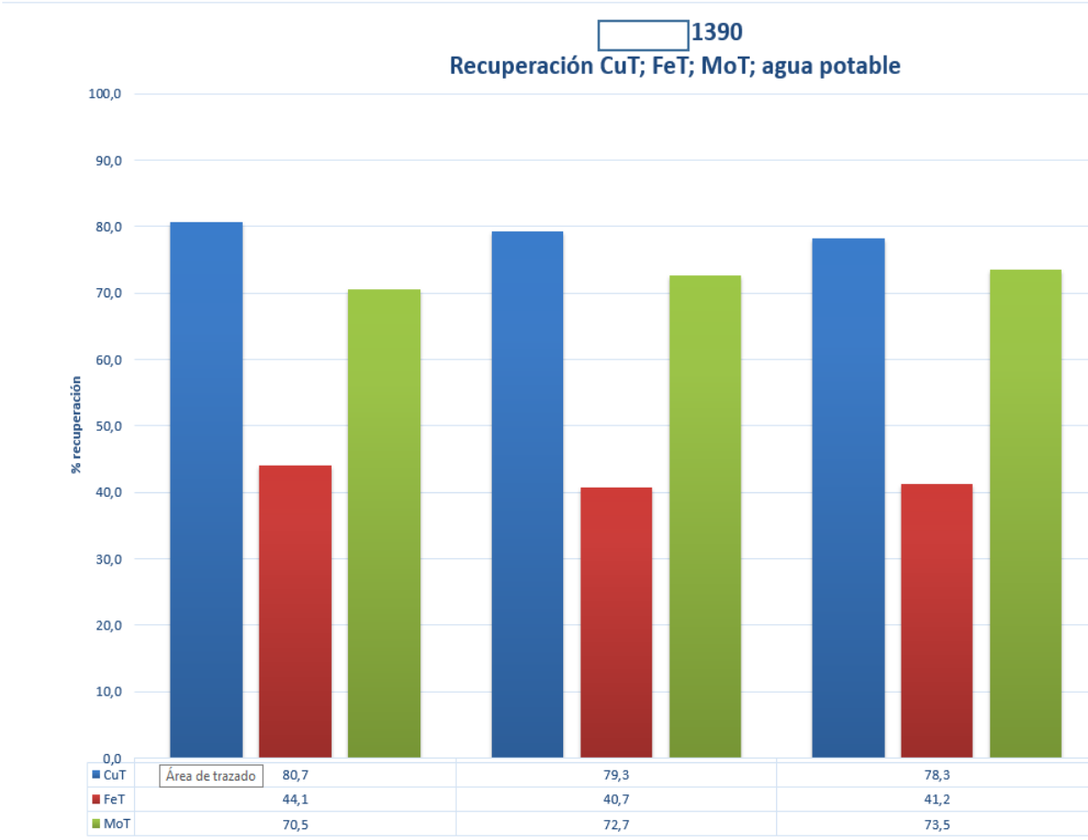

Figura 21 Recuperación de Cu, Fe, Mo con agua potable

En el grafico anterior se logra evidenciar que en la flotación N° 1 se recupera el 80.7% de cobre, 44.1 de fierro y 70.5 de molibdeno.

En la flotación N° 2 se recupera un 79.3% de cobre, 40.7% de fierro y un 72.7% de molibdeno.

En la flotación N° 3 se registra una recuperación de 78.3% de cobre, 41.2% de fierro y un 73.5% de molibdeno.

Cabe mencionar que si bien todas son réplicas de flotaciones con el mismo tipo de agua la diferencia puede ocurrir por técnicas de paleteo o bien pérdidas ocurridas en los procedimientos.

En base a estas 3 flotaciones se obtiene un promedio por mineral el cual nos arroja el siguiente % de recuperación final:

Promedio de recuperación:

- Cobre: recuperación 79.43%
- Fierro: recuperación 42%
- Molibdeno: recuperación 72.23%

4.1.2 Resultados recuperación agua de mar:

En la siguiente tabla se apreciará el balance de masa realizado luego de la flotación

Tabla 6 Masas de las flotaciones realizadas con agua de mar

Masas de las flotaciones realizadas con agua de mar			
N° de flotación	**Masa concentrado (gramos)**	**Masa Relave (gramos)**	**Masa total (gramos)**
1	**83.7**	**1063.1**	**1146.8**
2	**101**	**1051.7**	**1152.7**
3	**92.2**	**1060.1**	**1152.3**

Se puede afirmar respecto a la tabla expuesta comparando con las tablas 5 y 7, que el margen de error en la masa total fue menor que con el agua potable y agua de desecho de cerveza, por ende, los procedimientos con esta agua fueron más efectivos en cuanto al balance de masas.

En el siguiente gráfico se evidenciará los resultados obtenidos en las 3 flotaciones realizadas con agua de mar.

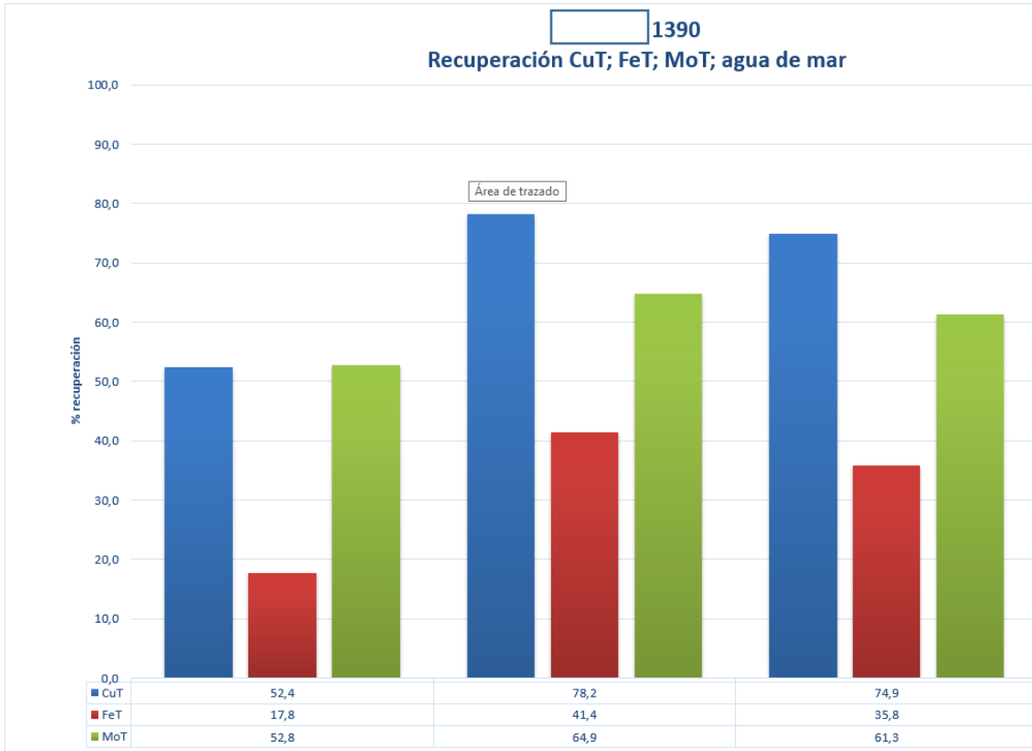

Figura 22 Recuperación de Cu, Fe, Mo con agua de mar

Según el grafico presentado anteriormente podemos observar la recuperación obtenida con el agua de mar

En la flotación N° 1 se obtiene una recuperación del 52.4% en relación al cobre, un 17.8% de recuperación de fierro y un 52.8% en la recuperación del molibdeno.

En la flotación N° 2 se recupera un 78.2% de cobre, 41.4% de fierro y 64.9% de molibdeno.

En la frotación N° 3 se recupera 74.9% de cobre, 35.8% de fierro y 61.3% de molibdeno.

Si bien la flotación 2 y 3 son similares, la flotación N° 1 es bastante inferior, lo anterior ocurre debido a un error al dosificar los reactivos, específicamente el AF-70, ya que se le agrego el doble de este y por cantidad de muestras de mineral no se pudo cambiar, esto generó que esta tuviera una menor recuperación sobre todo de fierro, pero además disminuyó la recuperación de minerales de valor como el cobre y molibdeno.

En base a lo explicado anteriormente se sacará el promedio de las 3 flotaciones:

Promedio de Recuperación incluyendo las 3 flotaciones:

- Cobre: 68.5 %
- Fierro: 31.6 %
- Molibdeno: 59.6 %

Por ser un caso especial se tomará el promedio con la flotación N° 2 y N°3 para ver lo que genera una mala dosificación y como afecto al promedio.

- Promedio recuperación de cobre: 76.55 %
- Promedio recuperación de fierro: 38.6 %
- Promedio recuperación de molibdeno: 63.1

Se Aprecia una diferencia notoria en los promedios de los cuales más adelante se discutirá.

4.1.3 Resultados agua de desecho de cerveza:

En la siguiente tabla se apreciará el balance de masa realizado luego de la flotación

Tabla 7 Masas de las flotaciones realizadas con agua de desecho de cerveza

Masas de las flotaciones realizadas con agua de desecho de cerveza			
N° de flotación	**Masa concentrado (gramos)**	**Masa Relave (gramos)**	**Masa total (gramos)**
1	**138.4**	**1011**	**1149.4**
2	**108.3**	**1014.7**	**1123**
3	**101.3**	**1023.3**	**1124.6**

La masa total disminuyo más en comparación con las otras tablas esto fue debido a que en el proceso de flotación se formó un gran colchón el cual incluso supero el volumen de la celda, pero de todas formas no se perdió tanta masa considerando que en los demás procedimientos también se puede perder cierta cantidad de masa.

En el siguiente grafico se evidenciará los resultados obtenidos en las 3 flotaciones realizadas con agua de desecho de cerveza.

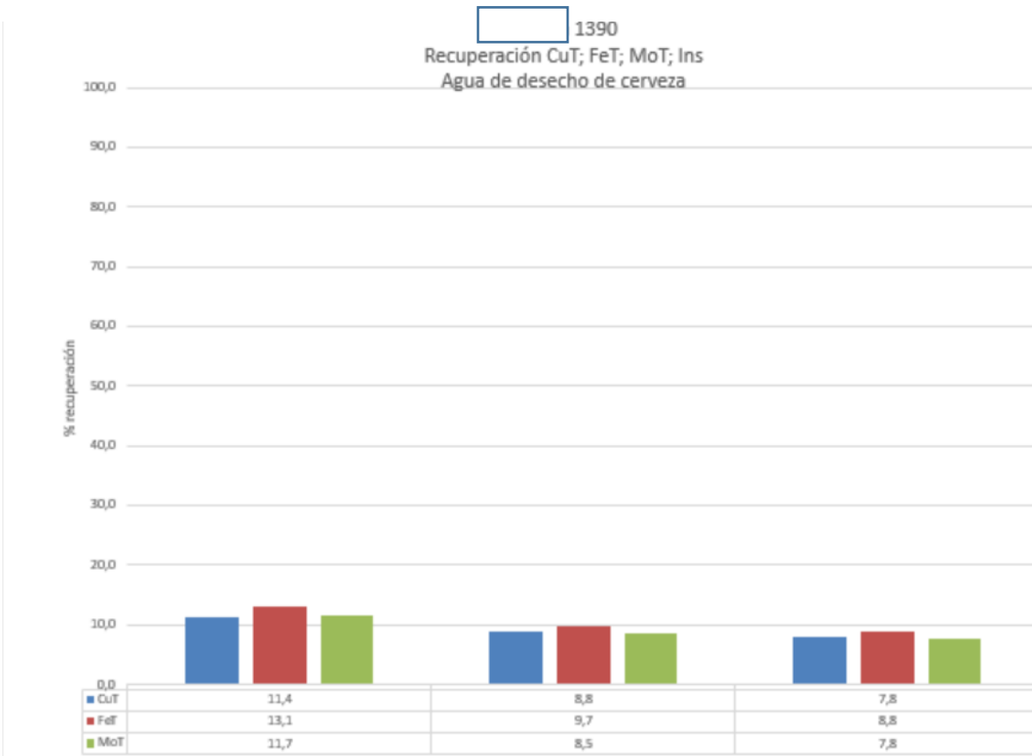

Figura 23 Recuperación de Cu, Fe, Mo con desecho de cerveza

Según el grafico presentado anteriormente el cual nos muestra la recuperación de la flotación realizada con agua de cerveza se logra evidenciar lo siguiente:

Flotación N° 1: se aprecia una recuperación del 11.4% de cobre, 13.1% de fierro y 11.7% de molibdeno.

Flotación N°2: Recuperación de cobre de un 8.8%, un 9.7% de fierro y 8.5% en la recuperación de molibdeno. Según se mencionó en el capítulo 3, en esta flotación se decidió no agregar el reactivo AF 70 con la finalidad de obtener un colchón de espuma menos agresivo, sin embargo, no se logró un cambio apreciable en el desarrollo de la flotación y la generación de espuma. Esto se puede explicar debido a que la generación de espuma fue en gran medida excesiva producto de la misma espuma generada al agitar e inyectar aire al agua de desecho de cerveza y el efecto del espumante se ve opacado por la gran capacidad de generar espuma de esta particular agua.

Flotación N° 3: Recuperación de 7.8% de cobre, 8.8% de fierro y 7.8 de molibdeno. Según estos resultados podemos evidenciar que el efecto el espumante no fue relevante para la recuperación de los metales que se buscaban obtener en el concentrado.

En base a estas 3 flotaciones se sacará el promedio obtenido:

Promedio de recuperación:

- Cobre: 10.96% de recuperación.
- Fierro: 12.3 % de recuperación.
- Molibdeno: 10.9% de recuperación.

Con la evidencia obtenida en los resultados presentados anteriormente podemos iniciar las conclusiones.

4.2 CONCLUSIONES

4.2.1 Basándose en los 3 gráficos entregados anteriormente en el presente capítulo, se concluye que el agua de desecho de cerveza proveniente de la cervecería Aconcagua, en comparación con el agua potable o de llave y agua de mar, posee una recuperación muy inferior en comparación con estas dos, el agua potable recupero 79,43% de Cu, 42% de Fe y 72,23% de Mo; el agua de mar recupero 76,55% de Cu, 38,6% de Fe y 63,1% de Mo; mientras que el agua de desecho de la industria cervecera solo recupero un 10,96 de Cu, 12,3% de Fe y un 10,9 de Mo. Podemos decir que recupero un 60% menos de Cu que las flotaciones con agua potable y de mar un 30% menos de Fe y nuevamente un 60% menos de Mo en comparación a estas dos.

4.2.2 Se concluye que el agua de desecho de cerveza a pesar de recuperar en cifras muy inferiores en la mayoría fue la única que recupero más Fierro en comparación con el cobre y el molibdeno, recuperando un 1,2% aproximadamente más que estos elementos mencionados. Esto fue debido a que creo un colchón de espumación muy grande y a su vez muy resistente el cual no permitió que las partículas de cobre y molibdeno e incluso el fierro fueran seleccionadas de manera correcta.

4.2.3 La flotación con agua de desechos recuperó más fierro debido a que en la muestra mineral trabajada había más partículas de fierro que de cobre y molibdeno, por lo que el colchón no permitió una selectividad razonable con los metales de mayor interés.

4.2.4 Según se puede apreciar en el gráfico de recuperación de la flotación con agua de desecho de cerveza, en la segunda flotación, como se especifica en el procedimiento del Capítulo 3, no se utilizó espumante, para lograr una espumación menos agresiva, sin embargo, esto no tuvo efecto en la recuperación final de los metales de interés y visualmente la espumación de esta prueba de flotación fue prácticamente la misma, con un colchón de espuma muy grande y una espuma rígida. Esta rigidez de la espuma impide que el mineral penetre junto a las burbujas a la superficie.

4.2.5 Es prudente mencionar también que según se especifica en el capítulo 3, se inyectó menos aire a la celda de flotación en las flotaciones n°2 y n°3,

disminuyendo en gran medida la presión de aire. Esta modificación se hizo con la misma finalidad de lograr disminuir la producción de espuma, sin embargo, la generación de espuma se mantuvo prácticamente idéntica.

4.2.6 Según las tabla 7 podemos apreciar que las masas de los concentrados en el caso de las flotaciones con agua de desecho de cerveza son relativamente más altas a pesar de no haber logrado una recuperación óptima para los minerales de interés, esto puede tener su origen en los contenidos adicionales de orgánicos, azucares o compuestos derivados de la cerveza los cuales no estaban contemplados en la medición y pudieron constituir parte de la masa recuperada en los concentrados.

4.2.7 Es importante mencionar que el pH del agua de desecho de cerveza tuvo que ser ajustado según el pH al cual se realiza la flotación de este mineral en particular proporcionado por Solvay. Esto sin embargo no estuvo exento de complicaciones ya que una vez llevado el pH a 10 éste tendía a bajar a medida que avanzaba la flotación y debía ser ajustado nuevamente. Este factor pudo también afectar la recuperación final ya que el pH no estuvo siempre en su punto óptimo para este mineral.

4.2.8 A modo de recomendación para posibles estudios futuros es posible afirmar que la flotación con este tipo de agua podría ser aplicada como una flotación inversa, es decir, que el relave contenga la mayor parte del mineral de interés y el concentrado el contenido de hierro sin valor económico, de esta manera se eliminaría la ganga con altos contenidos través del concentrado y se conservaría el relave alto en cobre y molibdeno.

4.2.9 En base a las recuperaciones obtenidas en la flotación nº3 donde se utilizó el pasivo ambiental agua residual de cerveza como agua de proceso para esta flotación, se puede afirmar que los nuevos avances podrían ir en dirección a obtener una mayor recuperación de hierro, el cual fue el metal que obtuvo mayor recuperación, sin embargo, esta recuperación podría ser mejorada. Para esto se pueden evaluar distintas opciones como la utilización de reactivos selectivos para el hierro o realizar una mayor molienda para aumentar el grado de liberación.

5 **ANEXO**

A continuación, se muestran tablas con las masas recuperadas de los metales de interés y relaves, para calcular las recuperaciones metalúrgicas de cada metal en todas las flotaciones realizadas en este trabajo:

Tabla 8 Recuperación en gramos flotación agua potable

Masas total de los metales tras el resultado de flotación con agua potable en gramos					
N° Flotación	Masa de Cu	Masa de Fe	Masa de Mo	Masa del relave	Masa total
1	9.8599	38.63705	0.480	1129.2	1146.5
2	10.08568	38.39435	0.4588	1028.8	1146.1
3	9.97281	37.71327	0.488667	1023.4	1146.3

Tabla 9 Recuperación en gramos flotación agua de mar

Masas total de los metales tras el resultado de flotación con agua de mar					
N° Flotación	Masa de Cu	Masa de Fe	Masa de Mo	Masa del relave	Masa total
1	9.97	36.35	0.472	1063.1	1146.8
2	10.1877	38.78295	0.465164	1056.7	1157.7
3	9.72972	38.2239	0.4696906	1066.1	1158.3

Tabla 10 Recuperación en gramos flotación con desecho de cerveza

Masas total de los metales tras el resultado de flotación con agua de desecho de cerveza					
N° Flotación	Masa de Cu	Masa de Fe	Masa de Mo	Masa del relave	Masa total
1	10.5748	35.74634	0.472978	1011.0	1149.4
2	10.2193	38.2943	0.5026548	1014.7	1123.0
3	10.00894	37.56164	0.50314604	1023.3	1124.6

5.1 Cálculos recuperación metalúrgica de Cu, Mo, Fe.

Para calcular la recuperación se utilizó la siguiente formula:

$$R = \frac{c \times PC}{f \times PM} \text{ X } 100 = \% \text{ Recuperación}$$

c = ley de concentrado

f= Ley de cabeza

PC= peso de concentrado

PM= peso de mineral

(Ver figura 15)

5.1.1 Recuperación con agua potable:

5.1.1.1 Recuperación de cobre flotación agua potable:

- Flotación 1

$$R = \frac{9 \times 76.3}{0{,}86 \times 1146{,}5} \text{ X } 100 = \% \ 69{,}5$$

$$R = \frac{2{,}71 \times 41}{0{,}86 \times 1146{,}5} \text{ X } 100 = \% \ 11{,}2$$

- Flotación 2

$$R = \frac{8{,}81 \times 78{,}3}{0{,}88 \times 1146{,}1} \text{ X } 100 = \% \ 68{,}6$$

$$R = \frac{2{,}75 \times 39}{0{,}88 \times 1146{,}1} \text{ X } 100 = \% \ 10{,}7$$

- Flotación 3

$$R = \frac{9{,}17 \times 67{,}8}{0{,}87 \times 1146{,}3} \text{ X } 100 = \% \ 62{,}5$$

$$R = \frac{2{,}85 \times 55{,}1}{0{,}87 \times 1146{,}3} \text{ X } 100 = \% \ 15{,}8$$

Recuperación hierro flotación agua potable:

- Flotación 1

$$R = \frac{17{,}68 \times 76{,}3}{3{,}37 \times 1146{,}5} \text{ X } 100 = \% \ 34{,}9$$

$$R = \frac{8{,}74 \times 41}{3{,}37 \times 1146{,}5} \text{ X } 100 = \% \ 9{,}3$$

- Flotación 2

$R = \frac{15,23 \times 78,3}{3,35 \times 11,46.1}$ X 100 = % 31,1

$R = \frac{9,49 \times 39}{3,35 \times 11,46.1}$ X 100 = % 9,6

- Flotación 3

$R = \frac{15,79 \times 67,8}{3,29 \times 1146,3}$ X 100 = % 28,4

$R = \frac{8,78 \times 55,1}{3,29 \times 1146,3}$ X 100 = % 12,8

Recuperación de molibdeno agua potable:

- Flotación 1

$R = \frac{3849 \times 76,3}{418,7 \times 1146,5}$ X 100 = % 61,2

$R = \frac{1095 \times 41}{418,7 \times 1146,5}$ X 100 = % 9,4

- Flotación 2

$R = \frac{3151 \times 78,3}{400,3 \times 1146,1}$ X 100 = % 62,3

$R = \frac{1220 \times 39}{400,3 \times 1146,1}$ X 100 = % 10,7

- Flotación 3

$R = \frac{4281 \times 67,8}{426,3 \times 1146,3}$ X 100 = % 59,4

$R = \frac{1250 \times 55,1}{426,3 \times 1146,3}$ X 100 = % 14,1

5.1.2 Recuperación flotación con agua de mar

5.1.2.1 Recuperación de cobre en flotación con agua de mar

- Flotación 1

$R = \frac{7,34 \times 46,9}{0,87 \times 1146,3}$ X 100 = % 34,5

$R = \frac{4,84 \times 36,8}{0,87 \times 1146,3}$ X 100 = % 17,9

- Flotación 2

$R = \frac{63.8 \times 10,74}{0,88 \times 1157,7}$ X 100 = % 67.4

$R = \frac{37.2 \times 2,93}{0,88 \times 1157,7}$ X 100 = % 10.7

- Flotación 3

$R = \frac{56,0 \times 10,72}{0,84 \times 1158,3}$ X 100 = % 61,4

$R = \frac{36,2 \times 3,66}{0,84 \times 1158,3}$ X 100 = % 13,5

5.1.2.2 Recuperación de hierro en flotación con agua de mar

- Flotación 1

$R = \frac{46,9 \times 8,77}{3,17 \times 1146,3}$ X 100 = % 11,3

$R = \frac{36,8 \times 6,39}{3,17 \times 1146,3}$ X 100 = % 6,5

- Flotación 2

$R = \frac{63,8 \times 20,42}{0,88 \times 1157,8}$ X 100 = % 33,6

$R = \frac{37,2 \times 8,06}{0,88 \times 1157,8}$ X 100 = %7,7

- Flotación 3

$R = \frac{56,0 \times 19,08}{0,84 \times 1158,3}$ X 100 = % 28,0

$R = \frac{36,2 \times 8,22}{0,84 \times 1158,3}$ X 100 = % 7,8

5.1.2.3 Recuperación de molibdeno en flotación con agua de mar

- Flotación 1

$R = \frac{3867 \times 46,9}{411,6 \times 1146,8}$ X 100 = % 38,4

$R = \frac{1849 \times 36,8}{411,6 \times 1146,8}$ X 100 = % 14,4

- Flotación 2

$R = \frac{3795 \times 63,8}{401,8 \times 1157,7}$ X 100 = % 52

$R = \frac{1603 \times 37,2}{401,8 \times 1157,7}$ X 100 = % 12,8

- Flotación 3

$R = \frac{3831 \times 56,0}{405,5 \times 1158,3}$ X 100 = % 45,7

$R = \frac{2032 \times 36,2}{405,5 \times 1158,3}$ X 100 = % 15,7

5.1.3 Recuperaciones con agua de desecho de cerveza

5.1.3.1 Recuperación de cobre con agua de desecho de cerveza

- Flotación 1

$R = \frac{0,86 \times 87,3}{0,92 \times 1149,4}$ X 100 = % 7,1

$R = \frac{0,87 \times 51,1}{0,92 \times 1149,4}$ X 100 = % 4,2

- Flotación 2

$R = \frac{0,87 \times 71,8}{0,91 \times 1123}$ X 100 = % 6,1

$R = \frac{0,76 \times 36,5}{0,91 \times 1123}$ X 100 = % 2,7

- Flotación 3

$R = \frac{0,8 \times 68,1}{0,89 \times 1124,5}$ X 100 = % 5,5

$R = \frac{0,72 \times 33,1}{0,89 \times 1124,5}$ X 100 = % 2,4

5.1.3.2 Recuperación de hierro con agua de desecho de cerveza

- Flotación 1

$R = \frac{3,44 \times 87,3}{3,11 \times 1149,4}$ X 100 = % 8,4

$R = \frac{3,30 \times 51,1}{3,11 \times 1149,4}$ X 100 = % 4,7

- Flotación 2

$R = \frac{3,43 \times 71,8}{3,41 \times 1123}$ X 100 = % 6,4

$R = \frac{3,41 \times 36,5}{3,41 \times 1123}$ X 100 = % 3,2

- Flotación 3

$R = \frac{3,26 \times 68,1}{3,34 \times 1124,5}$ X 100 = % 5,9

$R = \frac{3,23 \times 33,2}{3,34 \times 1124,5}$ X 100 = % 2,9

5.1.3.3 Recuperación de molibdeno con agua de desecho de cerveza

- Flotación 1

$R = \frac{397 \times 87,3}{411,5 \times 1149,4}$ X 100 = % 7,3

$R = \frac{406 \times 51,1}{411,5 \times 1149,4}$ X 100 = % 4,4

- Flotación 2

$R = \frac{421 \times 71,8}{447,6 \times 1123}$ X 100 = % 6

$R = \frac{343 \times 36,5}{447,6 \times 1123}$ X 100 = % 2,5

- Flotación 3

$R = \frac{406 \times 68,1}{447,4 \times 1124,5}$ X 100 = % 5,5

$R = \frac{352 \times 33,2}{447,4 \times 1124,5}$ X 100 = % 2,3

5.2 Flotación inversa

En la naturaleza las especies minerales se encuentran en concentraciones bajas, siendo necesario concentrar estos minerales, para posteriormente aplicar un proceso de refinación que sea técnica y económicamente factible. El objeto de la concentración de minerales, independientemente de los métodos usados, es siempre el mismo: separar los minerales en dos o más productos, como concentrados y colas, y algunas veces, materiales mixtos. Los objetivos de la concentración por flotación más significativos son: obtener una alta recuperación del mineral y conjuntamente una alta ley de concentrado. Como método de concentración, la flotación, consiste en la separación selectiva de especies minerales útiles, en base a sus propiedades físico-químicas de la superficie de las partículas de minerales. Esta separación se efectúa provocando la adhesión selectiva de burbujas de aire a una determinada especie mineral, cuando la mezcla de minerales finamente divididos está sumergida en agua. Durante la flotación, normalmente el mineral se adhiere a la burbuja que formará parte de la espuma, dejando la ganga en la pulpa o cola (flotación directa), mientras que en la flotación inversa la ganga se transfiere a la espuma"

5.3 Análisis de cabeza

Mineral : # 1390
Actividad : Set 3
Fecha : 23 de octubre de 2018

Ley de Cabeza	CuT %	FeT %	Mo ppm
Analizada:	0,81	3,20	342
Calculada :	0,88	3,30	419

Granulometría : p80 250 um
pH : 10,0
Colector Moly : Diesel ; 8 g/t (M)

Figura 24 Análisis de cabeza Excel enviado por Solvay

Según el análisis de cabeza entregado por la empresa Solvay respecto al mineral utilizado en este trabajo de flotación, es claro que se tiene un contenido de hierro superior al resto de metales de interés, lo cual es de esperar respecto a un mineral de este tipo (sulfuro de Cu-Mo).

En base a las recuperaciones obtenidas en la flotación nº3 donde se utilizó el pasivo ambiental agua residual de cerveza como agua de proceso para esta flotación, se puede afirmar que los nuevos avances podrían ir en dirección a obtener una mayor recuperación de hierro, el cual fue el metal que obtuvo mayor recuperación, sin embargo, esta recuperación podría ser mejorada. Para esto se pueden evaluar distintas opciones como la utilización de reactivos selectivos para el hierro o realizar una mayor molienda para aumentar el grado de liberación.

En las siguientes imágenes se presentan los resultados entregados en la planilla Excel enviada a Solvay, van por partes debido a que el tamaño no permite una visualización óptima.

Celda :	Denver
Peso Mineral :	1153 g.
Solidos flotación :	38%
Tiempo de molienda :	10 min 12 seg
Acondicionamiento :	3 min.
Flotación :	7 min.
Agitación :	1200 rpm
Volumen :	2,4 L
Paleteo :	c/10

Figura 25 Datos de flotación Excel entregado por solvay

Flot.		Colector 1	Espumante
N°	pH	g/t 22; Molino	g/t 13 Acond
1	10	AP-3894; 22	AF-70: 13 agua potable
2	10	AP-3894; 22	AF-70 : 13 agua potable
3	10	AP-3894; 22	AF-70 : 13 agua potable
4	10	AP-3894; 22	AF-70: 13 agua de mar
5	10	AP-3894; 22	AF-70: 13 agua de mar
6	10	AP-3894; 22	AF-70: 13 agua de mar
7	10	AP-3894; 22	AF-70: 13 Cerveza
8	10	AP-3894; 22	AF-70: 13 Cerveza
9	10	AP-3894; 22	AF-70: 13 Cerveza

Figura 26 Flotaciones y sus respectivas aguas y reactivos Excel entregado por solvay

Resultados y balance metalúrgico

	Concentrado							
Tpo	gramos		% CuT		% Fe T		ppm Mo	
min	Parc.	Acum.	Parc.	Acum.	Parc.	Acum.	Parc.	Acum.
3	76,3	76,3	9,00	9,00	17,68	17,68	3849	3849
7	41,0	117,3	2,71	6,80	8,74	14,56	1095	2886
3	78,3	78,3	8,81	8,81	15,23	15,23	3651	3651
7	39,0	117,3	2,75	6,80	9,49	13,32	1220	2843
3	67,8	67,8	9,17	9,17	15,79	15,79	4281	4281
7	55,1	122,9	2,85	6,34	8,78	12,65	1250	2922
3	46,9	46,9	7,34	7,34	8,77	8,77	3867	3867
7	36,8	83,7	4,84	6,24	6,39	7,72	1849	2980
3	63,8	63,8	10,74	10,74	20,42	20,42	3795	3795
7	37,2	101,0	2,93	7,86	8,06	15,87	1603	2988
3	56,0	56,0	10,72	10,72	19,08	19,08	3831	3831
7	36,2	92,2	3,66	7,95	8,22	14,82	2032	3125
3	87,3	87,3	0,86	0,86	3,44	3,44	397	397
7	51,1	138,4	0,87	0,86	3,30	3,39	406	400
3	71,8	71,8	0,87	0,87	3,43	3,43	421	421
7	36,5	108,3	0,76	0,83	3,41	3,42	343	395
3	68,1	68,1	0,80	0,80	3,26	3,26	406	406
7	33,2	101,3	0,72	0,77	3,23	3,25	352	388

Figura 27 Resultados de la recuperación del concentrado entregados en Excel por solvay.

Relave			
g	CuT %	FeT %	Mo ppm
1029,2	0,185	2,10	138
1028,8	0,202	2,21	122
1023,4	0,211	2,17	127
1063,1	0,446	2,81	209
1056,7	0,210	2,15	155
1066,1	0,230	2,30	170
1011,0	0,924	3,07	413
1014,7	0,920	3,41	453
1023,3	0,901	3,35	453

Figura 28 Resultados del relave Excel entregado por solvay

Recuperación %					
CuT		FeT		Mo	
Parc.	Acum.	Parc.	Acum.	Parc.	Acum.
69,5	69,5	34,9	34,9	61,2	61,2
11,2	80,7	9,3	44,1	9,4	70,5
68,6	68,6	31,1	31,1	62,3	62,3
10,7	79,3	9,6	40,7	10,4	72,7
62,5	62,5	28,4	28,4	59,4	59,4
15,8	78,3	12,8	41,2	14,1	73,5
34,5	34,5	11,3	11,3	38,4	38,4
17,9	52,4	6,5	17,8	14,4	52,8
67,4	67,4	33,6	33,6	52,0	52,0
10,7	78,2	7,7	41,4	12,8	64,9
61,4	61,4	28,0	28,0	45,7	45,7
13,5	74,9	7,8	35,8	15,7	61,3
7,1	7,1	8,4	8,4	7,3	7,3
4,2	11,4	4,7	13,1	4,4	11,7
6,1	6,1	6,4	6,4	6,0	6,0
2,7	8,8	3,2	9,7	2,5	8,5
5,5	5,5	5,9	5,9	5,5	5,5
2,4	7,8	2,9	8,8	2,3	7,8

Figura 29 Porcentaje de recuperación Excel enviado por solvay

Cab. Cal.			Masa	
CuT	FeT	Mo	min.	conc.
%	%	ppm	g	%
0,86	3,37	418,7	1146,5	6,7 10,2
0,88	3,35	400,3	1146,1	6,8 10,2
0,87	3,29	426,3	1146,3	5,9 10,7
0,87	3,17	411,6	1146,8	4,1 7,3
0,88	3,35	401,8	1157,7	5,5 8,7
0,84	3,30	405,5	1158,3	4,8 8,0
0,92	3,11	411,5	1149,4	7,6 12,0
0,91	3,41	447,6	1123,0	6,4 9,6
0,89	3,34	447,4	1124,6	6,1 9,0

Figura 30 Cabeza calculada por cada flotación Excel entregado por solvay

N° Flot.	% Cu	% Fe	ppm Mo	Peso
Prom.	0,88	3,30	418,97	1144,30
Std*196	0,04	0,18	33,42	23,21
Max.	0,92	3,41	447,63	1158,30
Min.	0,84	3,11	400,35	1123,00
Std*1.96/prom; %	4,9	5,5	8,0	2,0

Figura 31 Promedio de recuperación entre todas las flotaciones Excel enviado por solvay

6. **BIBLIOGRAFÍA**

1. DAVENPORT, wg, et al. Extractive metallurgy of copper. 4th edition. Tucson,AZ,USA.Pergamon. 2002. ISBN 0-444-50206-8.
2. CHILE. COCHILCO. Consumo de agua en la minería del cobre al 2016. Santiago, Chile: Ministerio de Minería. 2017. Registro Propiedad Intelectual Nº 279.236
3. SOLVAY. Flotation reagent fundamentals. En su: Mining Chemicals Handbook. 10th edition. USA. Cytec. 2010 ISBN 978-0-615-33190-4
4. MICHAUD, David. 911 Metallurgist. [en línea] <https://www.911metallurgist.com/blog/flotation#standard-flotation-procedure> [consulta: 11 de enero de 2016]
5. PORTAL MINERO. Manual General de Minería y Metalurgia. Chile. 2006. ISBN 956-8514-01-5
6. Instituto Nacional de Estadísticas. Medio Ambiente Informe Anual 2018. Chile. 2018.
7. CHILE. COCHILCO. Consumo de agua en la minería del cobre al 2017. Santiago, Chile: Ministerio de Minería. 2018. Registro Propiedad Intelectual Nº 293421
8. ADAPT CHILE. Antecedentes del Manejo y Gestión de Residuos en Chile. Chile. 2016
9. Aguas de residuo de elaborar cerveza podrían utilizarse para construir celdas de baterías [en línea]. The Beer Times. 11 de octubre de 2016 <https://www.thebeertimes.com/las-aguas-de-residuo-de-elaborar-cerveza-podrian-utilizarse-para-construir-celdas-de-baterias> [consulta: 4 de febrero de 2019]