

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

RECUPERACIÓN DE COBRE Y MOLIBDENO A PARTIR DEL TRANQUE DE
RELAVE OVEJERÍA (ANDINA/CODELCO)

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

Alumno:

Pablo Carrillo Diaz

Juan Carlos Riquelme Órdenes

Profesor Guía:

Ing. Luis Gutiérrez Meneses

2018

RESUMEN

KEYWORD: RELAVE – FLOTACIÓN – RECUPERACIÓN

Este trabajo de título consiste en la recuperación de cobre y molibdeno a partir de las colas del proceso de flotación de División Andina, las cuales originalmente se depositan en el tranque ovejería ubicado en la Provincia de Chacabuco, Región Metropolitana

Es muy importante considerar la homogenización del relave, ya que se trabaja con una muestra fresca, es decir una pulpa, por lo que agitar correctamente ayuda a tener todas las partículas en suspensión y con ello sacar una muestra representativa que nos permita trabajar.

Se establecieron los objetivos a atacar para luego caracterizar el relave y realizar los experimentos que buscan obtener la mayor cantidad de mineral valioso, en específico Cobre y Molibdeno. Cabe destacar que el relave proveniente de tranque de Ovejería, posee una ley de Cobre y Molibdeno corresponden a 0,052% y 0,006% respectivamente. El mejor desempeño metalúrgico busca una estrecha relación entre lo que es la recuperación y la ley de mineral valioso, para obtener un concentrado que se pueda comercializar.

Dentro del set de experimentos analizados son 7 las flotaciones con diferentes dosificaciones a comparar, en las cuales se buscará un máximo de recuperación de mineral valioso. Debido a la gran cantidad de variables y parámetros presentes en el proceso de flotación, se fijan parámetros tales como pH, Flujo de Aire, velocidad de Agitación, tiempo de flotación, de acondicionamiento y se varió la dosis de reactivos. A partir de esto, se obtiene que la mejor condición corresponde a 0[g/Ton] de colector y 24[μL/L] de espumante, donde la recuperación de Cobre alcanza el 49,2% con una ley de 0,10% Cu y respecto al Molibdeno, la recuperación alcanza el 72,4% con una ley de 0,018% Mo.

La parte experimental del trabajo de título, se realizó en el laboratorio de hidrometalurgia de la Universidad Técnica Federico Santa María, Casa Central 1680, Av. España, Valparaíso, Región de Valparaíso.

ÍNDICE

RESUMEN.....

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES 3

1. RELAVE MINERO OVEJERÍA DIVISION CODELCO ANDINA 4

1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL RELAVE 6

1.1.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO 6

1.1.1.1 TAMIZADORA..... 7

1.1.1.2 TAMICES 8

1.1.1.3 TAMIZAJE EN HÚMEDO..... 9

1.1.1.4 DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA PONDERADA..... 13

1.1.2 DENSIDAD REAL O PESO ESPECÍFICO DEL MINERAL 14

1.1.3 PORCENTAJE DE SÓLIDO Y DENSIDAD DE PULPA 15

1.1.3.1 DENSIDAD DE LA PULPA 15

1.1.3.2 BALANZA DE MARCY 16

1.1.3.3 DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA PULPA 17

1.1.3.4 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE SÓLIDOS..... 18

CAPÍTULO 2: INFLUENCIA DE LOS REACTIVOS DURANTE EL PROCESO DE FLOTACIÓN 19

2 PROCESO DE FLOTACIÓN DE MINERALES DE INTERÉS..... 20

2.0.1 FLOTACIÓN CONTINUA O BATCH 21

2.1 VARIABLES OPERACIONALES DEL PROCESO 22

2.1.1 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL 23

2.1.2 TIEMPO DE FLOTACIÓN 23

2.1.3 TIEMPO DE ACONDICIONAMIENTO 23

2.1.4 PH 24

2.1.5 VELOCIDAD DE AGITACIÓN EN ACONDICIONAMIENTO..... 25

2.1.6 VELOCIDAD DE AGITACIÓN EN FLOTACIÓN 25

2.1.7 FLUJO DE AIRE..... 25

2.1.8 TIEMPO DE PALETEO 26

2.2 INFLUENCIA DE LOS REACTIVOS 26

2.2.1 ESPUMANTE 26

2.2.1.1	ACEITE DE PINO	28
2.2.1.2	ÁCIDO CRÉSILICO	28
2.2.1.3	REACTIVOS ALIFÁTICOS	28
2.2.2	COLECTOR	29
2.2.2.1	COLECTORES IÓNICOS	30
2.2.2.1.1	ANIÓNICOS	30
2.2.2.2	CATIÓNICOS	31
2.2.2.2	COLECTORES NO IÓNICOS	31
CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN DE REACTIVOS		33
3. PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DE REACTIVOS		34
3.1	RESULTADOS OBTENIDOS	34
3.1.1	EFFECTO DE COLECTOR Y ESPUMANTE	35
3.1.2	EFFECTO DE LA ADICCIÓN DE SOLO ESPUMANTE	36
3.1.3	EFFECTO DE LA ADICCIÓN DE SOLO COLECTOR	38
3.1.4	FLOTACIÓN SIN REACTIVOS	40
COCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		42
RECOMENDACIONES		43
BIBLIOGRAFÍA		44
ANEXOS		45

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES	
Figura 1-1, Ubicación en el mapa de tranque ovejería.....	4
Figura 1 2, Granulometría y ley de concentrado de Cu de muestra de relave coleccionada de NBI	5
Figura 1-3, Densidad y porcentaje de sólido de muestra de relave coleccionada de NBI .	5
Figura 1-4, Tamizadora Retsch AS200 Control.....	8
Figura 1-5, Set de Tamices.....	9
Figura 1-6, Set de Tamizado en Húmedo.....	10
Figura 1-7, Tabla de Distribución Granulométrica de muestra N°1.	11

Figura 1-8, Tabla de Distribución Granulométrica, muestra N°2..... 11

Figura 1-9, Tabla de Distribución Granulométrica, muestra N°3..... 12

Figura 1-10, Tabla de Distribución Granulométrica, muestra N°4..... 13

Figura 1-11, Gráfico de Distribución granulométrica sobre Acumulado Pasante (%) v/s
Abertura de Tamiz (µm)..... 14

Figura 1-12, Tabla de densidad real y duplicados..... 15

Figura 1-13, Balanza de Marcy..... 16

Figura 1-14, Visualización de la gravedad específica de la pulpa. 17

CAPÍTULO 2: INFLUENCIAS DE LOS REACTIVOS DURANTE EL PROCESO DE FLOTACIÓN

Figura 2-1, adhesión burbuja-partícula. 20

Figura 2-2, Celda Edemet, en laboratorio hidrometalurgico UTFSM Casa Central..... 22

Figura 2-3, Grafica entre el potenciasl Z, pH y su estabilidad..... 26

Figura 2-4, Adhesion de espumante a la superficie de un burbuja de aire 28

Figura 2-5, Adhesion de colector a la superfice de un mineral..... 29

Figura 2-6, Zona de trabajo de colectores..... 30

CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN DE REACTIVOS.

Figura 3-1, Grafico de recuperación vs tiempo para el cobre, 1° condición..... 35

Figura 3-2, Grafico de recuperación vs tiempo para el molibdeno, 1° condición. 36

Figura 3-3, Grafico de recuperación vs tiempo para el cobre, 2° condición..... 37

Figura 3-4, Grafico de recuperación vs tiempo para el molibdeno, 2 ° condición. 37

Figura 3-5, Grafico de recuperación vs tiempo para el cobre, 3° condición..... 38

Figura 3-6, Grafico de recuperación vs tiempo para el molibdeno, 3° condición. 39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1, Dosificaciones de colector y espumante para cada una de la flotaciones..... 34

Tabla 3-2, Resultados de ley en el concentrado y Recuperación Acumulada de cada una de las especies de interés, para las 7 flotaciones realizadas..... 40

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

A. SIGLAS

Cu	:	Cobre.
Mo	:	Molibdeno.
Ag	:	Plata.
Au	:	Oro.
F80	:	Tamaño 80% pasante en la alimentación.
Gbp	:	Gramos netos bajo malla por revolución.
GEM	:	Gravedad específica del mineral.
GEP	:	Gravedad específica de la pulpa.
P80	:	Tamaño 80% pasante en el producto.
SONAMI:		Sociedad nacional de minería.

B. SIMBOLOGÍA

"	:	Pulgadas
#	:	Número de malla
%	:	Porcentaje
μ	:	Micrones
μm	:	Micrómetros
cc	:	Centímetros cúbicos
gr	:	Gramos
seg	:	Segundos
min	:	Minutos
L	:	Litros
m	:	Metros
mm	:	Milímetros
Rpm	:	Revoluciones por minuto
t/ton	:	Toneladas métricas.
tmf	:	Toneladas métricas finas.
k/Ton	:	Miles de toneladas métricas.
t/h	:	Toneladas por hora
ρ	:	Densidad

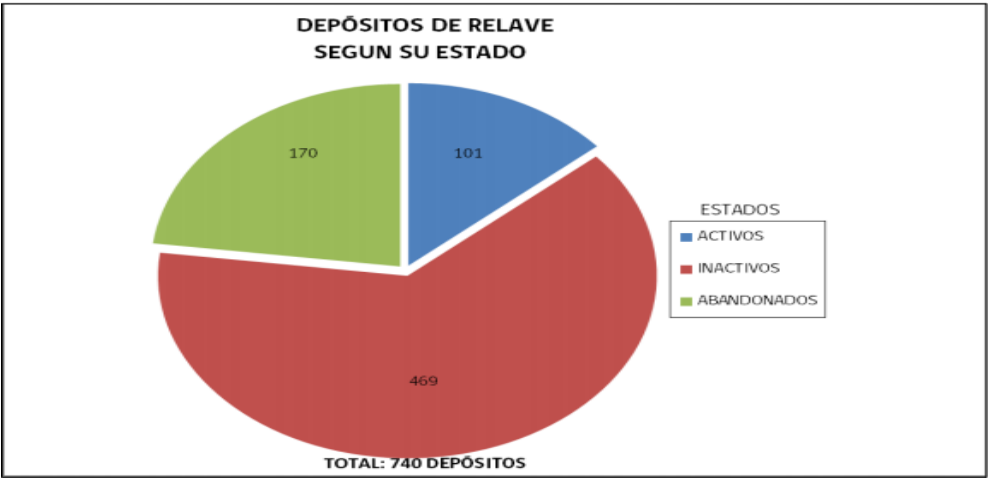
INTRODUCCIÓN

En Chile la industria de extracción se basa en actividades asociadas a metales como no metales, entre las primeras destacan la producción de cobre, oro, plata, zinc y plomo, donde el cobre ha sido una de las principales actividades productivas del país desde inicios de la Republica. La producción de cobre también genera subproductos como el molibdeno, el cual no se encuentra como forma pura en la naturaleza, sino que asociado a otros minerales como la molibdenita (MoS₂).

Hoy en día hay una demanda creciente a nivel mundial de este producto, es por ello que la industria minera remueve cada vez mayores cantidades de material, para poder obtener cobre y otros elementos de valor, principalmente y crecientemente, a través, de los procesos de concentración y flotación, debido a la disminución de las leyes de mineral de los yacimientos, para lo cual se deben procesar mayores volúmenes y, en consecuencia de ello, se producen mayores desechos en forma de relaves, ripios, escorias, etc.

Es por este motivo que el volumen de material estéril o en forma de relaves, ha aumentado significativamente y lo seguirá haciendo en el futuro. De hecho, se estima que la producción de relaves podría casi cuadruplicarse en el año 2035[1]. Actualmente existen en Chile 740 depósitos de relave, de los cuales 101 están activos, 469 no activos, 170 abandonados [2].

La siguiente Figura 1 muestra un gráfico circular que representa los depósitos de relave según su estado: activo, inactivo y abandonados.



Fuente: Elaboración Sernageomin, Catastro de depósitos de relave en Chile.

Figura 1, Cantidad de depósitos de relaves, según su estado.

De esta forma unos de los desafíos a futuro y más cruciales para la industria minera es promover la conversión de un pasivo a un activo.

El concepto de Pasivo Ambiental (PAM) puede entenderse como aquellas faenas mineras, abandonadas o paralizadas, incluyendo sus residuos, que constituyen un riesgo significativo para la vida o salud de las persona o para el medio ambiente, por lo cual depósitos abandonados o paralizados entran en dicha definición [3].

Lo anterior hace mención a convertir un “desecho” en una fuente de valor, ya que estos pasivos mineros no solo generar costos asociados a su mantención, también representa un riesgo para la comunidad ante algún derrumbe o percolación.

Objetivo General

- Recuperar cobre y molibdeno desde una muestra de relave proveniente del tranque de relave ovejería, por medio de separación físico-química

Objetivos Específicos

- Caracterizar el relave ovejería según granulometría, densidad específica del mineral y densidad de pulpa.
- Establecer la influencia del colector y espumante en el relave, de acuerdo a parámetros operacionales en el proceso de flotación.
- Evaluar el efecto del colector y espumante a distintas dosificaciones mediante recuperación metalúrgica.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1. RELAVE MINERO OVEJERÍA DIVISION CODELCO ANDINA

Un relave minero corresponde a un deshecho tóxico proveniente de los procesos mineros de la concentración de minerales, constituido por una mezcla de mineral molido con agua y otros compuestos como metales pesados.

Es transportado mediante canaletas o tuberías hasta un tranque, el cual está especialmente habilitado para su deposición, donde el agua es recuperada o evaporada para quedar dispuesto finalmente como un deposito estratificado de materiales finos.

Los relaves contienen altas concentraciones de productos químicos y elementos que contaminan el medio ambiente, por lo que deben ser transportados y almacenados en tranques o depósitos de relave.

El relave ocupado para esta experiencia proviene del tranque ovejería, ubicado en la Provincia de Chacabuco, Región Metropolitana.

La siguiente Figura 1-1, muestra la ubicación del tranque de relave ovejería División Codelco/Andina



Fuente: Elaboración icoldChile

Figura 1-1, Ubicación en el mapa de tranque ovejería

Este tranque, como embalse de este tipo, es una obra construida para contener en forma segura los relaves provenientes de una planta de mineral. Existen 83 kilómetros de canaletas que conducen los relaves cordillera abajo, desde los 2.550 metros de altura en donde se encuentra andina hasta los 600 metros sobre el nivel del mar, donde se encuentra el tranque [4].

Cabe destacar que previamente a realizar los procedimientos para la recuperación de las especies de interés del relave, minera valle Aconcagua que es la encargada del retratamiento de estos relaves, nos proporcionó información valiosa sobre la granulometría original, leyes de concentrado de Cu, densidad y porcentaje de sólido.

La siguiente Figura 1-2, muestra información sobre la granulometría original y ley de concentrado de Cu que posee el relave del tranque ovejería, división Andina/Codelco.

Fecha: 22-09-2017

MUESTRA : RA - Relave Andina

Peso Muestra Inicial, gr300,4

Tamaño	µm	Masa	% Retenido		% Pasante	P80	%Cu	%Fe
Malla		gramos	Parcial	Acumulado	Acumulado			
50	300	34,4	11,5	11,5	88,5	225,20	0,173	1,821
70	212	30,8	10,3	21,7	78,3	0,00		
100	150	32,6	10,9	32,6	67,4	0,00		
140	106	26,3	8,8	41,3	58,7	0,00	0,053	4,945
200	75	21,8	7,3	48,6	51,4	0,00		
270	53	21,4	7,1	55,7	44,3	0,00		
325	45	9,3	3,1	58,8	41,2	0,00	0,119	5,527
400	38	6,2	2,1	60,9	39,1	0,00		
500	25	11,9	4,0	64,8	35,2	0,00		
Pan	-25	105,7	35,2	100,0	0,0	0,00	0,070	6,039
Total	-	300,4	100,0	-	-	Head Calc	0,093	
φ80	225					Head Direct	0,094	

Fuente:Elaboracion , Jefe de Metalurgia, Planta PTR-MVA.

Figura 1 2, Granulometría y ley de concentrado de Cu de muestra de relave coleccionada de NBI

Siguiendo con la Figura 1-3 que muestra la densidad y el porcentaje de sólido que posee originalmente este relave.

22-09-2017	24:00-03:00	1,610	59,5%	11767
	03:00-06:00	1,580	57,7%	11222
	06:00-09:00	1,570	57,1%	11388
	09:00-12:00	1,560	56,4%	11340
	12:00-15:00	1,530	54,4%	8148
	15:00-18:00	1,550	55,8%	7643
	18:00-21:00	1,560	56,4%	9972
	21:00-24:00	1,560	56,4%	10017

Fuente:Elaboración, Jefe de Metalurgia, Planta PTR-MVA.

Figura 1-3, Densidad y porcentaje de sólido de muestra de relave coleccionada de NBI

1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL RELAVE

Las características físicas de un relave son aquellas que se pueden medir u observar sin alterar la composición química de este, dentro de las características más importantes se encuentran el tamaño de partícula del relave, densidad de mineral a tratar y finalmente la densidad de pulpa

En base a lo anterior es que se determinó caracterizar el relave según análisis granulométrico, densidad o peso específico del mineral y densidad de pulpa.

Cabe destacar que tamaño de partícula de un mineral es una característica muy importante, según investigadores que reportan que es unas de las variables de mayor impacto en el proceso de flotación. En la práctica se ha observado que la eficiencia de flotación en celdas convencionales disminuye cuando el tamaño de partícula es menor a 38 micrómetros y en el caso opuesto cuando el tamaño de partícula es superior a 250 micrómetros. La eficiencia del proceso de flotación se ve impactada negativamente cuando se opera en los extremos, es decir, con partículas finas ($<10\ \mu\text{m}$) o partículas gruesas ($>250\ \mu\text{m}$) [5].

En cuanto a la caracterización de la muestra, esta se realizó bajo las normas

- ASTM C136/C136M – 05 Historical Standard: Método de Ensayo Normalizado para la Determinación Granulométrica de Agregados Finos y Gruesos
- ASTM C128 – 04a Historical Standard: Método de Ensayo Normalizado para Determinar la Densidad, la Densidad Relativa (Gravedad Específica), y la Absorción de Agregados Finos.
- Manual on Test Sieving Methods, guidelines for establishing sieve analysis procedures, Lawrence R. Pope – Charles W. Ward. Editors, 4th edition 1998.-

1.1.1 Análisis Granulométrico

Este procedimiento corresponde al análisis de la distribución de partículas de material. Su finalidad es obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra.

Para su realización se utiliza una serie de tamices normalizados y numerados con diferentes diámetros que son ensamblados en una columna dispuestos en orden decreciente.

En la parte superior, donde se encuentra el tamiz de mayor diámetro, se agrega la muestra y la columna de tamices se somete a vibración y movimientos rotatorios intensos en una máquina especial. Luego de algunos minutos, se retiran los tamices y se desensamblan, tomando por separado los pesos de material retenido en cada uno de ellos y que, en su suma, deben corresponder al peso total del material que inicialmente se coloca en la columna de tamices.

1.1.1.1 Tamizadora.

Este equipo se utiliza para obtener una separación o distribución más heterogénea entre las partículas. El principio del equipo es la agitación, a través, de la vibración de la base, en donde se instalan los tamices para que las partículas se distribuyan eficientemente entre los tamices seleccionados, para realizar el análisis.

En el laboratorio se encuentra 1 equipo para realizar el tamizado, este equipo se denomina agitador analítico de tamices según las instrucciones de servicio de la máquina cribadora.

Este equipo posee las siguientes características y especificaciones:

- Agitador analítico de tamices marca RETSCH.
- Modelo AS 200 control.
- Tamizado en seco y en húmedo
- Ajuste digital libre de los parámetros de tamizado (tiempo, amplitud, aceleración de la base de los tamices, intervalo)
- Operación por intervalos
- Movimiento de proyección en 3 dimensiones haciendo que el material se mueva uniformemente por toda la superficie de malla del tamiz
- 3 kilogramos como carga máxima en mineral.
- Capacidad para 6 tamices más el fondo.

La siguiente Figura 1-4 muestra la tamizadora ocupada para el tamizaje en húmedo del relave.



Fuente: Elaboración propia, Laboratorio de Molienda, USM Casa Central, Valparaíso.

Figura 1-4, Tamizadora Retsch AS200 Control.

1.1.1.2 Tamices

Los tamices se utilizan en el proceso de separación de partículas por tamaño que conforma un mismo material. Los tamices poseen una forma cilíndrica y en la parte inferior se encuentra instalada una malla o rejilla la cual posee aberturas específicas de variados tamaños, las que retienen o dejan pasar el material dependiendo de su tamaño.

Algunas de las variables referidas a estos son la apertura de tamiz la cual refiere al espacio entre los hilos individuales de una malla y el número de malla que indica el número de hilos por pulgada cuadrada.

Los tamaños de aberturas más conocidas son la norma inglesa BSS410 (The British Standard, BSS410), la Norma Alemana, la Norma ASTM, las Series Francesas AFNOR (The French series AFNOR), DIN4188 (German Standard DIN4188), E11 (ASTM standard E11) y las Series Americanas Tyler (The American Tyler Series).

A continuación la Figura 1-5 nos muestra la serie de tamices ocupados tanto para el tamizaje en seco como en húmedo.



Fuente: Elaboración propia, serie de tamices, Laboratorio de Molienda, USM Casa Central, Valparaíso.

Figura 1-5, Set de Tamices.

1.1.1.3 Tamizaje en Húmedo

El tamizado en húmedo o deslame, se realiza con adición de agua al material particulado en tratamiento, con el fin que el líquido arrastre, a través, del tamiz a las partículas más finas, además se utilizan desgasificadores para aliviar la presión que ejerce el agua dentro de los tamices.

Antes de iniciar el tamizado en húmedo se prepara el mineral el cual es homogenizado mediante técnicas de roleo, cono y cuarteo, para luego tamizar formando una pulpa con agua. Paralelamente se seleccionan los tamices #40 (425 μm), #50 (300 μm), #70 (212 μm), #100 (150 μm), #140 (106 μm), #200 (75 μm), #270 (53 μm), #325 (45 μm), #400 (38 μm) y #500 (25 μm) para ser montados sobre la tamizadora.

Posteriormente se limpian los tamices seleccionados y se tabula el peso de cada uno, luego se prepara la columna de tamices en orden descendente, referente a sus μm y se procede al tamizaje con agua a baja presión, recorriendo lenta y regularmente el tamiz y se suspende la operación cuando el agua escurra totalmente clara.

La siguiente Figura 1-6 muestra todo el set que se ocupó para el tamizaje en húmedo del relave.



Fuente: Elaboración propia, en base a montaje tamizado húmedo, Laboratorio de Molienda, USM Casa Central, Valparaíso.

Figura 1-6, Set de Tamizado en Húmedo.

El tamizado húmedo se realiza a 4 muestras para observar la tendencia que se desarrolla durante esta técnica.

➤ Muestra N°1

Las condiciones asociadas para esta muestra son:

- Muestra: 137,9 g.
- Intervalo: 10 s.
- Amplitud: 1,2
- Tiempo: 6 min.

En la siguiente Figura 1-7 expone por medio de una tabla la distribución granulométrica de la muestra N°1

Malla N°	Abertura tamiz, um	Tara tamiz, g	Masa retenida, g	Masa retenida, %	Masa Retenida acumulada, g	Masa Retenida acumulada, %	Acumulado sobre, %	Acumulado pasante, %
40	425	358.6	5.9	4.3	5.9	4.3	4.3	95.7
50	300	344.2	11.3	8.2	17.2	12.5	12.5	87.5
70	212	339.9	13.3	9.6	30.5	22.1	22.1	77.9
100	150	323.6	13.4	9.7	43.9	31.8	31.8	68.2
140	106	322.7	12.6	9.1	56.5	41.0	41.0	59.0
200	75	316.7	12.3	8.9	68.8	49.9	49.9	50.1
270	53	313.7	10.1	7.3	78.9	57.2	57.2	42.8
325	45	316.8	4	2.9	82.9	60.1	60.1	39.9
400	38	316.2	2.6	1.9	85.5	62.0	62.0	38.0
500	25	308.5	4.7	3.4	90.2	65.4	65.4	34.6
-500			47.7	34.6	137.9	100.0	100.0	

Fuente: Elaboración propia por tamizado húmedo

Figura 1-7, Tabla de Distribución Granulométrica de muestra N°1.

➤ Muestra N°2

Las condiciones asociadas para esta muestra son:

- Muestra: 146,8 g.
- Intervalo: 10 seg.
- Amplitud: 1,2
- Tiempo: 6 min.

En la siguiente Figura 1-8 expone por medio de una tabla la distribución granulométrica de la muestra N°2

Malla N°	Abertura tamiz, um	(o pote aluminio), g	Tamiz + masa, g	Masa retenida, g	Masa retenida, %	Retenida acumulada, g	Retenida acumulada, %	Acumulado sobre, %	Acumulado pasante, %
40	425	359.7	367.1	7.4	5.0	7.4	5.0	5.0	95.0
50	300	344.5	355.9	11.4	7.8	18.8	12.8	12.8	87.2
70	212	340.6	354.2	13.6	9.3	32.4	22.1	22.1	77.9
100	150	323.9	338.1	14.2	9.7	46.6	31.7	31.7	68.3
140	106	322.8	336.3	13.5	9.2	60.1	40.9	40.9	59.1
200	75	316.7	328.9	12.2	8.3	72.3	49.3	49.3	50.7
270	53	4	13.9	9.9	6.7	82.2	56.0	56.0	44.0
325	45	4	8.3	4.3	2.9	86.5	58.9	58.9	41.1
400	38	4	8.1	4.1	2.8	90.6	61.7	61.7	38.3
500	25	4	10.4	6.4	4.4	97.0	66.1	66.1	33.9
-500				49.8	33.9	146.8	100.0	100.0	

Fuente: Elaboración propia a raíz de duplicado

Figura 1-8, Tabla de Distribución Granulométrica, muestra N°2.

➤ Muestra N°3

Las condiciones asociadas para esta muestra son:

- Muestra: 119,7 g.
- Intervalo: 10 seg.
- Amplitud: 1,2
- Tiempo: 6 min.

En la siguiente Figura 1-9 expone por medio de una tabla la distribución granulométrica de la muestra N°3

Malla N°	Abertura tamiz, um	(o pote aluminio), g	Tamiz + masa, g	Masa retenida, g	Masa retenida, %	Retenida acumulada, g	Retenida acumulada, %	Acumulado sobre, %	Acumulado pasante, %
40	425	359.7	363.6	3.9	3.3	3.9	3.3	3.3	96.7
50	300	344.2	351.8	7.6	6.3	11.5	9.6	9.6	90.4
70	212	340.3	350.4	10.1	8.4	21.6	18.0	18.0	82.0
100	150	323.6	333.7	10.1	8.4	31.7	26.5	26.5	73.5
140	106	322.7	337.2	14.5	12.1	46.2	38.6	38.6	61.4
200	75	316.7	326.9	10.2	8.5	56.4	47.1	47.1	52.9
270	53	4.2	12.2	8	6.7	64.4	53.8	53.8	46.2
325	45	4.3	7.4	3.1	2.6	67.5	56.4	56.4	43.6
400	38	4.2	8.1	3.9	3.3	71.4	59.6	59.6	40.4
500	25	4.1	9.8	5.7	4.8	77.1	64.4	64.4	35.6
-500				42.6	35.6	119.7	100.0	100.0	

Fuente: Elaboración propia a raíz de segundo duplicado

Figura 1-9, Tabla de Distribución Granulométrica, muestra N°3.

➤ Muestra N°4

Las condiciones asociadas para esta muestra son:

- Muestra: 119,7 g.
- Intervalo: 10 seg.
- Amplitud: 1,2
- Tiempo: 6 min.

En la siguiente Figura 1-10 expone por medio de una tabla la distribución granulométrica de la muestra N°4

Malla N°	Abertura tamiz, um	(o pote aluminio), g	Tamiz + masa, g	Masa retenida, g	Masa retenida, %	Retenida acumulada, g	Retenida acumulada, %	Acumulado sobre, %	Acumulado pasante, %
40	425	359.7	363.8	4.1	3.4	4.1	3.4	3.4	96.6
50	300	344.2	351.7	7.5	6.3	11.6	9.7	9.7	90.3
70	212	340.3	350.2	9.9	8.3	21.5	18.0	18.0	82.0
100	150	323.7	333.6	9.9	8.3	31.4	26.2	26.2	73.8
140	106	322.7	335.2	12.5	10.4	43.9	36.7	36.7	63.3
200	75	316.7	326.8	10.1	8.4	54.0	45.1	45.1	54.9
270	53	4	11.6	7.6	6.3	61.6	51.5	51.5	48.5
325	45	4	7.3	3.3	2.8	64.9	54.2	54.2	45.8
400	38	4	8	4	3.3	68.9	57.6	57.6	42.4
500	25	4	9.5	5.5	4.6	74.4	62.2	62.2	37.8
-500				45.3	37.8	119.7	100.0	100.0	

Fuente: Elaboración propia a raíz de tercer duplicado

Figura 1-10, Tabla de Distribución Granulométrica, muestra N°4.

1.1.1.4 Distribución Granulométrica Ponderada

Considerando el peso total y los pesos retenidos de las partículas en cada tamiz, se procede a realizar la curva granulométrica, con los valores de porcentaje retenido que cada diámetro ha obtenido. La curva granulométrica permite visualizar la tendencia homogénea o heterogénea, que tienen los tamaños de grano (diámetros) de las partículas.

Tras llevar las 4 curvas de distribución granulométrica en un solo gráfico, se aprecia donde se encuentra el p80, más específicamente:

- p80 muestra N°1: 231,32 µm.
- p80 muestra N°2: 231,67 µm.
- p80 muestra N°3: 197,63 µm.
- p80 muestra N°4: 196,71 µm.

Por lo tanto el p80 promedio es: 214.33 µm.

En base al p80 promedio obtenido y los datos de granulometría entregados por Minera Valle Aconcagua, se determinó que 214,33 µm está dentro del rango adecuado para empezar con el proceso de flotación del relave.

La siguiente Figura 1-11 expone el grafico de Distribución granulométrica para las 4 muestras.



Fuente: Elaboración propia en base a datos experimentales

Figura 1-11, Gráfico de Distribución granulométrica sobre Acumulado Pasante (%) v/s Abertura de Tamiz (μm).

1.1.2 Densidad real o Peso Específico del Mineral

El picnómetro es posible utilizarlo sólo con sólidos de granulometría fina. Antes de realizar las mediciones con el picnómetro se deberá verificar que se encuentre limpio y totalmente seco para esto se separará una masa determinada de mineral fino del lote de 100 g por cuarteos sucesivos para luego registrar las masas con una precisión de 0,0001 g luego se pesa el picnómetro vacío con tapa incluida (p_1) y pesa el picnómetro con tapa y mineral (p_2).

Tener mucho cuidado de no contaminar la balanza y con una pipeta extraer agua y agregar tratando de que escurra por las paredes del picnómetro hasta completar medio volumen del picnómetro. Golpear suavemente el picnómetro para eliminar burbujas de aire que puedan quedar dentro.

Se enrasa el picnómetro con agua hasta un nivel tal que al colocar la tapa del picnómetro el agua suba a través del capilar. Secar cuidadosamente el exterior del picnómetro con papel absorbente hasta dejarlo completamente limpio.

Se masa el picnómetro tapado incluyendo la muestra agregada en el punto al principio y el agua (p_3), vaciar la mezcla de agua y mineral del picnómetro así lavar y secar el picnómetro y con una pipeta extraer agua de una pizeta y enrasar el picnómetro.

Se afora el picnómetro dejando caer suavemente la tapa y secar el exterior del picnómetro con papel absorbente, hasta dejarlo completamente limpio. Masar el picnómetro tapado incluyendo la parafina agregada anteriormente (p_4) y así calcular el valor de densidad real para cada una de los duplicados (δ_1 : Densidad del agua).

Por último se calcula el promedio de las 2 duplicados para obtener el valor de densidad real por medio de la siguiente fórmula:

$$\delta_m = \frac{\delta_l (p_2 - p_1)}{(p_4 + p_2) - (p_1 + p_3)}$$

Ecuación 1-1, Densidad del mineral

La Siguiete Figura 1-12 nos muestra una tabla que contiene los datos para calcular mediante la ecuación 1-1 la densidad real del mineral.

		M1	M2	M3	M4	M5	
Masa picnómetro	g	26.862	26.853	26.552	26.552	26.552	
Masa picnómetro + mineral	g	41.852	38.075	28.712	31.341	30.309	
Masa picnómetro + mineral + agua	g	60.857	58.923	53.794	55.403	54.788	
Masa picnómetro + agua	g	52.013	52.013	52.424	52.424	52.424	
Densidad agua	ton/m3	1	1	1	1	1	
Densidad mineral	ton/m3	2.439	2.603	2.734	2.646	2.697	2.7
error	%		2.52%	2.41%	0.90%	1.02%	
Masa mineral	g	14.99	11.222	2.16	4.789	3.757	
Masa mineral + agua	g	33.995	32.07	27.242	28.851	28.236	
Masa agua	g	19.005	20.848	25.082	24.062	24.479	
Volumen picnómetro	m3	52.013	52.013	52.424	52.424	52.424	

Fuente: Elaboración propia en base a datos experimentales con picnómetro

Figura 1-12, Tabla de densidad real y duplicados.

Esto indica que la Densidad real o Peso Específico del Mineral es de 2,7 (Ton/m³)

1.1.3 Porcentaje de sólido y Densidad de Pulpa

1.1.3.1 Densidad de la pulpa

En todos los procesos metalúrgicos de tratamiento de minerales sulfurados por molienda-flotación, se requerirá moler hasta tamaños finos con la finalidad de liberar el metal de interés, para conseguir la máxima recuperación metalúrgica. Para poder mover este material, a través, de todos los procesos que componen una planta de beneficio, habitualmente secuenciales hacia adelante, pero también con recirculaciones, será necesario hacerlo como pulpa, es decir, una mezcla de mineral finamente molido y agua en proporciones variables. El control metalúrgico y operacional de la planta requiere

tener un estricto control sobre las toneladas de sólidos tratadas, agua utilizada para lograr el porcentaje de sólido requerido, volumen que ocupa la pulpa para determinar tiempos de residencia, flujo de pulpa, etc., en cada etapa de proceso.

1.1.3.2 Balanza de Marcy

El aparato quizás más utilizado para el control de las pulpas, por la facilidad de uso, costo y casi nulo mantenimiento, es la balanza Marcy o también llamada Balanza de Pulpas. A continuación, se tratará de dar la información siempre necesaria para el buen uso de este equipo de medición, así como también los cuidados y precauciones que se deben tomar en cuenta al momento de su utilización.

La siguiente Figura 1-13 muestra la balanza de Marcy, ocupada para medir el porcentaje de sólidos de la pulpa.



Fuente: Imágenes de Google

Figura 1-13, Balanza de Marcy.

Las escalas están cuidadosamente ajustadas desde la fábrica. No se debe remover la placa de cubierta en la parte de atrás para hacer ajustes. Las escalas están construidas para proveer una operación sin problemas y es para mediciones exactas si el mecanismo no ha sido alterado. Las escalas dependen de la densidad del mineral a tratar, por lo tanto una balanza de Marcy puede utilizar múltiples escalas.

Montaje: Permitir que siempre la balanza y su recipiente o tacho para la pulpa a medir cuelguen libremente de un anillo de soporte.

Calibración: Llenar el tacho hasta los orificios con 1.000 cc de agua limpia. Para asegurar la exacta cantidad de 1.000 cc, se hace rebasar el tacho con agua limpia, cuidando de mantener tapados los dos orificios laterales que el tacho tiene en la parte superior. Los orificios laterales están localizados como para retener exactamente 1.000 cc de agua, si los orificios están perfectamente limpios. Colgar el tacho lleno de agua en el gancho de la balanza y dejar que escurra el excedente de agua. Mover el tornillo de ajuste ubicado arriba del gancho de la balanza, hasta que la aguja de la escala de la carátula esté vertical y dando una lectura de 1.000 en el anillo exterior de la escala. De esta manera se considera que la balanza está calibrada y lista para su uso.

1.1.3.3 Determinación de la gravedad específica de la pulpa

Una vez homogenizado el relave mediante un agitador mecánico por 30 minutos, se procede a retirar una muestra que sea representativa del lote de relave que se tiene, para así obtener la gravedad específica de esta.

Con el recipiente lleno de relave colgado en la balanza, proceder a leer la gravedad específica de la pulpa en el anillo más exterior de la carátula de la balanza.

A continuación la figura 1-14 muestra a través de la balanza de Marcy la visualización de la gravedad específica de la pulpa



Fuente: Elaboración propia referente a experiencia en laboratorio

Figura 1-14, Visualización de la gravedad específica de la pulpa.

Se aprecia durante la determinación que marca $1,48 \text{ g/cm}^3$

1.1.3.4 Determinación del porcentaje de sólidos

Si se conoce la gravedad específica del mineral como sólido seco en la pulpa (es por este motivo que anteriormente se debe realizar la obtención de la densidad real o peso específico del mineral mediante picnómetro), se puede leer directamente el porcentaje de sólidos en la carátula de la balanza.

Para ello se debe seleccionar previamente la carátula correcta correspondiente a la gravedad específica de sólido seco del mineral cuya medición se está realizando, que en nuestro caso es aquella carátula la cual tenga entre sus densidades 2.7 g/cm^3 . Colgar el tacho lleno en la balanza. El porcentaje de sólidos en la pulpa se lee en el sentido del reloj a partir de los números de la gravedad específica en los anillos color rojo, amarillo y blanco de las carátulas de la balanza.

Una vez hecho esto se procede a tabular los datos obtenidos, los cuales fueron:

- % de Sólidos de 51
- Gravedad específica de la pulpa de $1,480 \text{ g/cm}^3$
- Volumen de pulpa supuesto de 1000 cm^3

Con esto se puede obtener los gramos de mineral contenidos en la pulpa, los cuales se obtienen multiplicando estos 3 parámetros:

$$0,51 \times 1,480 \times 1000 = 758 \text{ g.}$$

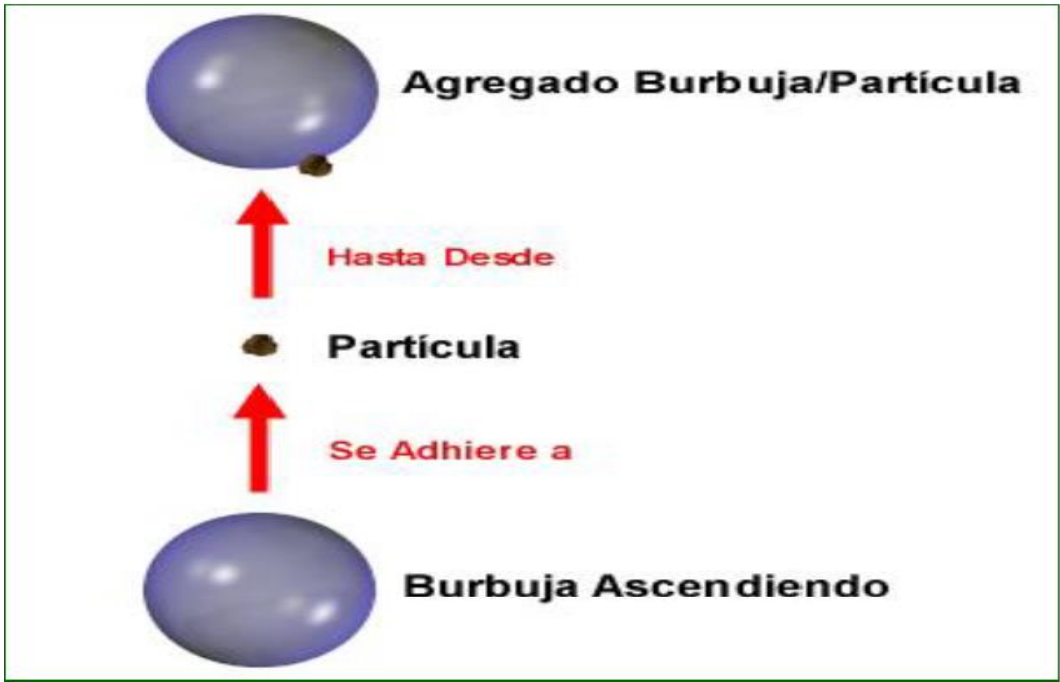
**CAPÍTULO 2: INFLUENCIA DE LOS REACTIVOS DURANTE EL PROCESO
DE FLOTACIÓN**

2 PROCESO DE FLOTACIÓN DE MINERALES DE INTERES

La flotación es una técnica de concentración que aprovecha la diferencia entre las propiedades superficiales o interfaciales del mineral útil y la ganga.

Se basa en la adhesión de algunos solidos de aire, las cuales trasportan solidos a la superficie de la celda de flotación, donde son recolectados y recuperados como concentrado. La fracción que no se adhiere a las burbujas permanece en la pulpa y constituyen a las colas o relaves

La siguiente Figura 2-1, muestra como la burbuja capta el mineral, llevándolo a la superficie.



Fuente: Reactivos de flotación, PDF entregado por docente.

Figura 2-1, adhesión burbuja-partícula.

Así, la condición de flotabilidad es una fuerte adhesión entre las partículas útiles y burbujas, que deben ser capaces de soportan la agitación y turbulencia de la celda.

2.0.1 Flotación continua o Batch

La mayor parte de las pruebas de laboratorios se desarrollan en celdas de flotación Batch, usualmente con muestras de entre 0,5 a 2 kg de mineral.

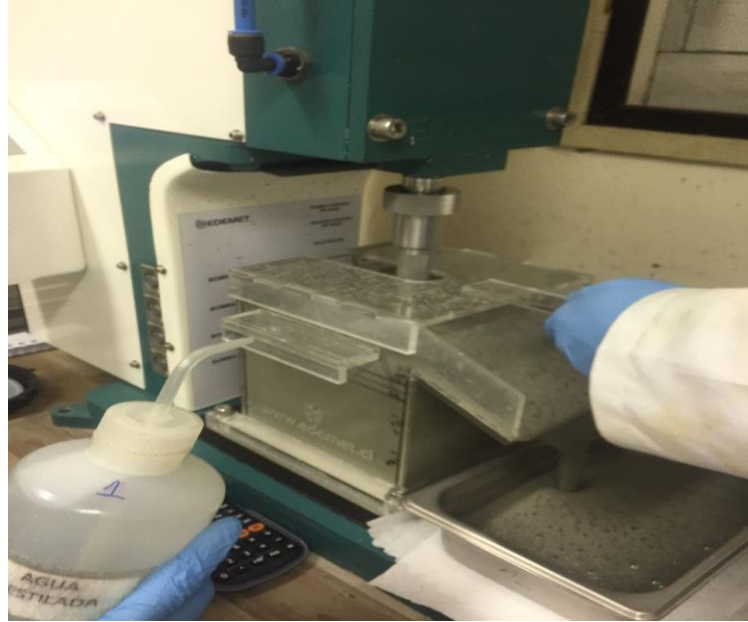
Estas pruebas son comúnmente conocidas como pruebas de ciclo, pudiendo hacerse en un circuito abierto y más frecuentemente en circuito cerrado. Estas incluye una etapa de Rougher con o sin Scavenger, y dos o tres etapas Cleaner, con o sin remolienda del concentrado Rougher y recirculación de las colas de limpieza de las etapas precedentes respectivamente [6].

Para este trabajo se utiliza una celda Edemet, esta dispone de la tecnología para operar de forma continua y estable. Son celdas de flotación de laboratorio organizadas en circuitos flexibles, pudiendo armar diferentes diagramas de flujos. Este equipamiento, permite evaluar el proceso en continuo a escala de laboratorio, permitiendo obtener resultados más rápidos y metalúrgicamente más confiables [7].

➤ Características de la celda Edemet:

- Motor trifásico de 0,37 kW
- Variador de frecuencia con entrada monofásica 220 V
- Control preciso y estable de velocidad entre 600 y 1600 RPM
- Tiempo de flotación programable en un único panel
- Despliegue digital de 4 líneas (parámetros de ajuste y variables instantánea)
- Celdas acrílicas intercambiables con impulsores en capacidades de 1,5 – 2,7 y 5 litros.

La siguiente Figura 2-2, nos muestra la celda Edemet en funcionamiento



Fuente: Elaboración propia después de llevar a cabo la flotación

Figura 2-2, Celda Edemet, en laboratorio hidrometalurgico UTFSM Casa Central.

2.1 VARIABLES OPERACIONALES DEL PROCESO

La flotación es un proceso de separación físico-químico complejo, esto debido a la gran cantidad de variables que puede poseer este proceso. Debido a esta gran cantidad de variables y a que no existe alguna norma que especifique como trabajar en la flotación de relave mediante un circuito continuo, es que se determinó fijar ciertas variables en base a condiciones requeridas para pruebas de laboratorio que son:

- Agitación intensa para mantener las partículas en suspensión
- Tiempo de acondicionamiento de 1-5 min, con agitación, con reactivos en la pulpa y con/sin aire.
- Patrón de remoción de espuma estandarizado, a intervalos predefinidos, para garantizar reproducibilidad de los resultados
- El agua a emplear debe ser la que será utilizada industrialmente
- Se debe controlar el pH y medir la temperatura a la que se realizan las pruebas
- EL tiempo de flotación de 3-15 min, debe ser determinado por pruebas cinéticas
- Control del nivel de pulpa, agregando agua de reposición a igual pH y concentración de espumante que la celda

2.1.1 Procedimiento experimental

Se tiene un relave proveniente de Ovejería, que es donde se envían los residuos de la División Andina, Codelco. Este tiene un 51% de sólidos y una densidad de pulpa de 1,48 [g/cm³], el cual no puede ser flotado directamente y debe ser diluido.

Es por esto que a partir de contenedores con un volumen de 5000 [cc], con muestras homogéneas en su interior, se separa alrededor de 2000 [g] de pulpa a los que se les agrega cierta cantidad de agua, hasta alcanzar un 30% de sólidos, se configura la celda Edemet del Laboratorio de Flotación, bajo los siguientes parámetros:

- Tiempo de flotación: 12 minutos
- pH: 9
- Velocidad de agitación en acondicionamiento: 700 RPM
- Tiempo de acondicionamiento: 6 minutos
- Velocidad de agitación en flotación: 800 RPM
- Flujo de aire: 15 LPM
- Tiempo de paleteo: 10 segundos

2.1.2 Tiempo de flotación

Es el tiempo que la pulpa debe permanecer en las máquinas de flotación, para que el concentrado producido sea de buena calidad y su recuperación óptima. El tiempo de flotación depende de las características del material que se va a flotar, y de la conjugación de todos los demás factores que inciden en el proceso.

Con el tiempo de flotación bajo, se reduce la recuperación del mineral valioso, a mayor tiempo de flotación se diluye innecesariamente los concentrados.

Es por ello que se fijó un tiempo de flotación de 12 min, con intervalos de tiempos de 1, 3, 5, 8 y 12 [min] correspondientes. Cabe destacar, que durante el tiempo de flotación, se agregó agua continuamente para mantener el nivel de pulpa/espuma constante.

2.1.3 Tiempo de acondicionamiento

El acondicionamiento es clave durante el proceso de flotación ya que proporciona el tiempo necesario para que actúen en forma eficiente los reactivos de flotación.

Algunos colectores y modificadores de pH presentan cinética de adsorción en los minerales bastante lenta por lo cual deben incorporarse al molino, mientras que otros reactivos se incorporan directamente al estanque acondicionador de la pulpa.

Es debido a esto que se utiliza un tiempo de acondicionamiento de 6 minutos.

2.1.4 pH

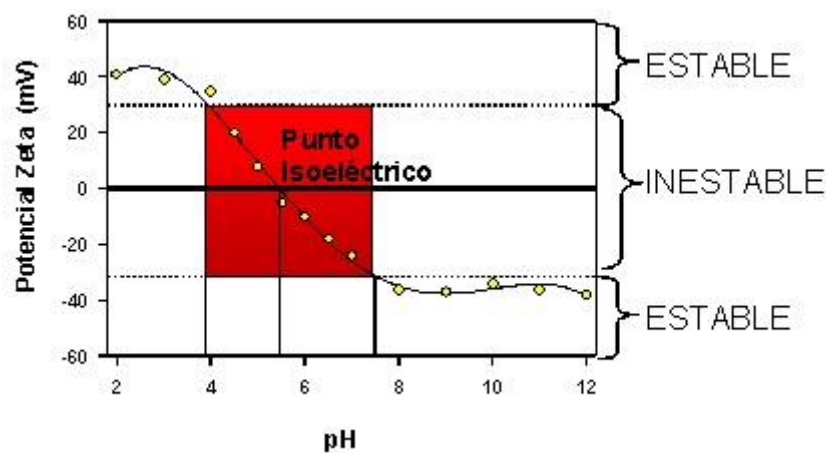
El pH afecta significativamente la selectividad del proceso de flotación, ya que modificando el pH de la pulpa se puede modificar igualmente el potencial Zeta.

El Potencial Zeta es un parámetro importante dentro del pH ya que controla la interacción de las partículas en suspensión. Este potencial es determinado por la naturaleza de la superficie de la partícula y el medio de dispersión

Una regla importante sobre esta, es que si se desea que exista repulsión entre las partículas, se debe asegurar de que el valor de potencial zeta sea mayor a +30 mV o menor a -30 mV.

La figura 2-3 muestra la zona en donde es más estable trabajar con su respectivo pH, esto es en pH menor a 4 y pH mayor a 7.5. Además se aprecia la zona donde es inestable que es en el intervalo de pH mayor a 4 y menor a 7.5.

Por último se identifica el punto isoeléctrico donde el potencial Zeta se hace cero.



Fuente: quiminet.com.

Figura 2-3, Grafica entre Potencial Zeta, pH y su estabilidad

Se prefiere trabajar en medio alcalino, esto es porque en la mayoría de los casos, los colectores son estables y los equipos sufren menos daños por la corrosión.

Es por eso que se opta por dejar constante este factor, estabilizando el pH a 9 mediante la adición de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (cal).

2.1.5 Velocidad de agitación en acondicionamiento

La agitación de la pulpa permite la formación de las espumas de aire para la flotación, también sirve para conseguir la mezcla uniforme de los reactivos con los elementos que constituyen el mineral de la pulpa, dentro de la celda. Además, la agitación evita el asentamiento de los sólidos contenidos en la pulpa, manteniéndolos en suspensión.

Si la velocidad de la agitación es muy baja, las partículas tendrán una baja agitación y tenderán a asentarse. Por el contrario, si la velocidad del agitador es muy alta, la turbulencia en la celda será suficientemente alta, para romper el enlace entre la partícula sólida y la burbuja de aire.

Es por ello que se utiliza una velocidad de agitación en el acondicionamiento de 700 RPM

2.1.6 Velocidad de agitación en flotación

Se fijó una velocidad de agitación para la flotación de 800 RPM.

La variación de velocidad de agitación en el acondicionamiento y en la flotación, se debe principalmente, a que en la flotación se requiere mayor contacto entre la partícula sólida y la burbuja de aire.

2.1.7 Flujo de aire

Esta variable permite el control del proceso de flotación por su influencia en la recuperación del mineral flotado. Generalmente en el proceso de flotación, la recuperación del mineral flotado, aumenta con el aumento del flujo de aire hasta un valor máximo, esto se debe al incremento del área superficial de las burbujas introducidas en el equipo de flotación

No obstante, el aumento excesivo del flujo de aire perjudica el proceso de flotación ya que al incrementar el flujo, incrementa la turbulencia, el arrastre y se produce la pérdida de la interface

Las limitaciones de la velocidad superficial máxima de aire están dadas por:

- Pérdida de interfase: esto ocurre cuando se aumenta la velocidad superficial de aire y la fracción volumétrica de aire contenida en la zona

de colección (hold-up), aumentando en la pulpa y disminuyendo en la espuma hasta alcanzar valores iguales de hold-up en ambas zonas, observándose la presencia de espuma en toda la columna y consecuencia de esto, la pérdida de la interfase.

- Aumento en el tamaño de burbujas: Al incrementar la velocidad superficial de aire el tamaño de la burbuja aumenta, produciéndose la reducción de la eficiencia en la colección de partículas, en especial de aquellas con tamaño más fino.
- Insuficiencia del burbujeador: El objetivo del sistema de aireación es proveer una determinada cantidad de aire a la operación. En función de esto no es posible trabajar con valores superiores de velocidad superficial de aire a los valores especificados en el diseño del proyecto.

2.1.8 Tiempo de paleteo

En el proceso de flotación el paleteo siempre debe estar ligado a un tiempo determinado y continuo. Este puede ser manual o mecanizado, y su función principal es arrastrar el concentrado del mineral de interés, en este caso Cu y Mo, de forma sistemática, hacia un recipiente en donde se pueda contener este concentrado.

Es muy importante que si el paleteo es de forma manual el operador tenga una buena técnica de paleteo, ya que de este depende si se obtiene una buena recuperación del mineral de interés.

El paleteo durante el proceso de flotación se fija en intervalos de 10 segundos, cada 10 segundos transcurridos se procede a realizar un paleteo mientras se lleva a cabo la flotación, este proceso se ejecuta en tiempos de muestreo definidos, los cuales son:

- Muestreo N°1 al minuto 1
- Muestreo N°2 al minuto 3
- Muestreo N°3 al minuto 5
- Muestreo N°3 al minuto 8
- Muestreo N°3 al minuto 12

2.2 INFLUENCIA DE LOS REACTIVOS

2.2.1 Espumante

Durante el proceso de flotación es necesario incorporar burbujas de aire para que estas colisionen con las partículas de mineral, permitiendo su adhesión y que dentro de los equipos se produzca espontáneamente la coalescencia de las burbujas, produciendo que crezcan, es por esto que el espumante (pueden ser sino colectores con propiedades espumantes, algunos de estos son los ácidos grasos, aminos y sulfonatos) modifica las propiedades superficiales de la burbuja reduciendo la coalescencia.

La Adición de sustancias activas como alcoholes superiores, permiten la formación de una espuma estable. La estabilidad de esta dependerá de la interacción del espumante con el agua en la zona de interfase líquido-gas [8].

Los diámetros de burbujas medidas en las pulpas presentan un rango de 0,1-1,0 [mm].

Algunos de los requerimientos de un espumante son:

- Una pequeña cantidad debería producir una consistente espuma con un volumen y dureza suficiente para separar los minerales flotados de la pulpa.
- La textura debe permitir el drenaje de la ganga desde la espuma.
- El espumante debe ser insensible a cambios de pH y a sales disueltas en la pulpa.
- La espuma debería romperse rápidamente, después que deja la celda.
- Si el espumante tiene propiedades colectoras, debe ser selectivo para los minerales flotados.
- Debe ser en estado líquido, barato y estable.

La elección de un espumante depende de algunos parámetros fundamentales durante la flotación, estos son:

- Tipo y aireación de la celda
- Tipo de mineral a tratar
- Distribución granulométrica
- La presencia de lamas que afecta negativamente la selectividad
- Los colectores y condicionadores usados
- La calidad del agua
- pH de la pulpa de flotación
- Naturaleza del proceso de flotación, si es selectivo o colectivo.

La siguiente figura 2-4 muestra la estructura molecular de un espumante, estos están constituidos por una “cabeza” que se orienta hacia la fase líquida y una “cola” de hidrocarburos que se orienta hacia la fase gaseosa.



Fuente: Libro Flotación de Minerales, autor Yianatos

Figura 2-4 Adhesión de espumante a la superficie de la burbuja de aire

Es por este motivo que seleccionamos el espumante OREPREP F501 ya que generalmente proporciona una cinética más rápida y un menor consumo en circuitos de flotación de sulfuros metálicos que otros espumantes, además la serie F501 se caracteriza por una flotación más rápida de minerales en el primer banco en circuitos de flotación convencional Rougher y ha sido acreditado con una recuperación cada vez mayor si los operadores van removiendo la espuma cargada de mineral.

Algunas de sus características son:

- Uso principal en flotación convencional, por columnas y acelerador en partículas finas.
- Fuerza relativa del espumante en partículas es baja.

2.2.1.1 Aceite de Pino

El aceite de pino $C_{10}H_{17}OH$ produce una espuma quebradiza que se rompe rápidamente al salir de la celda de flotación. Cantidades excesivas de espumante reducen la espuma, se recomienda para flotar partículas gruesas.

2.2.1.2 Ácido Cresílico

El Ácido Cresílico o Cresoles $CH_3C_6H_4OH$ es similar al aceite de pino, pero entrega mayores tamaños de burbuja

2.2.1.3 Reactivos Alifáticos

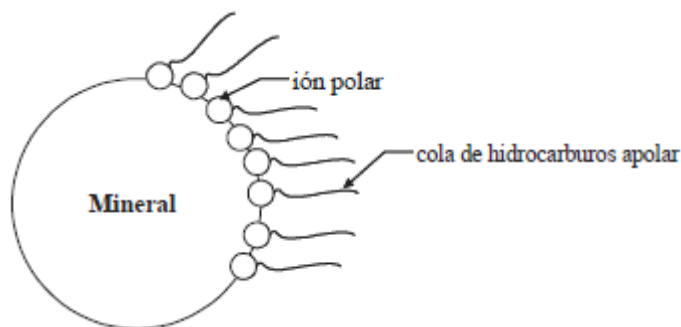
Producen tamaño de burbujas mayores y estructuras menos compactas. Es más fácil eliminar gangas En general con mezclas de alcoholes y sirven para casi todos los

procesos de flotación en los que se obtiene un concentrado. Entre los reactivos alifáticos encontramos el Metil Isobutil Carbonil $C_6H_{13}OH$ o más conocido como MIBC

2.2.2 Colector

Los Colectores son sustancias que hace a ciertos minerales repelentes al agua. En casi todos los casos los colectores son sustancias orgánicas, los minerales se vuelven hidrofóbicos por la adsorción de iones o moléculas de colector en la superficie.

A continuación la Figura 2-5 nos muestra la estructura molecular de un colector, que al igual que el colector está constituido por una parte polar, la cual está orientada hacia el mineral y por una parte apolar constituida por una cadena de hidrocarburos, que está orientada hacia la fase acuosa, dando el carácter hidrófobo al mineral [9].



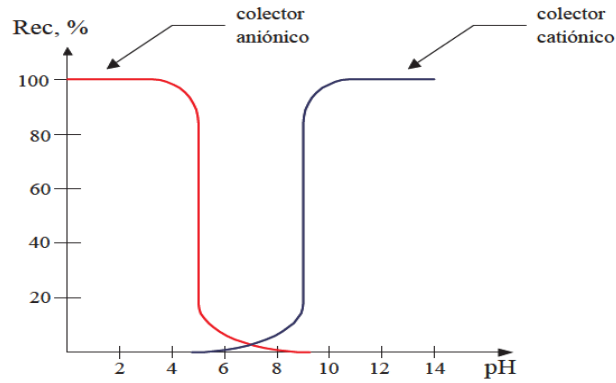
Fuente: Libro Flotación de Minerales, autor Yianatos

Figura 2-5: Adhesión del colector a la superficie del mineral

Los colectores se pueden clasificar de acuerdo a su habilidad para disociarse en iones en una solución acuosa, y también de la forma en que se orienta la carga del ión hacia la superficie del sólido.

El tipo de colector a utilizar en la flotación depende del pH de trabajo en los equipos y del potencial zeta.

La Figura 2-6 muestra el comportamiento del potencial zeta con la variación de pH.



Fuente: Libro Flotación de Minerales, autor Yianatos

Figura 2-6 Zona de trabajo de colectores

2.2.2.1 Colectores Iónicos

Contienen un grupo funcional hidrofílico unido a una cadena de hidrocarburos. Si al disociarse un colector en agua, su parte principal es un anión o un catión, se distinguen dos grupos de colectores: Colectores Aniónicos y Colectores Catiónicos.

2.2.2.1.1 Aniónicos

Se caracterizan porque su parte polar posee una carga negativa la cual se absorbe a una superficie con carga positiva.

Estos colectores se disocian de modo que sus radicales junto con el grupo polar constituyen un anión (-), dejando en la solución un catión que puede ser sodio (Na^+), potasio (K^+), calcio (Ca^+) o el mismo hidrogeno.

Los colectores Aniónicos se clasifican en:

1. Sulfhídricos

Los colectores sulfhídricos o tioles son los reactivos que más se usan en la industria del procesamiento de minerales, por ser más efectivos para la flotación de minerales de metales pesados o ferrosos, principalmente los sulfuros.

Se caracterizan porque en su grupo solidofílico contiene al sulfuro bivalente y los más ampliamente usados de estos colectores Aniónicos son los xanatogenatos, técnicamente conocidos como xanatos y los ditiofosfatos conocidos también como Aerofloats.

Los difosfatos o aerofloats son ésteres secundarios del ácido ditiofosfórico y se preparan haciendo reaccionar pentasulfuro de fósforo y alcoholes. Se caracterizan por ser más selectivos que los xanatos y se usan principalmente para la flotación de sulfuros de Cu, Pb y Zn.

2. Oxhídricos

Son carboxílicos compuestos de ácidos grasos, sales y jabones. Se caracterizan por tener fuertes propiedades colectoras, ser poco selectivos, lo que impide una eficiente separación de los sulfuros de sus gangas. Normalmente se usan en la flotación de minerales oxidados, sales y no metálicos, por ejemplo en la flotación de minerales de manganeso y hierro y en la flotación de la malaquita.

2.2.2.2 Catiónicos

Se caracterizan porque su parte polar posee una carga positiva, la cual se adsorbe en una superficie con carga negativa. Entre los colectores más conocidos se tiene las aminas y sales cuaternarias de amonio. Las aminas son derivados del amonio, cuyos hidrógenos están remplazados por radicales.

Estos colectores son menos selectivos que los Aniónicos y rara vez quedan absorbidos de manera absolutamente específica en un mineral determinado. Por ello, es necesario potenciar su selectividad, mediante reactivos reguladores (activadores, depresantes), variando el pH o dosificando correctamente.

2.2.2.2 Colectores No Iónicos

No poseen grupos polares. Hidrocarburos saturados o no saturados. Toman al mineral repelente al agua, al cubrir su superficie con una fina película.

Fuertemente hidrófobos, se utilizan en flotación de minerales pronunciadamente hidrofóbicos, tales como carbón, grafito, azufre y en especial, molibdenita.

En este caso se fijó ocupar el colector AERO 6697, básicamente porque actúa de mejor forma para los pH alcalinos que ácidos, su rango de pH varía de 4 -12. Esto se debe a que el colector es de tipo sulfhídrico, específicamente de la familia de los ditiofosfatos, estas son sales solubles en agua que exhiben un amplio rango de propiedades con respecto a la selectividad y carácter espumante, también son efectivos

en circuitos de flotación alcalina y son más selectivos que los xanatos en la captura de los sulfuros de Cu.

CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN DE REACTIVOS

3. **PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DE REACTIVOS**

En esta etapa final del procedimiento se realizaron 7 flotaciones a distintas dosificaciones de reactivos, en este caso colector y espumantes. Una vez ya secados los concentrados de cada una de las flotación en cada uno de los tiempos, se procedió a retirar el mineral de las bandejas, se homogeniza y se toma una muestra para posteriormente analizar por medio de fluorescencia de rayos X.

Cabe destacar que se cuenta con todos los implementos de seguridad, equipos y materiales (incluyendo relave y reactivos) para realizar los experimentos deseados para la flotación directa.

A continuación en la Tabla 3-1 se presentan las 7 flotaciones realizadas bajo distintas dosificaciones tanto de colector como de espumante.

N° de flotaciones	Colector[g/ton min]	Espumante [uL/L Pulpa]
Flotación 1	20	12
Flotación 2	40	12
Flotación 3	20	24
Flotación 4	-	12
Flotación 5	20	-
Flotación 6	-	24
Flotación 7	-	-

Fuente: Elaboración propia en base a datos experimentales

Tabla 3-1, Dosificaciones de colector y espumante para cada una de la flotaciones.

3.1 **Resultados Obtenidos**

Una vez ya listos los resultados de las muestras mandadas a fluorescencias rayos X, se procedió a evaluar cada uno de los datos obtenidos por medio de la recuperación de cobre y molibdeno.

La recuperación es un índice de evaluación del proceso de flotación. Se refiere a la eficiencia o rendimiento del tratamiento de extracción que se esté utilizando, y se

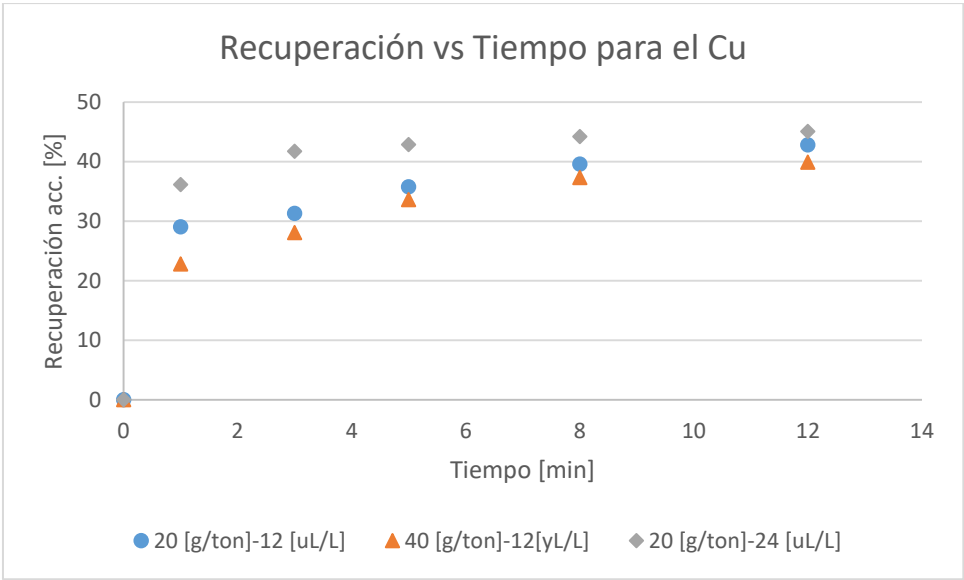
expresa en porcentaje. Este parámetro depende de cuánto del elemento valioso que ingresa al tratamiento, pasa al concentrado final. Cuanta mayor cantidad del elemento que se quiere extraer, pasa al concentrado, mayor será la recuperación.

Finalmente se procedió a evaluar los reactivos bajo 3 condiciones distintas:

- 1. Efecto de la adicción colector y espumante
- 2. Efecto de la adicción de solo espumante
- 3. Efecto de la adicción de solo colector

3.1.1 Efecto de colector y espumante

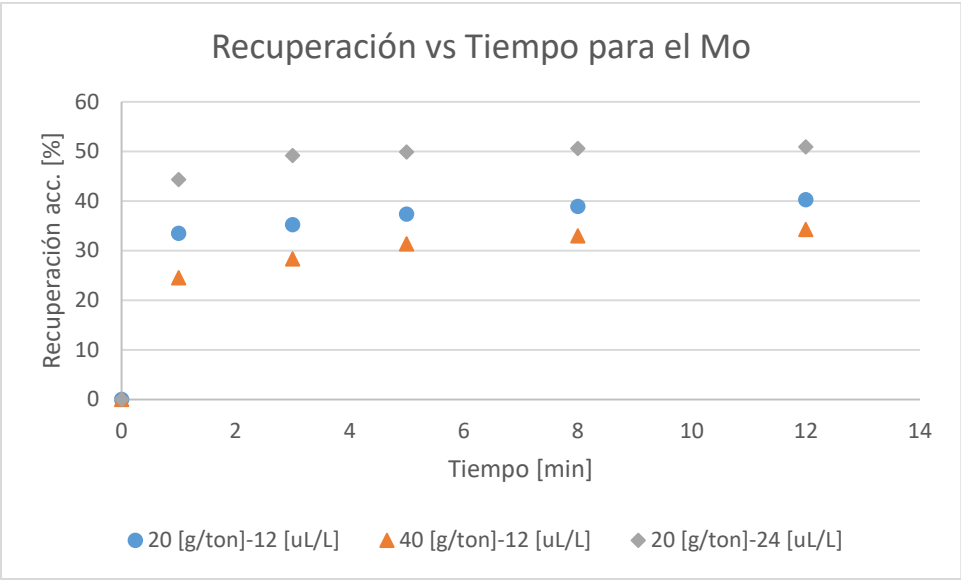
A continuación la figura 3-1 presenta los resultados obtenidos para evaluar el efecto del espumante y colector para el cobre:



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3-1: Gráfico de recuperación vs tiempo para el cobre, 1º condición.

A continuación la figura 3-2 presenta los resultados obtenidos para evaluar el efecto del espumante y colector para el Molibdeno:



Fuente: Elaboración Propia

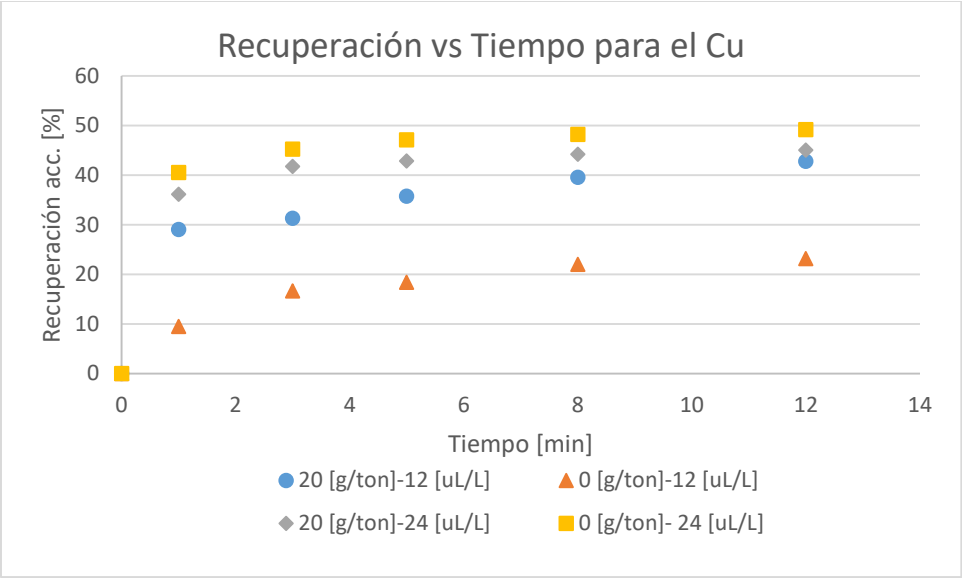
Figura 3-2: Gráfico de recuperación vs tiempo para el Molibdeno, 1° condición.

Al evaluar la Figura 3-1, Figura 3-2, se puede realizar una comparación en cuanto al efecto del colector, dejando fija la dosificación de espumante, esto para las dosificaciones de 20 [g/ton]-12[uL/L] con 40 [g/ton]-12[uL/L], y una comparación en cuanto al efecto del espumante, dejando fija la dosificación del colector, esto corre para las dosificaciones de 20 [g/ton]-12[uL/L] con 20 [g/ton]-24[uL/L].

En base a esto, se observa que una adición de 20 [g/ton] de colector genera una mayor recuperación de cobre y molibdeno en el tiempo, al igual que la adicción de 24[uL/L]. Pero la elección de la mejor condición debe estar ligada a una buena recuperación y una buena ley de concentrado, por lo que se determina que la mejor condición para la flotación de relave de Codelco Andina es 20 [g/ton]-12[uL/L]. Esto ya que la recuperación de cobre fue de un 43% y la recuperación de Molibdeno fue de un 40% aproximadamente, con una ley de concentrado de 0,01% y 0,012% respectivamente, presentes en la Tabla 3-2.

3.1.2 Efecto de la adicción de sólo Espumante

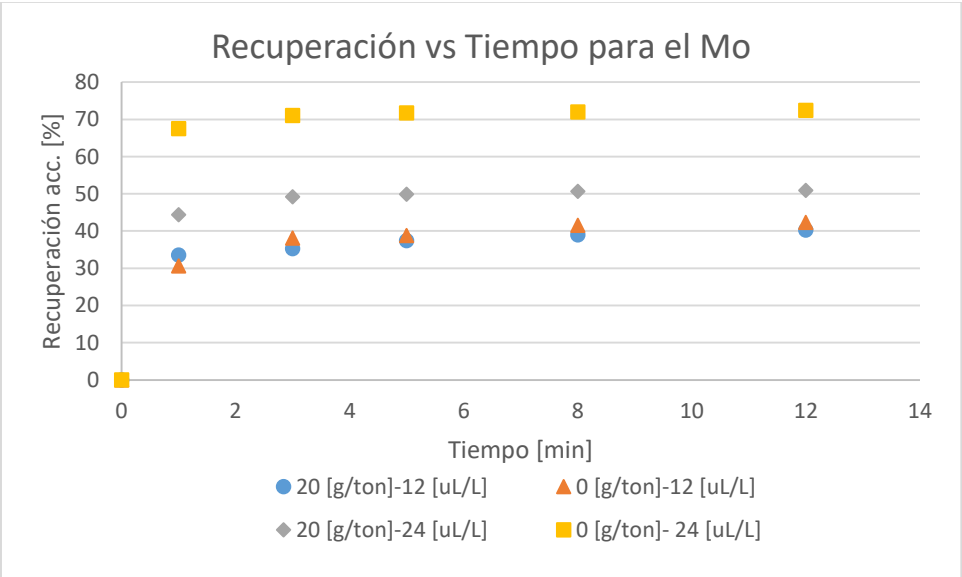
A continuación, la figura 3-3 presenta los resultados obtenidos para evaluar el efecto de sólo Espumante para el Cobre:



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3-3: Gráfico de recuperación vs tiempo para el cobre

A continuación, la figura 3-4 presenta los resultados obtenidos para evaluar el efecto de solo Espumante para el Molibdeno:



Fuente: Elaboración Propia

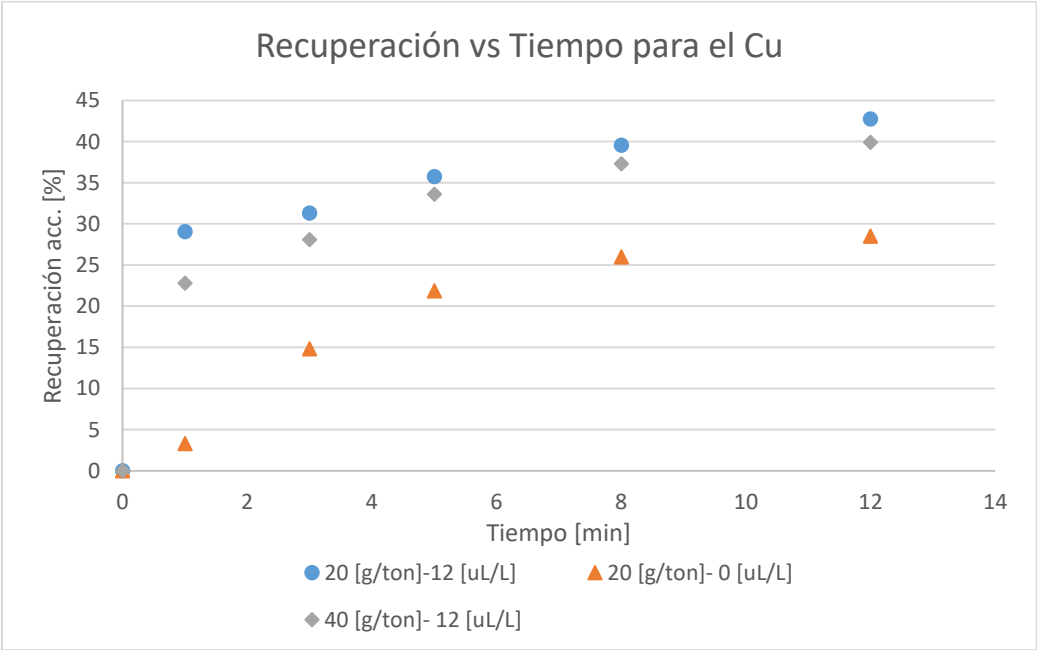
Figura 3-4: Gráfico de recuperación vs tiempo para el Molibdeno

Al evaluar la Figura 3-3 y Figura 3-4, se puede realizar una comparación en cuanto al efecto del espumante, dejando en 0 la dosificación del colector.

En base a esto, se determina que la adición de 24 [uL/L] de espumante y 0 [g/ton] de colector produce una mayor recuperación de Cobre y Molibdeno, en comparación a cuando si se dosifica colector. Además, el relave solo por el hecho de ser relave, proveniente de flotación, probablemente ya viene con una dosificación de reactivos, tanto de espumantes como de colector, por lo posiblemente esto beneficio a la flotación de las especies de interés adicionando sólo espumante.

3.1.3 Efecto de la adición de sólo Colector

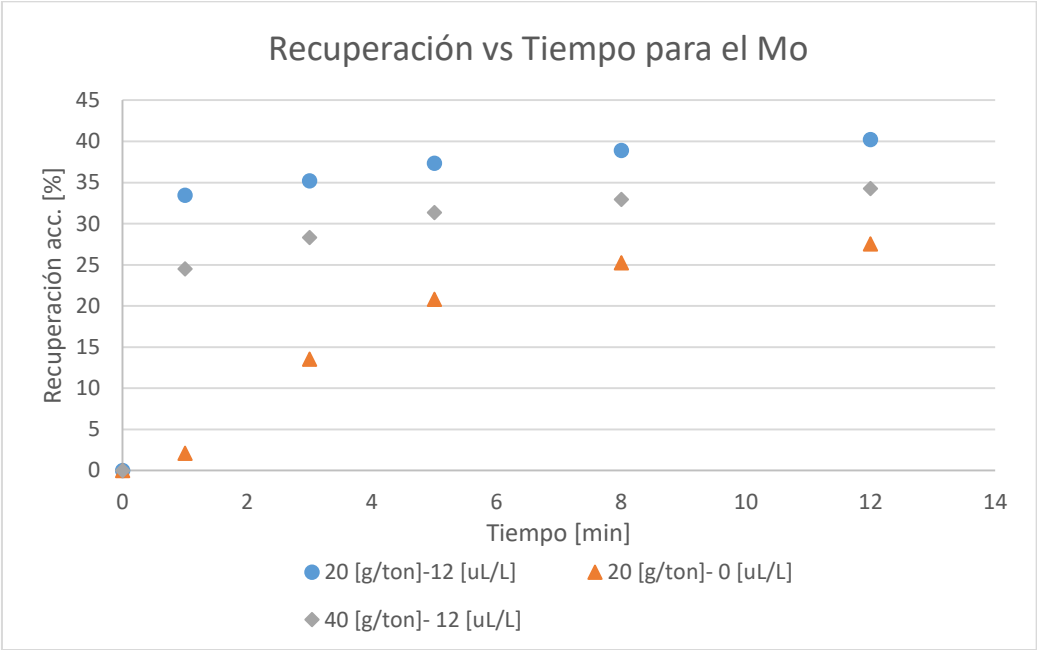
A continuación la figura 3-5 presenta los resultados obtenidos para analizar el efecto de solo el colector para el Cobre:



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3-5: Gráfico de recuperación vs tiempo para el cobre

A continuación la figura 3-6 presenta los resultados obtenidos para analizar el efecto de sólo el colector para el Molibdeno:



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3-6: Gráfico de recuperación vs tiempo para el Molibdeno

Evaluando las Figuras 3-5 y Figura 3-6, se aprecia que para la dosificación de 20 [g/ton] de colector y 0 [uL/L] de espumante, la recuperación es menor en comparación con las otras 2 dosificaciones en donde se adiciona colector y espumante. Esto puede deberse a varios factores, uno de ellos es que debido a que se está tratando un relave, este ya viene con reactivos de procesos anteriores, lo que puede implicar una adición excesiva de colector lo que significa un aumento en la recuperación de otras especies como pirita.

Cabe destacar que la ley de cobre igualmente es elevada en comparación al resto de las flotaciones realizadas (0,41%), pero se descarta usar esta condición debido a la baja recuperación obtenida, tal como se aprecia en la Tabla 3-2.

3.1.4 Flotación sin Reactivos

Como ya se mencionó varias veces anteriormente, por el hecho de ser un relave proveniente del proceso de Flotación de Andina, posee reactivos selectivos en cobre, es por esta razón que se analizó la posibilidad de flotar sin agregar reactivos, es decir 0 [g/ton] de colector y 0 [uL/L] de espumante en donde se determinó que no es posible, debido que no se produjo ninguna flotación.

Esto posiblemente a la falta de hidrofobicidad de las partículas de Cu, Mo o a la falta de resistencia de las burbujas.

La siguiente Tabla 3-2 muestra los resultados finales de ley en concentrado y recuperación acumulada de cobre y molibdeno.

Flotación	Ley % en Concentrado		Recuperación Acc %	
	Cu	Mo	Co	Mo
1	0,10	0.012	42,8	40,2
2	0.11	0.012	39.9	34.3
3	0,08	0,010	45,05	50,9
4	0,09	0,11	22,3	37,0
5	0,13	0,03	23,2	12,3
6	0,41	0,049	28,5	27,6
7	0,10	0,018	49,2	72,4

Fuente: Elaboración propia en base a datos experimentales

Tabla 3-2, Resultados de ley en el concentrado y Recuperación Acumulada de cada una de las especies de interés, para las 7 flotaciones realizadas.

A modo global, según los resultados presentados anteriormente, eligiendo cada una de las condiciones para cada una de la secciones de la evaluación, se determina que la mejor condición para flotar este relave proveniente de Codelco Andina es la dosificación de 24 [uL/L] de Espumante y 0 [g/ton] de Colector.

Como se aprecia en la Tabla 3-8, para la condición seleccionada se obtienen buenas leyes de Cobre y Molibdenos, y unas excelentes recuperaciones para las mismas especies, 49,2 % para el Cobre y 72,4% para el Molibdeno

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Actualmente existen grandes cantidades de relaves mineros provenientes de los procesos de flotación cuyo destino es la disposición en un tranque o botadero. Esto abre la posibilidad de comenzar a tratar este recurso que posee material valioso, teniendo varias posibilidades de tratamiento. En base a esta problemática es que se desarrolló este trabajo de título, que consiste en la flotación de relave con la finalidad de darle una utilidad a este recurso que se está desperdiciando y a la vez contaminando.

De acuerdo a esto, se determinó que, si es posible recuperar parte del material valioso presente en los relaves, tales como cobre y molibdeno, a través, de la flotación.

Junto con ello se logró caracterizar el relave por medio de un análisis granulométrico, densidad del mineral y densidad de pulpa, en donde nos arrojó que el tamaño de partícula promedio del relave es de 214 micrómetros, este es un rango aceptable que nos permite una buena flotabilidad del relave. También se obtuvo una densidad de mineral de 2.7 [ton/m³] el cual nos permitió finalmente calcular a través del método balanza de Marcy la gravedad específica de la pulpa, que es de 1,48 [g/cm³] y el (%) de sólido que posee esta pulpa, el cual es de un 51 (%) sólidos.

Continuamente en el proceso de flotación de este relave, se logró establecer ciertos parámetros operacionales de flotación, en base a condiciones requeridas para pruebas de laboratorio y también se vio la influencia del colector y espumante en el relave, el cual nos mostró que el tipo de colector y espumante a ocupar, va a depender principalmente del tipo de mineral que se quiere recuperar, en este caso sulfuros cobre, y el pH alcalino o ácido que presente el medio.

Finalmente mediante el procedimiento de evaluación de reactivos, en donde se evaluó el efecto de colector y espumante a distintas dosificaciones con 3 diferentes condiciones, por medio de la recuperación de cobre y molibdeno, se determinó que la condición que sólo presentaba la adicción de espumante, fue la que obtuvo una mayor recuperación, es decir, no se agrega colector, lo que implica un alto ahorro en reactivos haciendo muchos más atractivo el proceso.

Recomendaciones

A partir de las conclusiones obtenidas se puede desprender varias recomendaciones para los estudios posteriores respecto a este tema.

- Caracterizar el relave mediante mineralogía y composición químicas para dar mucho más información sobre el relave que se está tratando y así lograr un plan de desarrollo más eficaz.
- Mejorar la eficiencia del proceso al realizar un sorting por medio de una separación magnética, es decir, una pre-concentración física en la beneficiación de minerales, donde una fracción de partículas de alta ley puede ser separada del mineral a tratar y así tener un descarte temprano de las partículas con bajo contenido de la especie valiosa.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Valdés, M. (2016). Roadmap Tecnológico 2015-1035 [Ebook] (p. 1). Santiago: Fundación CHile. Retrieved from http://www.chiletransforma.cl/wp-content/uploads/2017/08/FCh_Roadmap_mineria.pdf
- [2] Gobierno de Chile. (2018). Análisis del Catastro de Depósito de Relave en Chile y Guía de estructura de datos. [Ebook] (1st ed., p. 2). Santiago. Retrieved from http://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/05/An%C3%A1lisis-de-los-Dep%C3%B3sitos-de-Relaves-en-Chile_VF.pdf
- [3] Gobierno de Chile. (2018). Análisis del Catastro de Depósito de Relave en Chile y Guía de estructura de datos. [Ebook] (1st ed., p. 2). Santiago. Retrieved from http://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/05/An%C3%A1lisis-de-los-Dep%C3%B3sitos-de-Relaves-en-Chile_VF.pdf
- [4] División Andina, C. (2016). Relave, Tranque ovejería. Retrieved from http://www.codelcotransparente.cl/codelcotransparente/contenido/05_b_residuos_masivos_relave.html
- [5] Capstone , MINA COZAMIN. (2017). Incremento de Recuperación de Cobre y Plata usando Pre-Aireación (Cavitation) en Flotación con Columnas [Ebook] (1st ed., p. 1). Retrieved from [https://www.eriezflotation.com/pdfs/Reporte%20de%20Cavitador%20Eriez%20Articulo%20\(003\).pdf](https://www.eriezflotation.com/pdfs/Reporte%20de%20Cavitador%20Eriez%20Articulo%20(003).pdf)
- [6] Flotación continúa. (2018). Retrieved from <http://www.edemet.cl/index.php?pag=2&o=c&id=76>
- [7] Celda de Flotación de Laboratorio. (2017). Retrieved from <http://www.edemet.cl/index.php?pag=2&o=c&id=85>
- [8] Flotación de Minerales. (2005). [Ebook] (p. 4). Valparaíso. Retrieved from <https://ishareslide.net/document/flotacion-de-minerales-yianatos-pdf>
- [9] Flotación de Minerales. (2005). [Ebook] (p. 4). Valparaíso. Retrieved from <https://ishareslide.net/document/flotacion-de-minerales-yianatos-pdf>

ANEXOS

ANEXO A: FLOTACIÓN N°1 [20 (G/TON) COLECTOR -12 (ML/L) ESPUMANTE]

Cobre

	masa		Recuperacion Masica		Leyes			Finos		Recuperación	
Tiempo	Directa	Acc	directa	acumulada	Directa	Acc	Razon de enriquecimiento	Directa	Acc	Directa	Acc
0											0
1	100.43	100.43	11.83	11.83	0.072	0.07	2.45	0.07	0.07	29.04	29.04
3	1.43	101.87	0.17	12.00	0.394	0.08	13.38	0.01	0.08	2.26	31.29
5	2.23	104.10	0.26	12.27	0.498	0.09	16.91	0.01	0.09	4.45	35.75
8	2.03	106.13	0.24	12.51	0.466	0.09	15.82	0.01	0.10	3.79	39.54
12	2.53	108.67	0.30	12.80	0.317	0.10	10.78	0.01	0.11	3.22	42.75
Tails	740.00	848.67	87.20	100	0.019	0.03	0.66	0.14	0.25	57.25	100.00
Alimentación	848.67			ley	0.03			0.25			
Alimentacion Teo	917.03			ley medida	0.052						

Molibdeno

	masa		Recuperacion Masica		Leyes			Finos		Recuperación	
Tiempo	Directa	Acc	directa	acumulada	Directa	Acc	Razon de enriquecimiento	Directa	Acc	Directa	Acc
0											0
1	100.43	100.43	11.83	11.83	0.011	0.01	2.83	0.011	0.01	33.46	33.46
3	1.43	101.87	0.17	12.00	0.041	0.01	10.45	0.001	0.01	1.77	35.23
5	2.23	104.10	0.26	12.27	0.031	0.01	8.05	0.001	0.01	2.12	37.35
8	2.03	106.13	0.24	12.51	0.026	0.01	6.56	0.001	0.01	1.57	38.92
12	2.53	108.67	0.30	12.80	0.017	0.01	4.37	0.000	0.01	1.30	40.23
Tails	740.00	848.67	87.20	100	0.003	0.00	0.69	0.020	0.03	59.77	100.00
Alimentación	848.67			ley	0.004		SUMA	0.033			
Alimentacion Teo	917.03			ley medida	0.006		Fino medido	0.055			

ANEXO B: FLOTACIÓN N°2 [40 (G/TON) COLECTOR -12 (ML/L) ESPUMANTE]

Cobre

	masa		Recuperacion Masica		Leyes			Finos		Recuperación	
Tiempo	Directa	Acc	directa	acumulada	Directa	Acc	Razon de enriquecimiento	Directa	Acc	Directa	Acc
0											0
1	105	105.00	12.06	12.06	0.072	0.07	1.89	0.08	0.08	22.78	22.78
3	5	110.00	0.57	12.64	0.351	0.08	9.22	0.02	0.09	5.29	28.08
5	5	115.00	0.57	13.21	0.367	0.10	9.62	0.02	0.11	5.53	33.60
8	3.9	118.90	0.45	13.66	0.314	0.10	8.23	0.01	0.12	3.69	37.29
12	3.5	122.40	0.40	14.06	0.245	0.11	6.44	0.01	0.13	2.59	39.88
Tails	748.1	870.50	85.94	100	0.027	0.04	0.70	0.20	0.33	60.12	100.00
Alimentación	870.50			ley	0.038			0.33			
Alimentacion Teo	945.13			ley medida	0.052						

Molibdeno

	masa		Recuperacion Masica		Leyes			Finos		Recuperación	
Tiempo	Directa	Acc	directa	acumulada	Directa	Acc	Razon de enriquecimiento	Directa	Acc	Directa	Acc
0											0
1	105.00	105.00	12.06	12.06	0.010	0.01	2.03	0.010	0.01	24.53	24.53
3	5.00	110.00	0.57	12.64	0.032	0.01	6.61	0.002	0.01	3.79	28.33
5	5.00	115.00	0.57	13.21	0.025	0.01	5.28	0.001	0.01	3.04	31.36
8	3.90	118.90	0.45	13.66	0.017	0.01	3.55	0.001	0.01	1.59	32.95
12	3.50	122.40	0.40	14.06	0.016	0.01	3.27	0.001	0.01	1.31	34.27
Tails	748.10	870.50	85.94	100	0.004	0.00	0.76	0.027	0.04	65.73	100.00
Alimentación	870.50			ley	0.005		SUMA	0.042			
Alimentacion Teo	945.13			ley medida	0.006		Fino medido	0.057			

ANEXO C: FLOTACIÓN N°3 [20 (G/TON) COLECTOR -24 (ML/L) ESPUMANTE]

Cobre

	masa		Recuperacion Masica		Leyes			Finos		Recuperación	
Tiempo	Directa	Acc	directa	acumulada	Directa	Acc	Razon de enriquecimiento	Directa	Acc	Directa	Acc
0											0
1	150	150.00	17.45	17.45	0.072	0.07	2.07	0.11	0.11	36.11	36.11
3	12.6	162.60	1.47	18.91	0.133	0.08	3.82	0.02	0.12	5.60	41.72
5	1	163.60	0.12	19.03	0.338	0.08	9.72	0.00	0.13	1.13	42.85
8	1.1	164.70	0.13	19.16	0.366	0.08	10.52	0.00	0.13	1.35	44.19
12	0.7	165.40	0.08	19.24	0.368	0.08	10.58	0.00	0.13	0.86	45.05
Tails	694.3	859.70	80.76	100	0.024	0.03	0.68	0.16	0.30	54.95	100.00
Alimentación	859.70			ley	0.035			0.30			
Alimentacion Teo	924.9			ley medida	0.052						

Molibdeno

	masa		Recuperacion Masica		Leyes			Finos		Recuperación	
Tiempo	Directa	Acc	directa	acumulada	Directa	Acc	Razon de enriquecimiento	Directa	Acc	Directa	Acc
0											0
1	150.00	150.00	17.45	17.45	0.010	0.01	2.54	0.015	0.01	44.33	44.33
3	12.60	162.60	1.47	18.91	0.013	0.01	3.30	0.002	0.02	4.84	49.17
5	1.00	163.60	0.12	19.03	0.022	0.01	5.82	0.000	0.02	0.68	49.84
8	1.10	164.70	0.13	19.16	0.023	0.01	5.91	0.000	0.02	0.76	50.60
12	0.70	165.40	0.08	19.24	0.014	0.01	3.65	0.000	0.02	0.30	50.90
Tails	694.30	859.70	80.76	100	0.002	0.00	0.61	0.016	0.03	49.10	100.00
Alimentación	859.70			ley	0.004		SUMA	0.033			
Alimentacion Teo	924.9			ley medida	0.006		Fino medido	0.055			

ANEXO D: FLOTACIÓN N°4 [20 (G/TON) COLECTOR -12 (ML/L) ESPUMANTE]

Cobre

	masa		Recuperacion Masica		Leyes			Finos		Recuperación	
Tiempo	Directa	Acc	directa	acumulada	Directa	Acc	Razon de enriquecimiento	Directa	Acc	Directa	Acc
0											0
1	103.3	103.30	10.87	10.87	0.084	0.08	1.89	0.09	0.09	20.56	20.56
3	0.3	103.60	0.03	10.90	0.257	0.08	5.82	0.00	0.09	0.18	20.74
5	0.2	103.80	0.02	10.92	0.512	0.08	11.58	0.00	0.09	0.24	20.98
8	1.3	105.10	0.14	11.06	0.320	0.09	7.22	0.00	0.09	0.99	21.97
12	0.4	105.50	0.04	11.10	0.356	0.09	8.05	0.00	0.09	0.34	22.31
Tails	844.7	950.20	88.90	100	0.039	0.04	0.87	0.33	0.42	77.69	100.00
Alimentación	950.20			ley	0.04			0.42			
Alimentacion Teo	950.2			ley medida	0.052						

Molibdeno

	masa		Recuperacion Masica		Leyes			Finos		Recuperación	
Tiempo	Directa	Acc	directa	acumulada	Directa	Acc	Razon de enriquecimiento	Directa	Acc	Directa	Acc
0											0
1	103.3	103.30	10.87	10.87	0.011	0.01	3.24	0.011	0.01	35.25	35.25
3	0.3	103.60	0.03	10.90	0.044	0.01	13.48	0.000	0.01	0.43	35.68
5	0.2	103.80	0.02	10.92	0.019	0.01	5.67	0.000	0.01	0.12	35.80
8	1.3	105.10	0.14	11.06	0.023	0.01	6.99	0.000	0.01	0.96	36.75
12	0.4	105.50	0.04	11.10	0.015	0.01	4.46	0.000	0.01	0.19	36.94
Tails	844.7	950.20	88.90	100	0.002	0.00	0.71	0.020	0.03	63.06	100.00
Alimentación	950.20			ley	0.003		SUMA	0.031			
Alimentacion Teo	950.2			ley medida	0.006		Fino medido	0.057			

ANEXO E: FLOTACIÓN N°5 [12 (ML/L) ESPUMANTE]

Cobre

	masa		Recuperacion Masica		Leyes			Finos		Recuperación	
Tiempo	Directa	Acc	directa	acumulada	Directa	Acc	Razon de enriquecimiento	Directa	Acc	Directa	Acc
0											0
1	39	39.00	4.32	4.32	0.072	0.07	2.20	0.03	0.03	9.51	9.51
3	6	45.00	0.67	4.99	0.351	0.11	10.73	0.02	0.05	7.14	16.65
5	1.4	46.40	0.16	5.14	0.367	0.12	11.20	0.01	0.05	1.74	18.38
8	3.4	49.80	0.38	5.52	0.314	0.13	9.58	0.01	0.06	3.61	22.00
12	1.4	51.20	0.16	5.68	0.245	0.13	7.49	0.00	0.07	1.16	23.16
Tails	851	902.20	94.32	100	0.027	0.03	0.81	0.23	0.30	76.84	100.00
Alimentación	902.20			ley	0.033			0.30			
Alimentacion Teo	926			ley medida	0.052						

Molibdeno

	masa		Recuperacion Masica		Leyes			Finos		Recuperación	
Tiempo	Directa	Acc	directa	acumulada	Directa	Acc	Razon de enriquecimiento	Directa	Acc	Directa	Acc
0											0
1	39	39.00	4.32	4.32	0.027	0.03	7.08	0.011	0.01	30.62	30.62
3	6	45.00	0.67	4.99	0.043	0.03	11.19	0.003	0.01	7.44	38.06
5	1.4	46.40	0.16	5.14	0.018	0.03	4.63	0.000	0.01	0.72	38.78
8	3.4	49.80	0.38	5.52	0.027	0.03	7.17	0.001	0.01	2.70	41.48
12	1.4	51.20	0.16	5.68	0.019	0.03	5.07	0.000	0.01	0.79	42.27
Tails	851	902.20	94.32	100	0.002	0.00	0.61	0.020	0.03	57.73	100.00
Alimentación	902.20			ley	0.004		SUMA	0.034			
Alimentacion Teo	926			ley medida	0.006		Fino medido	0.056			

ANEXO F: FLOTACIÓN N°6 [20 (G/TON) COLECTOR]

Cobre

	masa		Recuperacion Masica		Leyes			Finos		Recuperación	
Tiempo	Directa	Acc	directa	acumulada	Directa	Acc	Razon de enriquecimiento	Directa	Acc	Directa	Acc
0											0
1	3.7	3.70	0.42	0.42	0.343	0.34	7.91	0.01	0.01	3.30	3.30
3	10.5	14.20	1.18	1.60	0.423	0.40	9.73	0.04	0.06	11.52	14.81
5	5.3	19.50	0.60	2.20	0.511	0.43	11.77	0.03	0.08	7.03	21.84
8	4.3	23.80	0.48	2.68	0.371	0.42	8.54	0.02	0.10	4.14	25.98
12	3.1	26.90	0.35	3.03	0.314	0.41	7.24	0.01	0.11	2.53	28.51
Tails	860.6	887.50	96.97	100	0.032	0.04	0.74	0.28	0.39	71.49	100.00
Alimentación	887.50			ley	0.043			0.39			
Alimentacion Teo	940			ley medida	0.052						

Molibdeno

	masa		Recuperacion Masica		Leyes			Finos		Recuperación	
Tiempo	Directa	Acc	directa	acumulada	Directa	Acc	Razon de enriquecimiento	Directa	Acc	Directa	Acc
0											0
1	3.70	3.70	0.42	0.42	0.027	0.03	5.04	0.001	0.00	2.10	2.10
3	10.50	14.20	1.18	1.60	0.052	0.05	9.67	0.005	0.01	11.44	13.54
5	5.30	19.50	0.60	2.20	0.065	0.05	12.20	0.003	0.01	7.29	20.83
8	4.30	23.80	0.48	2.68	0.049	0.05	9.15	0.002	0.01	4.43	25.26
12	3.10	26.90	0.35	3.03	0.035	0.05	6.54	0.001	0.01	2.28	27.55
Tails	860.60	887.50	96.97	100	0.004	0.01	0.75	0.034	0.05	72.45	100.00
Alimentación	887.50			ley	0.005		SUMA	0.048			
Alimentacion Teo	940			ley medida	0.006		Fino medido	0.056			

ANEXO F: FLOTACIÓN N°7 [24 (ML/L) ESPUMANTE]

Cobre

	masa		Recuperacion Masica		Leyes			Finos		Recuperación	
Tiempo	Directa	Acc	directa	acumulada	Directa	Acc	Razon de enriquecimiento	Directa	Acc	Directa	Acc
0											0
1	150.5	150.50	15.69	15.69	0.089	0.09	2.58	0.13	0.13	40.51	40.51
3	5.4	155.90	0.56	16.25	0.287	0.10	8.32	0.02	0.15	4.68	45.20
5	1.6	157.50	0.17	16.42	0.393	0.10	11.39	0.01	0.16	1.90	47.10
8	0.9	158.40	0.09	16.51	0.406	0.10	11.77	0.00	0.16	1.10	48.20
12	1	159.40	0.10	16.61	0.326	0.10	9.46	0.00	0.16	0.99	49.19
Tails	800	959.40	83.39	100	0.021	0.03	0.61	0.17	0.33	50.81	100.00
Alimentación	959.40			ley	0.034			0.33			
Alimentacion Teo	959.6			ley medida	0.052						

Molibdeno

	masa		Recuperacion Masica		Leyes			Finos		Recuperación	
Tiempo	Directa	Acc	directa	acumulada	Directa	Acc	Razon de enriquecimiento	Directa	Acc	Directa	Acc
0											0
1	150.50	150.50	15.69	15.69	0.017	0.02	4.30	0.026	0.03	67.50	67.50
3	5.40	155.90	0.56	16.25	0.025	0.02	6.21	0.001	0.03	3.49	70.99
5	1.60	157.50	0.17	16.42	0.016	0.02	3.89	0.000	0.03	0.65	71.64
8	0.90	158.40	0.09	16.51	0.013	0.02	3.14	0.000	0.03	0.29	71.93
12	1.00	159.40	0.10	16.61	0.018	0.02	4.47	0.000	0.03	0.47	72.40
Tails	800.00	959.40	83.39	100	0.001	0.00	0.33	0.011	0.04	27.60	100.00
Alimentación	959.40			ley	0.004		SUMA	0.039			
Alimentacion Teo	959.6			ley medida	0.006		Fino medido	0.058			