

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



PROYECTO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
EN METALURGIA EXTRACTIVA

**OPTIMIZACIÓN EN LA RECUPERACIÓN
METALÚRGICA DE MOLIBDENO,
PLANTA I LAS TÓRTOLAS,
DIVISIÓN LOS BRONCES - ANGLOAMERICAN**

Xenia Méndez Méndez

Profesor Guía
Alvaro Aracena Caipa

2013

Dedicatoria

Dedicatoria

A mi madre, quien me ha dado todo su apoyo y amor.

Agradecimientos

Agradezco a mi madre por todo su apoyo, confianza, paciencia, esfuerzo y amor.

Agradezco a mi amado Juan Pablo por estar a mi lado apoyándome. Gracias por tu amor, ayuda y paciencia.

Agradezco a prima Giselle por su amistad, apoyo incondicional y cariño en todo momento.

Agradezco a mis amigos Nataly Mery, Jean Silva, Roxana Cárdenas, Pamela Cerda y Valeria Gálvez por los buenos momentos en la universidad, su apoyo incondicional y cariño.

Agradezco a Vania Ramirez por su apoyo constante, quien confió en mí y guió durante la realización de mi memoria.

Agradezco a Rodrigo Ceballos por su confianza, apoyo, respondió mis dudas y me guió en un momento clave para lograr esta investigación. Gracias por sus consejos y comentarios anexos a este trabajo, los cuales me permitieron vislumbrar mejor el desarrollo de la vida profesional dentro de la planta.

Agradezco a mis profesores guías Alvaro Aracena y Carlos Carlesi, quienes tuvieron disponibilidad en tiempo libre para ofrecerme la guía necesaria para finalizar este trabajo.

Agradezco a Fernanda Quijanes, Victoria Pérez, Cristian Troncoso, María José Tapia, Diego Sepúlveda, por su compañía, apoyo constante y buenos momentos durante la realización de la memoria.

Agradezco a Roxana Urbina, Nicol Henríquez, Johana Ortiz y Carmen Rocha por el cariño y el apoyo.

Agradezco a Raúl Donaire, Pedro Albornoz y a Julio Tapia por su apoyo, paciencia y disponibilidad.

.Agradezco finalmente a AngloAmerican por la oportunidad de realizar este trabajo de título.

Resumen

El presente estudio da cuenta del bajo escenario productivo que presenta la Planta I, Las Tórtolas, División Los Bronces, donde se han alcanzado recuperaciones históricas de cobre y molibdeno de un 74% y 35% respectivamente.

Ante esta situación se llevó a cabo un análisis histórico de leyes de mineral, características mineralógicas y datos operacionales asociados, donde fue posible visualizar que las bajas leyes de cabeza de Molibdeno de alrededor de un 0,011% para el último periodo que comprende los años 2011 y 2012 se encuentran asociadas a la Fase mineralógica Donoso 1, donde a través de un análisis por microscopia dio cuenta de tamaños anormales de ganga asociada y por ende es una de las causas de pérdidas de molibdeno.

Al analizar la recuperación de molibdeno en el circuito colectivo, se identificó que las pérdidas se encuentran principalmente en el circuito rougher y la variable operacional asociada a estos resultados es el porcentaje de sólidos, donde la evaluación de esta variable indicó que un aumento de dos puntos de porcentaje de sólidos impacta inmediatamente la recuperación colectiva de molibdeno en 7 puntos porcentuales.

El estudio también contempla pruebas a nivel de planta, donde se evaluó, el efecto sobre la recuperación y grado de molibdeno y cobre sin la adición del colector Xantato, el efecto del nivel de espuma en flotación columnar sobre el grado de Cobre y molibdeno en el concentrado mixto y una evaluación del potencial que representa el concentrado scavenger para ser considerado como concentrado mixto.

Los resultados de las pruebas sin adición de colector Xantato Isobutílico indicaron, bajo la restricción que para leyes inferiores de 0,76%Cu que se deje de añadir el colector, de esto es posible alcanzar 4,5 puntos porcentuales sobre la recuperación colectiva de molibdeno que se logra si se adiciona el colector.

Por lo demás si se trabaja a un bajo nivel de espuma es posible aumentar el grado de molibdeno en el concentrado mixto ante una disminución del grado de cobre, ante esto se justifica económicamente como estrategia de control y optimización, para el control se recomienda contar con un analizador en línea de modo que permita tomar decisiones en tiempo óptimos y cuya evaluación económica indica que el proyecto es rentable solo si el valor del óxido de molibdeno no es inferior a 11,1 US\$/lb.

En cuanto al concentrado scavenger se analizó el contenido de cobre y molibdeno en el concentrado y se infirió que representa un alto potencial de oportunidad ya que permitiría

Resumen

recuperar de alrededor de un 20% de Molibdeno fino en concentrado mixto, en cuanto a la granulometría, debido a la gran variabilidad que presenta, se recomienda evaluar la recuperación de flotación selectiva a escala de laboratorio para analizar su comportamiento.

Glosario de abreviaciones

LT	: Las Tórtolas
tpa	: Toneladas por año
TM	: Tonelada métrica
Tmf	: Toneladas métricas fina
MI	: Fase Mirador
CAS	: Fase Casino
IS	: Fase Infiernillo
DE	: Fase Dono Este
D1	: Fase Donoso Uno
Gn	: Ganga
Cc	: Calcosina
Cpy	: Calcopirita
Py	: Pirita

Índice

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
RESUMEN.....	iii
GLOSARIO DE ABREVIACIONES.....	v
ÍNDICE.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
1. Introducción.....	1
1.1 Angloamerican.....	1
1.2 Antecedentes del problema.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
2. División Los Bronces.....	4
2.1 Introducción.....	4
2.2 Planta Las Tórtolas.....	5
2.3 Flotación.....	7
2.3.1 Flotación Colectiva.....	7
2.3.2 Flotación Selectiva.....	8
2.4 Mineralogía.....	10
2.5 Modelo geometalúrgico de flotación.....	11
2.6 Fases geológicas.....	11
2.6.1 Definición de fase geológica.....	11
2.6.2 Fases geológicas faenas Los Bronces.....	11
3. Aspectos teóricos.....	13
3.1 Molibdeno.....	13
3.1.1 Introducción.....	13
3.1.2 Reservas, producción y consumo de molibdeno.....	14
3.1.2.1 Reservas.....	14
3.1.2.2 Producción.....	15
3.1.2.3 Consumo.....	15
3.1.3 Procesamiento del Molibdeno.....	16
3.1.4 Precio del Molibdeno.....	16

Índice

3.2	Fundamentos.....	17
3.2.1	Flotación.....	17
3.2.2	Estructura y flotabilidad natural de la Molibdenita.....	18
3.2.3	Circuitos de flotación.....	19
3.2.4	Parámetros básicos de flotación.....	21
3.2.4.1	Recuperación.....	21
3.2.5	Flotación de la Molibdenita y la acción de los colectores.....	22
3.2.6	Densidad de pulpa.....	24
3.2.7	Equipos de flotación.....	24
3.2.7.1	Celdas mecánicas.....	25
3.2.7.2	Celdas columnares.....	25
3.2.8	Variables de operación de flotación columnar.....	27
3.3	Microscopía.....	29
3.3.1	Información composicional	29
3.3.2	Información textural.....	30
3.3.2.1	Rasgos texturales internos de una partícula mineral.....	30
3.3.2.2	Rasgos texturales internos de una partícula mineral.....	31
3.3.3	Sistemática de los estudios microscópicos aplicados a flotación.....	33
3.3.3.1	La preparación de muestras.....	33
3.3.3.2	Directivas para el estudio de muestras.....	33
3.4	Muestreo.....	34
3.4.1	Elemento de teoría de muestreo.....	34
3.4.2	Errores en la toma de muestras.....	35
4.	Análisis de antecedentes históricos de operación.....	36
4.1	Recopilación de datos operacionales.....	36
4.1.1	Data flotación colectiva.....	36
4.1.2	Ley de alimentación de cobre y molibdeno.....	37
4.1.3	Recuperación colectiva de cobre y molibdeno.....	38
4.1.4	Recuperación rougher de cobre y molibdeno.....	39
4.1.4.1	Recuperación rougher de cobre y molibdeno v/s Porcentaje sólidos.....	41
4.1.5	Recuperación de limpieza de cobre y molibdeno.....	46
4.2	Análisis de fases geológicas.....	48
4.2.1	Distribución de fases alimentadas y recuperación global de molibdeno.....	48
4.2.1	Análisis por microscopía.....	50
4.2.4.1	Análisis por microscopia mineral de cabeza.....	51

Índice

4.2.4.2	Análisis por microscopia concentrado mixto.....	52
4.2.4.3	Análisis por microscopia relave rougher.....	53
5.	Desarrollo Experimental.....	55
5.1	Pruebas sin la adición del colector Xantato Isobutílico.....	55
5.2	Muestreos de concentrado de columnas a distintos niveles de espuma.....	55
5.2.1	Materiales y equipos muestreo concentrado columna.....	56
5.2.2	Consideraciones para la actividad de muestreo de concentrado de columna.	57
5.2.3	Procedimiento de muestreo concentrado de columna.....	57
5.3	Muestreo concentrado scavenger.....	59
5.3.1	Materiales y equipos muestreo concentrado scavenger.....	59
5.3.2	Consideraciones para la actividad de muestreo concentrado scavenger.....	59
5.3.3	Procedimiento muestreo concentrado scavenger.....	60
6.	Resultados y Discusiones.....	61
6.1	Leyes y recuperaciones globales sin la adición del colector Xantato Isobutílico....	61
6.1.1	Resultados cobre.....	62
6.1.2	Resultados molibdeno.....	64
6.3	Resultados muestreo concentrado columnar a distintos niveles de espuma.....	68
6.4	Resultados muestreo concentrado scavenger.....	72
6.4.1	Caudal másico [ton/h].....	72
6.4.2	Ley de cobre y molibdeno en concentrado scavenger.....	73
6.4.3	Ley de cobre y molibdeno por tamaño de partícula.....	77
6.4.3	Evaluación de potencial de concentrado scavenger como concentrado final	78
7.	Evaluación económica.....	80
7.1	Inversión estimada.....	80
7.1.1	Criterios generales.....	80
7.1.2	Criterios para estimación de costos directos.....	81
7.1.3	Criterios para estimación de costos indirectos.....	81
7.1.4	Contingencias.....	81
7.1.5	Valorización de las inversiones.....	82
7.2	Estimación de costo operacional del equipo.....	82
7.2.1	Criterios generales.....	82
7.2.2	Criterios costo de operación.....	82
7.2.3	Costo de operación total.....	84
7.3	Parámetros de evaluación del proyecto.....	84

Índice

7.3.1	Criterios generales.....	84
7.3.2	Estimación de ingresos.....	85
1.	Conclusiones.....	87
2.	Recomendaciones.....	89
BIBLIOGRAFIA.....		90
ANEXO A.....		A-0
A.1	Evaluación de riesgos de muestreos.....	A-1
A.1	Evaluación de riesgos filtrado, secado y preparación mecánica de muestras para análisis químico.....	A-2
A.3	Procedimiento de preparación de muestras para análisis químico.....	A-3
A.3.1	Descripción de filtrado de muestras.....	A-3
A.3.2	Descripción de secado de muestras.....	A-4
A.3.3	Preparación mecánica de minerales.....	A-5
A.3.4	Análisis químicos.....	A-10
A.4	Esquema de preparación de briqueta para análisis por microscopía.....	A-11
ANEXO B.....		B-0
B.1	Tonelaje, porcentaje de cobre y molibdeno, alimentación rougher.....	B-1
B.2	Recuperación global de cobre y molibdeno.....	B-4
B.3	Recuperación colectiva de cobre y molibdeno.....	B-7
B.4	Recuperación rougher de cobre y molibdeno.....	B-11
B.5	Recuperación de limpieza de cobre y molibdeno.....	B-14
B.6	Porcentaje de cobre y molibdeno en el concentrado mixto.....	B-17
B.7	Data pH, porcentaje de sólidos, circuito rougher.....	B-21
B.8	Grado de molienda[%+#65], %CuOX/CuT, alimentación rougher.....	B-23
B.9	Data diaria de porcentaje de sólidos, circuito rougher.....	B-26
B.10	Tonelaje de fases alimentadas a Planta I Las Tórtolas.....	B-29
B.11	Ley de cobre en las fases alimentadas a Planta I Las Tórtolas.....	B-31
B.12	Ley de molibdeno en las fases alimentadas a Planta I Las Tórtolas.....	B-33
ANEXO C.....		C-0
C.1	Resultados sin adición del colector Xantato Isobutilíco.....	C-1
C.2	Resultados sin adición del colector Xantato Isobutilíco.....	C-4
ANEXO D.....		D-0
D.1	Analizador en línea Curier.....	D-1
D.1.1	Analizador de pulpa en línea XRF de alto rendimiento.....	D-1
D.1.2	Especificaciones.....	D-2
D.1.3	Requerimiento de instalación	D-3

Índice

D.2	Datos evaluación económica equipo analizador en línea Curier.....	D-4
D.2.1	Calculo de fino de molibdeno y cobre	D-4
D.3	Tarifas de suministro eléctrico para clientes sujeto a regulación de precios.....	D-5

Índice de figuras

Figura 1: Diagrama operacional División Los Bronces.....	5
Figura 2: Diagrama operacional de la Planta I Las Tórtolas.....	6
Figura 3: Diagrama simplificado de la flotación colectiva.....	8
Figura 4: Diagrama simplificado de la flotación selectiva.....	9
Figura 5: Mineralogía Planta Las Tórtolas.....	10
Figura 6: Principales fases de la faena Los Bronces.....	12
Figura 7: Principales reservas mundiales de Molibdeno [Miles de toneladas].....	14
Figura 8: Proyección precio Oxido de Molibdeno [US\$/lb].....	17
Figura 9: Tipos de enlaces entre los átomos de molibdenita.....	19
Figura 10: Relación cara-bordes de la molibdenita.....	19
Figura 11: Estructura principal de colectores tiólicos.....	22
Figura 12: Tipos de xantatos.....	23
Figura 13: Celda mecánica Wenco.....	25
Figura 14: Diagrama de columna de flotación.....	26
Figura 15: Ley de alimentación Cobre y Molibdeno Planta I Las Tórtolas.....	37
Figura 16: Recuperación Colectiva de molibdeno y Ley de alimentación de Molibdeno.....	38
Figura 17: Recuperación colectiva de Cobre y Molibdeno, Planta I Las Tórtolas.....	39
Figura 18: Recuperación rougher de Cobre y Molibdeno, Planta I Las Tórtolas.....	40
Figura 19: Recuperación rougher de Molibdeno y porcentaje de sólidos rougher.....	41
Figura 20: Recuperación rougher de Cobre y porcentaje de sólidos alimentación.....	42
Figura 21: Recuperación Colectiva de Cu y Porcentaje de Sólidos Alimentación Periodo Abril a Noviembre.....	43
Figura 22: Recuperación Colectiva de Mo y Porcentaje de sólidos Alimentación Periodo Abril a Noviembre.....	43
Figura 23: Recuperación Colectiva de Cobre Mensual, periodo Abril a Noviembre 2012.....	44

Índice de figuras

Figura 24: Recuperación Colectiva de Molibdeno Mensual, periodo Abril a Noviembre 2012..	45
Figura 25: Recuperación de limpieza de Cobre y Molibdeno, Planta I Las Tórtolas.....	46
Figura 26: Ley de Cobre y Molibdeno en el concentrado mixto, Planta I Las Tórtolas.....	47
Figura 27: Distribución de fases Alimentación y recuperación global de Molibdeno.....	48
Figura 28: Porcentaje de cobre en cada fase, Planta I Las Tórtolas.....	49
Figura 29: Porcentaje de molibdeno en cada fase, Planta I Las Tórtolas.....	48
Figura 30: Microfotografía mineral de cabeza 28-12-2012 TB.....	51
Figura 31: Microfotografía concentrado colectivo 28-11-2012 TB.....	52
Figura 32: Microfotografía concentrado colectivo 28-11-2012 TB.....	52
Figura 33: Microfotografía de concentrado colectivo 01-12-2012 TB (izquierda) y concentrado colectivo 04-12-2012 TB (dercha).....	53
Figura 34: Microfotografía relave rougher 28-11-2012 TB.....	54
Figura 35: Cortador tipo bandeja.....	57
Figura 36: Cortador manual.....	59
Figura 37: Recuperación global de Cobre con y sin adición de colector.....	62
Figura 38: Porcentaje de cobre en concentrado final con y sin adición de colector.....	63
Figura 39: Porcentaje de cobre en relave final con y sin adición de colector.....	63
Figura 40: Recuperación colectiva de molibdeno con y sin colector.....	64
Figura 41: Porcentaje de molibdeno en el concentrado mixto con y sin colector.....	65
Figura 42: Porcentaje de molibdeno en el relave final con y sin colector.....	65
Figura 43: Delta recuperación global de cobre.....	66
Figura 44: Porcentaje de Cobre y Molibdeno a distintos niveles de espuma, muestreo 14-11-2012 TB.....	68
Figura 45: Porcentaje de Cobre y Molibdeno a distintos niveles de espuma, muestreo 29-11-2012 TB.....	68
Figura 46: Porcentaje de Cobre y Molibdeno a distintos niveles de espuma, muestreo 06-11-2012 TB.....	68

Índice de figuras

Figura 47: Porcentaje de Cobre y Molibdeno a distintos niveles de espuma, muestreo 07-12-2012 TB.....	70
Figura 48: Porcentaje de Cobre y Molibdeno a distintos niveles de espuma, muestreo 11-12-2012 TB.....	70
Figura 49: Porcentaje de Cobre y Molibdeno a distintos niveles de espuma, muestreo 28-12-2012 TB.....	71
Figura 50: Caudal [ton/h] para los distintos muestreos ,Línea Norte.....	72
Figura 51: Caudal [ton/h] para los distintos muestreos ,Línea Centro.....	73
Figura 52: Caudal [ton/h] para los distintos muestreos ,Línea Sur.....	73
Figura 53: Ley de molibdeno en concentrado scavenger para los distintos muestreos, Línea Norte.....	74
Figura 54: Ley de molibdeno en concentrado scavenger para los distintos muestreos, Línea Centro.....	74
Figura 55: Ley de molibdeno en concentrado scavenger para los distintos muestreos, Línea Sur.....	75
Figura 56: Ley de molibdeno en concentrado scavenger para los distintos muestreos, Línea Norte.....	76
Figura 57: Ley de molibdeno en concentrado scavenger para los distintos muestreos, Línea Centro.....	76
Figura 58: Ley de molibdeno en concentrado scavenger para los distintos muestreos, Línea Sur.....	76
Figura 59: Ley de Cobre en el concentrado scavenger.....	77
Figura 60: Ley de molibdeno en el concentrado scavenger.....	77

Índice de tablas

Tabla I: Proyección producción de Molibdeno por empresa [Miles de TM].....	15
Tabla II: Ejemplos de inclusiones frecuentes.....	31
Tabla III: Análisis variación recuperación colectiva de Cobre.....	44
Tabla IV: Análisis variación recuperación colectiva de Molibdeno.....	45
Tabla V: Días seleccionados para análisis por microscopía.....	50
Tabla VI: Distribución de Molibdeno en muestreos fase Donoso 1.....	51
Tabla VII: Variables de operación columnar.....	56
Tabla VIII: Identificación del lugar y frecuencia de retiro muestra de concentrado columnas.....	58
Tabla IX: Identificación del lugar y frecuencia de retiro muestra de concentrado scavenger.....	60
Tabla X: Población de datos con y sin colector.....	61
Tabla XI: Recuperación global media con y sin colector.....	67
Tabla XII: Fino de Molibdeno Con y Sin colector.....	67
Tabla XIII: Fino de Cobre y Molibdeno en concentrado mixto.....	78
Tabla XIV: Porcentaje de fino de cobre y molibdeno en concentrado mixto.....	78
Tabla XV: Propuesta de la ley de cobre y molibdeno en el concentrado mixto.....	80
Tabla XVI: Estimación de costos directos.....	81
Tabla XVII: Estimación de capital fijo.....	82
Tabla XVIII: Servicios generales.....	83
Tabla XIX: Costo de operación.....	84
Tabla XX: Flujo de caja, precio de Mo 12,5 [USD/lb].....	85
Tabla XXI: Flujo de caja, precio de Mo 11,0 [USD/lb].....	85
Tabla XXII: Flujo de caja, precio de Mo 15,0 [USD/lb].....	86
Tabla XXIII: Rentabilidad del proyecto considerando distintos precios para el molibdeno...	86

1 Introducción

1.1 AngloAmerican

El grupo AngloAmerican es líder mundial en minería y recursos naturales. En todas y cada una de sus operaciones la empresa busca compatibiliza la rentabilidad de sus accionistas con el bienestar de sus trabajadores, el desarrollo social de las comunidades vecinas y la protección del medio ambiente.

Su casa matriz está ubicada en Londres (Reino Unido) y cuenta con más de 90 mil trabajadores, quienes se desempeñan en las diferentes operaciones que la compañía posee en 25 países alrededor del mundo.

AngloAmerican Chile es una empresa minera dedicada a la explotación y procesamiento de cobre. Forma parte del Grupo AngloAmerican y opera en Chile desde 1980. Actualmente está conformada por 5 divisiones productivas (Los Bronces, El Soldado, Mantos Blancos, Mantoverde y Fundición Chagres) que operan en la zona centro y norte de Chile, una oficina central en Santiago y la unidad de exploraciones mineras Anglo American Exploration Division.

Además, posee 44% de la propiedad de Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi.

En el año 2002, adquirió la Compañía Minera Disputada de Las Condes, integrando a sus operaciones las divisiones El Soldado, Fundición Chagres y Los Bronces.

Los Bronces es una mina de cobre y molibdeno que se explota a rajo abierto. Se encuentra ubicada en la Región Metropolitana, a 65 kilómetros de Santiago y a 3500 metros sobre el nivel del mar. El mineral que se extrae es molido y transportado por un mineroducto de 56 kilómetros a la planta de flotación Las Tórtolas, en la que se produce concentrado de cobre y de molibdeno. Además, en la mina se produce cobre en cátodos.

En octubre de 2007, el Directorio de Anglo American plc se reunió en Chile y aprobó el Proyecto Desarrollo Los Bronces, con una inversión de entre US\$ 2300 y US\$ 2500 millones.

El proyecto inició su construcción en 2007 y considera nuevas instalaciones de molienda en el sector Confluencia, una planta de flotación en Las Tórtolas (Colina) y nuevas tuberías y estaciones de bombeo.

Esto permitirá que la producción de Los Bronces crezca desde las actuales 230000 toneladas por año (tpa) a un promedio de 400000 (tpa) y la producción de molibdeno se eleve a 5400 (tpa). Así, Los Bronces se convertirá en la quinta mina de mayor producción de cobre del mundo.

1.2 Antecedentes del problema

La operación de la Planta I Las Tórtolas está destinada a alcanzar el nivel más alto en recuperación de molibdeno y cobre, operando diversas variables metalúrgicas que controlen el buen funcionamiento de todo el circuito de la planta y así obtener una buena ley de concentrado comercial (> 48%), al costo más bajo.

Esto implica que es necesario disponer de capacidad de respuesta frente a los cambios de tonelaje y de las características del mineral.

Dado que la División Los Bronces cuenta con un extenso mineral donde la ley de Molibdeno presenta grandes fluctuaciones, ha traído como consecuencia una caída en la producción de molibdeno. En el último periodo Planta Las Tórtolas ha experimentado una fuerte baja en la recuperación de molibdeno, alcanzando valores globales de hasta alrededor de un 40% y con ello por ende una baja producción. Un benchmarking realizado indicó que los resultados obtenidos son menores a comparación a otras plantas concentradoras (72% v/s un 88,6% en flotación colectiva y 70% v/s un 94,7% en la selectiva).

Según COCHILCO, se prevé un precio de 15 US\$/lb para el presente año en respuesta a un ritmo de crecimiento en la demanda por sobre la oferta. Con lo descrito anteriormente una optimización en la planta concentradora llevará a un incremento en la recuperación de Molibdeno, estableciendo una oportunidad de negocio rentable para la División Los Bronces.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Optimizar la recuperación metalúrgica de molibdeno en Planta I, Las Tórtolas.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar el comportamiento histórico de la recuperación de molibdeno en función de leyes de mineral, características mineralógicas y datos operacionales asociados.
- Evaluar recuperación metalúrgica de molibdeno por pruebas de flotación a escala de planta.
- Realizar una evaluación o estudio económico de las alternativas de optimización de recuperación de Mo.

2 División Los Bronces

2.1 Introducción

La División Los Bronces consta de dos zonas de operaciones: la mina Los Bronces y la planta concentradora Las Tórtolas.

Los Bronces se encuentran ubicada en la Región Metropolitana, a 65 [Km] de Santiago y a 3500 [m] sobre el nivel del mar.

La planta Las Tórtolas está ubicada a 40 Km de Santiago en la comuna de Colina, en la que se produce cobre y molibdeno en forma de concentrados.

El mineral proveniente de la mina Los Bronces, contiene mineral oxidado y sulfurado. El material oxidado que se extrae es conducido a la planta de cátodos San Francisco, donde se encuentra los procesos de lixiviación, extracción por solvente y electro-obtención. El mineral sulfurado es conducido a la planta Los Bronces para su extracción.

La etapa de chancado constituye en base al flowsheet mostrado en la figura 1, un chancador primario que distribuye su producto a un acopio de mineral, para posteriormente alimentar a la etapa de molienda.

El circuito de molienda consta de dos líneas que integran dos molinos SAG y tres molinos de bolas, más un circuito de pebbles, cuya carga es generada por los molinos SAG. El producto del chancado de pebbles puede dirigirse a los molinos SAG o de bolas.

El mineral molido es transportado por un mineroducto de 56 kilómetros a la planta de flotación Las Tórtolas, en la que se produce cobre y molibdeno contenido en concentrados.

En la Fig. 1 se muestran las operaciones que se desarrollan en la División Los Bronces.

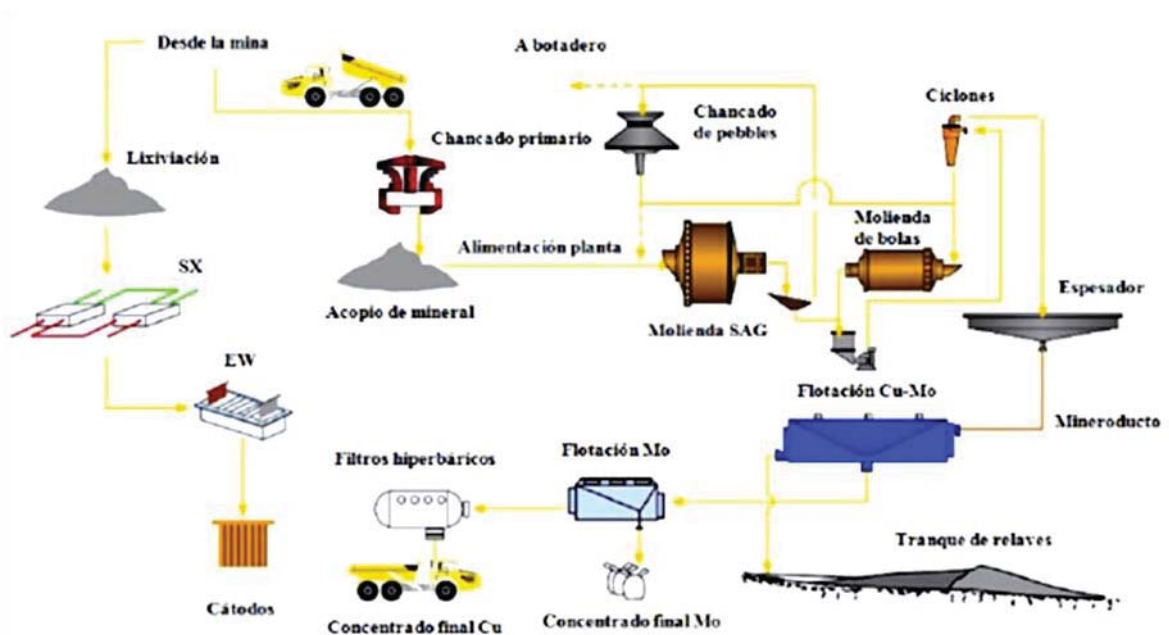


Figura 1: Diagrama operacional División Los Bronces

2.2 Planta I Las Tórtolas

La planta I de flotación Las Tórtolas en el año 2012 produjo 178462 toneladas de cobre fino, además de 954 toneladas de molibdeno.

A la planta de flotación (ver Fig. 2) se alimentan 2100 toneladas de mineral por hora, la ley de cobre de alimentación en promedio es de 0,9%; y la ley promedio de molibdeno fluctúa entre 0,015-0,020%. La recuperación global media de cobre según al plan minero debe ser de 87,6% y de 73% para el molibdeno, la ley de concentrado de cobre media debe ser de 27,7% y para el molibdeno de 48%.

En la entrada a la planta se encuentra una estación disipadora que se encarga de recibir la pulpa proveniente de Los Bronces, con el objetivo de reducir su energía cinética. Además, se encuentra una piscina de emergencia que cumple la función de almacenar la pulpa de alimentación en caso de existir algún problema en la planta, como por ejemplo durante la mantención o fallo de un equipo.

La piscina de emergencia tiene capacidad para contener toda la pulpa transportada en el mineroducto.

La flotación se realiza en dos etapas; flotación colectiva donde se recupera en conjunto cobre y molibdeno, y una flotación selectiva para separar cobre de molibdeno.

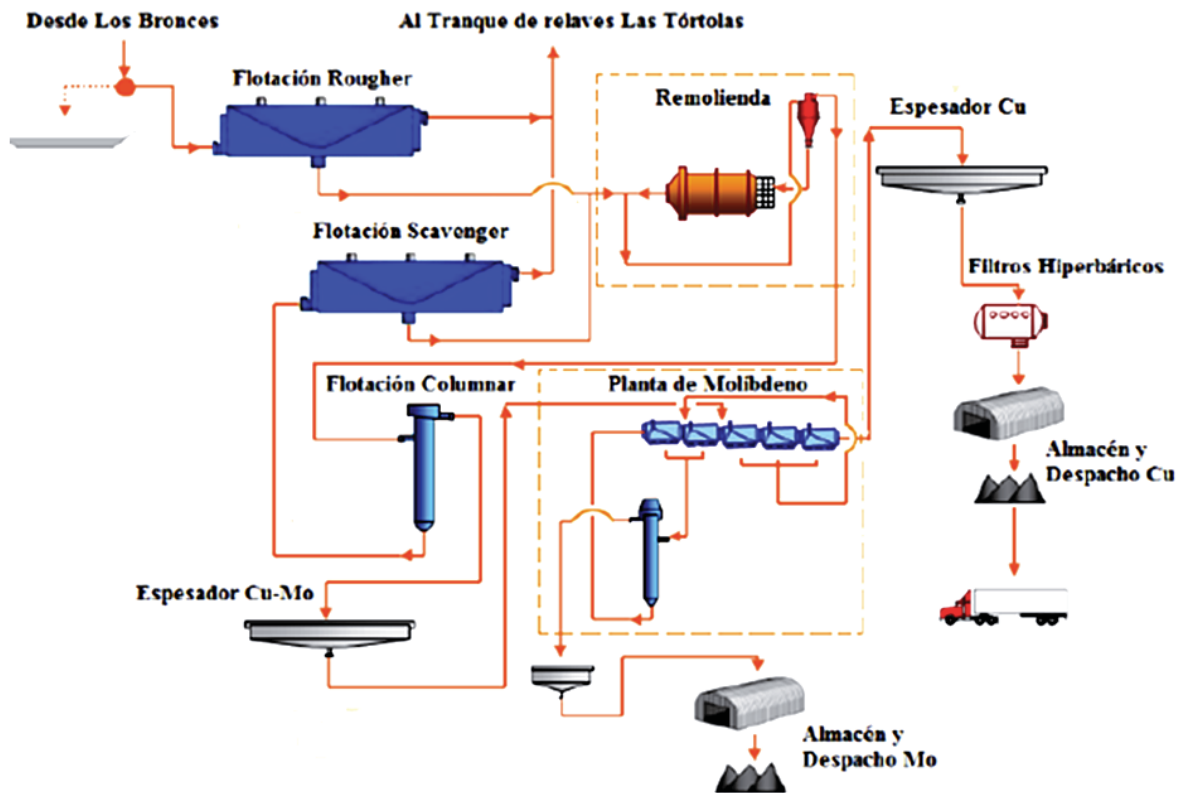


Figura 2: Diagrama operacional de la Planta I Las Tórtolas

2.3 Flotación

2.3.1 Flotación Colectiva

La flotación rougher se realiza en celdas convencionales y se divide en tres líneas: norte, centro y sur. El circuito rougher posee 27 celdas de flotación de 3000 pie³ (84,95 m³) y tres celdas circulares de 4500 pie³ (147,43 m³), una a la entrada de cada línea.

La adición de reactivos se realiza en el cajón de alimentación y en los traspasos del circuito rougher, exceptuando el espumante que aparte de ser adicionado en estos sectores, también es adicionado antes del cajón de alimentación, para su acondicionamiento.

La adición de reactivos se realiza en el cajón de alimentación y en los traspasos del circuito rougher, exceptuando el espumante que aparte de ser adicionado en estos sectores, también es adicionado antes del cajón de alimentación para su acondicionamiento.

Actualmente, se utilizan los siguientes reactivos: Xantato Isobutílico y Diaquil Ditioposfato (colectores de cobre), espumante (una mezcla de Nalflote 9837 y Dow 250C, en proporción 6:1), diesel (colector de molibdeno) y cal.

El concentrado rougher es conducido a la etapa de remolienda y los relaves generados constituyen parte del relave final de la planta, que se dirigen al tranque de relaves de Las Tórtolas.

El concentrado rougher y scavenger componen la alimentación a la etapa de remolienda. La etapa está compuesta por dos molinos y dos baterías de hidrociclones (de 10 ciclones cada uno) y trabajan en circuito cerrado inverso, es decir, el concentrado primero es clasificado en los hidrociclones y sobre el tamaño de este retoma al molino. El bajo tamaño de la etapa de remolienda se conduce al circuito de limpieza, que se compone por el circuito de flotación columnar y scavenger.

La siguiente etapa scavenger posee 21 celdas convencionales de flotación de 1500 pie³ (42,48 m³) y se divide también en tres líneas norte, centro sur.

El concentrado scavenger conduce a la etapa de remolienda y los relaves forman parte del relave final de la planta, que se dirigen al tranque de relaves Las Tórtolas.

En la Fig. 3 se muestra un diagrama simplificado de la flotación colectiva.

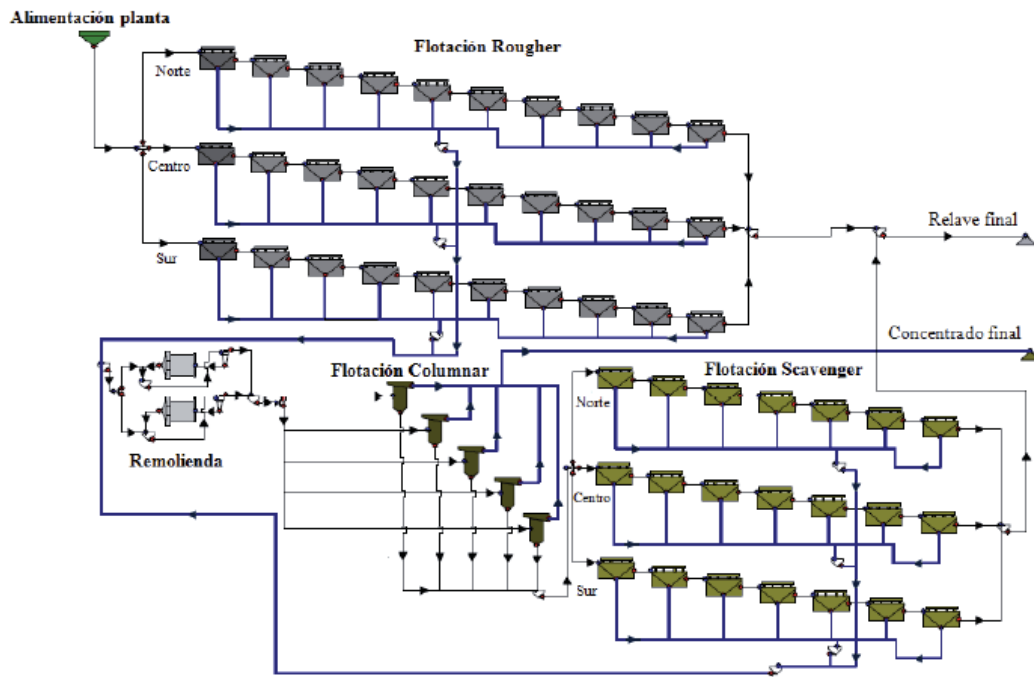


Figura 3: Diagrama simplificado de la flotación colectiva

2.3.2 Flotación Selectiva

En la planta de molibdeno se realiza la flotación selectiva, utilizando como reactivo depresor de cobre el NaSH.

Desde el espesador de Cu-Mo, la pulpa llega al estanque acondicionador N° 1, donde se le agrega ácido sulfúrico para bajar el pH.

Luego la pulpa es conducida a la flotación diferencial que se realiza en 12 celdas convencionales selladas de 300 pie³ (8,5 m³), para evitar la oxidación del NaSH con el aire del ambiente.

El NaSH y el ácido sulfúrico son adicionados en los traspasos del circuito diferencial.

El concentrado de la flotación diferencial es enviado a una cuba, donde es impulsado hacia la etapa primera limpieza. Los relaves generados contienen el concentrado de cobre, que es conducido al espesador de cobre.

La primera limpieza posee 3 celdas convencionales de 300 pie³. El concentrado es dirigido hacia el estanque acondicionador N°2 y los relaves son conducidos a flotación diferencial.

El concentrado es impulsado hacia la segunda etapa de limpieza, que se compone de dos columnas de flotación.

El concentrado de las columnas es enviado al estanque de molibdeno, mientras que los relaves generados son conducidos hacia la flotación scavenger.

La flotación scavenger posee 2 celdas convencionales selladas de 300 pie³. El concentrado es dirigido hacia el estanque acondicionador N°2 y los relaves son conducidos a primera limpieza.

El concentrado de molibdeno es enviado a la etapa de filtrado, posteriormente es secado y envasado para despacho.

El concentrado de cobre, luego de ser dirigido al espesador, es conducido a la etapa de filtrado, que está compuesta por dos filtros. El concentrado con una humedad de alrededor de 10%, es almacenado para posteriormente ser enviada una parte a la fundación Chagres y el restante a embarque.

En la Fig. 4 se muestra un diagrama simplificado de la flotación colectiva.

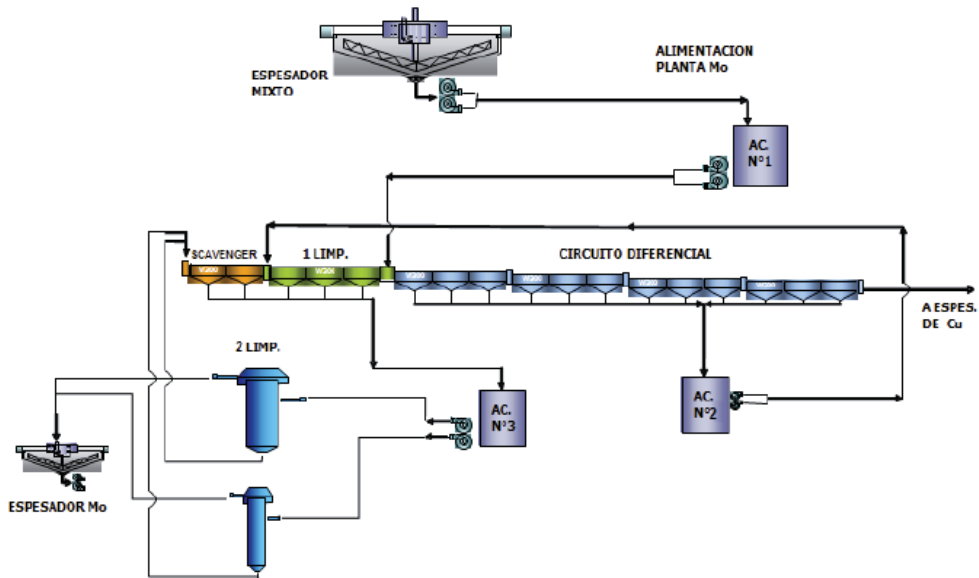


Figura 4: Diagrama simplificado de la flotación selectiva

2.4 Mineralogía

En la alimentación a planta Las Tórtolas, se distinguen principalmente las siguientes especies minerales de cobre, calcopirita (CuFeS_2), calcosita (Cu_2S), covelina (CuS), bornita (Cu_3FeS_4) y enargita (Cu_3AsS_4), siendo la calcopirita el mineral de cobre predominante y para el caso del molibdeno, la molibdenita (MoS_2). También es posible observar la presencia de cobre oxidado, Cuprita (Cu_2O), pero se encuentra en menor proporción.

Se encuentra la presencia de pirita (FeS_2) y la ganga está constituida principalmente por silicatos, tales como Cuarzo (SiO_2), Feldespatos ($(\text{K,Na,Ca,Ba,NH}_4)(\text{Si,Al})_4\text{O}_8$, etc.

A continuación en la Fig. 5 se observa la proporción de las especies mineralógicas en la alimentación planta, concentrado rougher, concentrado columnas y relave final.

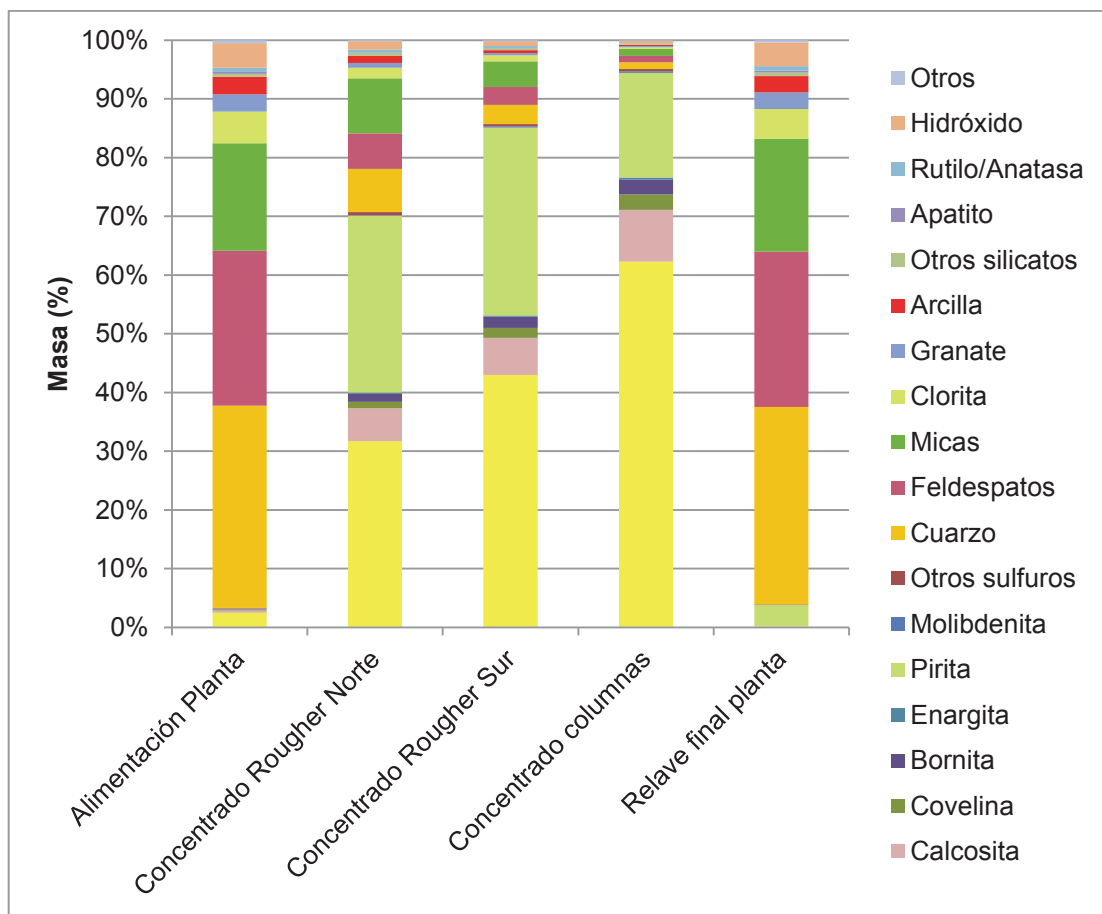


Figura 5: Mineralogía Planta I Las Tórtolas

2.5 Modelo geometalúrgico de flotación

La caracterización geometalúrgica de la División Los Bronces se orienta al conocimiento del comportamiento de las distintas unidades geológicas al ser sometidas a los procesos metalúrgicos.

En la División Los Bronces se trabaja con un modelo geometalúrgico de flotación el cual corresponde a un modelo predictivo del comportamiento metalúrgico de mineral en el proceso de flotación, el modelo está compuesto de dos variables, la recuperación de Cobre y ley del concentrado de cobre final. La primera variable corresponde al cálculo de la recuperación resultante de un test de flotación rougher, multiplicado por un factor de limpieza de 0,98. La segunda variable corresponde al resultado del análisis de cobre sobre un concentrado resultante de un test de flotación de limpieza de 0,5 minutos (30 segundos) sobre un concentrado rougher sometido a remolienda. Con la validación de ambas variables se determina una recuperación global de vaciado de cobre.

Los resultados obtenidos en la planta de flotación se comparan con la recuperación global de vaciado, y la diferencia de ambas determina un delta de porcentaje de recuperación el cual debe ser mayor o igual a cero, ver ecuación 2.1. Por lo tanto el Delta porcentaje de recuperación es un índice de productividad.

$$\text{Delta \% Recuperación} = \% \text{Recup. Global Cu} - \% \text{Recup. Vaciado Cu} \quad (1)$$

2.6 Fases geológicas

2.6.1 Definición de fase geológica

Las fases geológicas corresponden al diseño operacional de las distintas expansiones seleccionadas a partir de la secuencia de rajos obtenidos en la optimización. Los criterios de selección usados son: operacionales, geometría y aporte de mineral.

2.6.2 Fases geológicas faena Los Bronces

La faena Los Bronces presenta las siguientes zonas que son explotadas hoy en día:

- Sector Donoso 1
- Sector Infiernillo

- Sector Casino

En la Fig. 6 es posible apreciar las fases Donoso e Infiernillo.

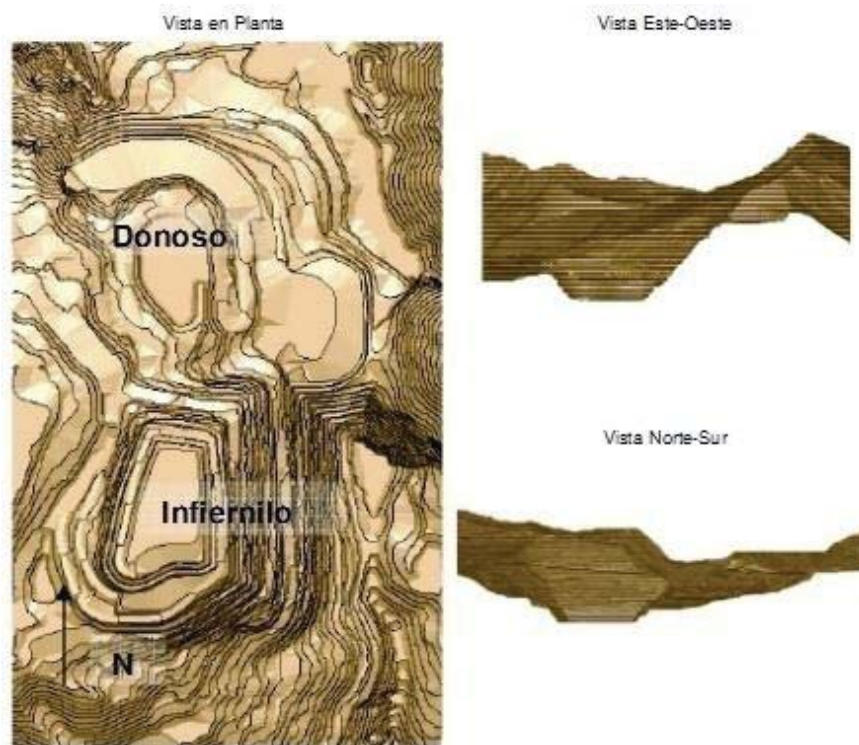


Figura 6: Principales fases de la faena Los Bronces

3 Aspectos teóricos

3.1 Molibdeno

3.1.1 Introducción^[1]

La palabra molibdeno proviene del término griego “molydos”, que significa plomo, y evidentemente, fue creada antes que se descubriera el elemento que lleva el mismo nombre. Es uno de los elementos de transición del sistema periódico. Su número atómico es 42.

Fue descubierto en 1778 por el químico sueco Kart Wilhelm Scheele. Es un metal blanco plateado, duro y maleable. El molibdeno se disuelve en ácido nítrico y agua regia, y es atacado por los álcalis fundidos. El aire no lo ataca a temperaturas normales, su punto de ignición es a temperaturas por encima de los 600°C formando óxido de molibdeno (VI) (MoO_3). El molibdeno tiene un punto de fusión de unos 2.160°C, un punto de ebullición de 5600°C, y una densidad de 10,2. Su masa atómica es 95,94 (g/g-mol).

El molibdeno no existe libre en la naturaleza, sino en forma de minerales siendo los más importantes la molibdenita y la wulfenita (PbMoO_4). Ocupa el lugar 56 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre y es un oligoelemento importante del suelo, donde contribuye al crecimiento de las plantas.

El metal se usa principalmente en aleaciones con acero. Esta aleación soporta altas temperaturas y presiones y es muy resistente, por lo que se utiliza en la construcción, para hacer piezas de aviones y piezas forjadas de automóviles. El alambre de molibdeno se usa en tubos electrónicos, y el metal sirve también como electrodo en los hornos de vidrio. El molibdeno se emplea en determinadas aplicaciones electrónicas, como en las capas de metal conductoras en los transistores TFT (Thin Film Transistor). El sulfuro de molibdeno, se usa como lubricante en medios que requieren altas temperaturas. La constante preocupación por el medio ambiente ha estimulado a la industria de los catalizadores a usar molibdeno como aditivo.

3.1.2 Reservas, Producción y Consumo de Molibdeno^[2]

3.1.2.1 Reservas

De acuerdo a USGS (United States Geological Survey), las reservas mundiales de Molibdeno se concentran en pocos países del mundo y ascienden a 19 millones de toneladas métricas de Molibdeno in situ (mina), de las cuales China cuenta con 8,3 Millones, Estados Unidos con 5,4 Millones y Chile con 2,5 Millones, que poseen la mayor cantidad de Molibdeno en el mundo (ver Fig. 7).

Estas cifras consideran la evolución de recursos de molibdeno con precios de largo plazo, que son sustancialmente más bajas a los precios actuales.

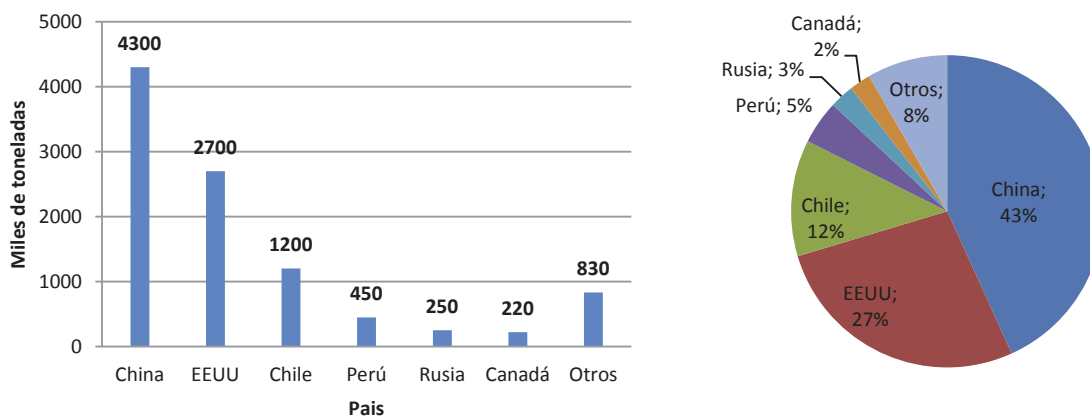


Figura 7: Principales reservas mundiales de Molibdeno [Miles de toneladas]

3.1.2.2 Producción

Para los años 2012 y 2013 se proyecta una producción de 283 y 299 mil TM y un crecimiento de 4,1% y 5,5%, respectivamente. A nivel mundial la mayor producción en 2012 respecto de 2011(11000 TM) provendría principalmente de las operaciones mineras de Freeport, China Molibdenum y un conjunto de pequeños productores situados en China. En tanto, el aumento de 2013 respecto de 2012 (16000 TM) se debe a la recuperación de la producción de molibdeno en CODELCO (División Chuquicamata, Radomiro Tomic y Andina) y al mayor aporte productivo de operaciones pertenecientes al Grupo México (ver Tabla I).

Tabla: Proyección producción de Molibdeno por empresa [Miles de TM]

Compañía	2011	2012	2013
Freeport	38	40	43
Codelco	23	19	25
Grupo México	19	19	24
China Molybdenum	20	23	24
JDC (China)	15	15	15
Thompson Creek	13	12	15
Rio Tinto	14	11	11
Antofagasta	9,9	12,8	13
Teck	4	3	3
Collahuasi	6,7	3,5	4
Anglo Sur	0,9	0,8	0,9
Otros China	69	78	79
Rusia	13	14	14
Otros	28	32	28
Total	272	283	299

3.1.2.3 Consumo

Se estima que el consumo mundial de Molibdeno en el año 2012, se concentró en la industria de los aceros, la cual representa el 75% de la demanda total. Esta demanda se subdivide principalmente en aceros inoxidables (37,4%), aceros de baja aleación y alta resistencia (27,9%) y aceros para herramientas (5,9%).

Se destacan además el uso del molibdeno metálico en la fabricación de superaleaciones y en el uso de compuestos químicos en la industria de los catalizadores.

3.1.3 Procesamiento del Molibdeno

El destino final del molibdeno es principalmente el acero inoxidable, con contenidos de hasta un 6% de Mo, usado en la construcción, piezas de aviones, de automóviles, superaleaciones en base níquel para catalizadores en la industria petrolera, las industrias aeroespacial, automotriz, de herramientas quirúrgicas, en la fabricación de ampollitas (filamento), pantallas de LCD, etc. Pues bien, para llegar a ser apto para su uso, primeramente el producto mineral (Molibdenita) debe ser transformado, ó en menores instancias debe ser refinado, para posteriormente producir productos comúnmente usados para la fabricación de aceros y otros, tales como trióxido de Mo (MoO_3) técnico y puro, ferro molibdeno, y sales de molibdeno.

3.1.4 Precio del Molibdeno

El precio referente en el mercado del molibdeno es el óxido (MoO_3), el precio se publica semanalmente en la edición de Platts Metal Week, con 57% de contenido de molibdeno aproximadamente. Este precio sirve como referencia para fijar las condiciones comerciales de los contratos entre productores y consumidores. Este precio corresponde al valor promedio ponderado de volúmenes de material y valor monetario transado en el periodo de una semana en los mercados de Europa, Estados Unidos y Japón. No se incluye en el cálculo de este precio volúmenes transados en China.

En términos reales el promedio de los últimos 33 años (1980-2012) se sitúa en 13,3 US\$/lb, en la Fig. 8 se observa cómo ha ido evolucionando el precio del molibdeno entre el año 2005 y 2012, con un máximo de 31,7 US\$/lb en 2005. Este valor fue impulsado por la acelerada expansión de demanda de China y, al mismo, una lenta reacción de la oferta. Debido a la crisis económica que afectó a todo el mundo, el precio del molibdeno disminuyó considerablemente llegando a estar a 8,42 US\$/lb en marzo del 2009.

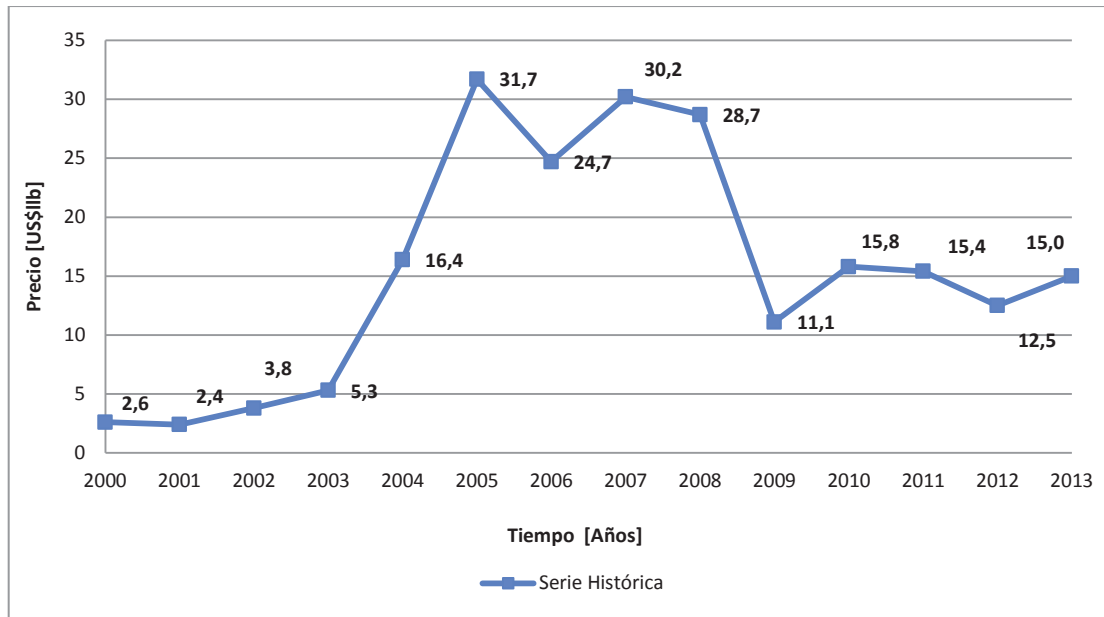


Figura 8:Proyección precio Oxido de Molibdeno [US\$/lb]

3.2 Fundamentos

3.2.1 Flotación ^[3]

La flotación es un proceso fisicoquímico usado para separar minerales finamente divididos en líquidos adhiriéndolos a burbujas de gas para proveer el empuje selectivo de las partículas sólidas. Es el proceso de menor costo y más usado para separar minerales químicamente similares. Se realiza en estanques conocidos como “celdas” las cuales pueden ser mecánicas o neumáticas.

Este proceso aprovecha las características de los minerales, flotando aquellos que tienen una menor afinidad con el agua (hidrofóbicos o aerofílicos). Los metales nativos, sulfuros de metales o especies tales como grafito, carbón bituminoso, talco y otros, pertenecen a esta categoría. Por otra parte, los minerales que son *óxidos*, *sulfatos*, *silicatos*, *carbonatos* y otros son hidrofílicos (o aerofóbicos).

En resumen, es necesario incrementar la propiedad hidrófoba en las partículas minerales de una pulpa para facilitar la flotabilidad. Esto se efectúa con reactivos llamados colectores, que son generalmente compuestos orgánicos de carácter heteropolar, es decir, una parte de la molécula es un compuesto que no presenta *polaridad* (hidrocarburo) por lo que prácticamente no reacciona con el agua y la otra es un grupo polar.

La partícula queda cubierta por el colector que se adhiere a su superficie por medio de su parte polar, de forma que la parte apolar queda de cara al líquido, proporcionándole las propiedades hidrofóbicas.

Además de la adición de colectores, se adiciona un espumante, cuyo fin es promover la retención de las partículas que han sido flotadas por el efecto del colector, debido a la propiedad aerofílica que le han concedido.

El medio en el cual se efectúa la separación consta de tres fases:

- Fase líquida: Generalmente agua química y físicamente muy activa.
- Fase gaseosa: Usualmente aire.
- Fase sólida: Esta corresponde al mineral alimentado, por lo que puede tener gran cantidad de variaciones.

Las burbujas de aire actúan como globos que poseen el empuje suficiente para llevar ciertas partículas del mineral a la superficie, donde una espuma estable retiene el mineral y permite retirarlo como concentrado. Las moléculas que no se adhieren preferencialmente a las burbujas de aire, permanecen sumergidas y se van al fondo como colas.

3.2.2 Estructura y flotabilidad natural de la Molibdenita^[4]

La molibdenita tiene una estructura unitaria hexagonal, mostrando la presencia de capas de coordinación triangular prismática poliédrica, cada átomo de molibdeno está rodeado por un prisma triangular de 6 átomos de sulfuro en los vértices del prisma triangular.

El bisulfuro de molibdeno (MoS_2), está constituido por repetitivas capas laminares, una sobre la otra, de S-Mo-S.

Dos tipos de enlaces químicos pueden ser establecidos entre átomos, los cuales forman la estructura cristalina de la molibdenita: un enlace covalente entre los átomos de S y Mo (enlace S-Mo) y enlaces Van der Waals-London entre capas de S-Mo-S, los que son considerablemente débiles (ver Fig. 9).

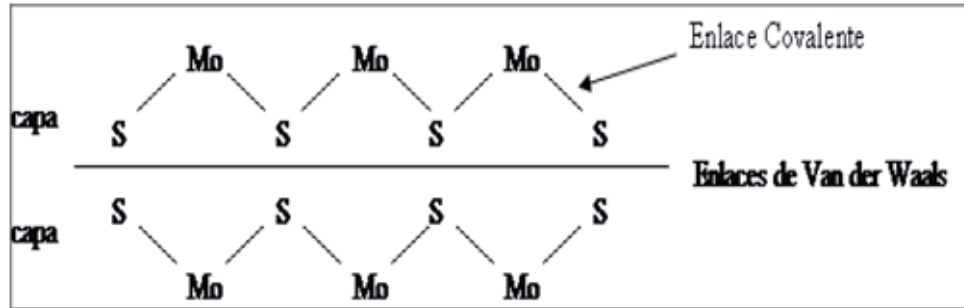


Figura 9:Tipos de enlaces entre los átomos de molibdenita

Esta semejanza estructural resulta en que sobre la superficie de la partícula de molibdenita, pueden ser encontrados dos diferentes tipos de sitios superficiales: sitios creados por ruptura de los enlaces Van der Waals, llamados caras, que son hidrofóbicos y sitios creados por la ruptura de los enlaces S- Mo denominados bordes, que son hidrofílicos (ver Fig.10).

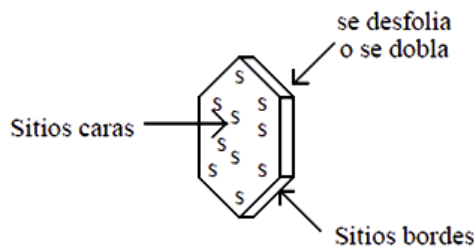


Figura 10: Relación cara-bordes de la molibdenita

Esta propiedad es compartida solamente por unos pocos minerales, tales como el talco, grafito y sulfuro, los cuales todos tienen enlaces Van der Waals de estructura laminar en sus cristales. La hidrofobicidad intrínseca de estos minerales es responsable de su flotabilidad natural.

3.2.3 Circuitos de flotación^[5-8]

Un circuito de flotación representa una solución económica al problema de tratamiento de una mena particular. La flotación industrial es un proceso continuo, en el que las celdas están arregladas en serie formando un banco que por la calidad de sus concentrados, van a tomar el nombre de circuitos. Estos circuitos de flotación generalmente están constituidos de

varias etapas, puesto que no es posible recuperar el mineral valioso y eliminar el mineral de ganga en forma simultánea en un solo paso, por lo tanto se dividen en dos grupos de acuerdo a su objetivo del proceso, como:

- **Circuitos recuperadores**

Este tipo de circuitos tiene por objetivo recuperar la mayor cantidad de especie mineral útil. Se encuentran dos tipos de circuitos que tengan esta finalidad:

- Circuito primario.
- Circuito de barrido

La etapa rougher es aquella que recupera una alta proporción de las partículas valiosas aún a costa de la selectividad, utilizando las mayores concentraciones de reactivos colectores y/o depresores, velocidades altas de agitación (1200 a 1400 RPM) y baja altura de la zona de espumas (2 a 3 pulgadas). Esta etapa produce dos productos; un "concentrado" que aún no es producto final, el cuál pasa a la etapa de limpieza y un "relave" que aún tiene mineral valioso pasa a la etapa de "apure" o recuperación.

- **Circuitos limpiadores**

El principal objetivo de estos circuitos es limpiar los concentrados, provenientes de la etapa primaria, para elevar la ley del metal útil contenido en el mineral.

Pueden existir dos tipos de circuitos limpiadores:

- Limpieza
- Relimpieza

Las etapas de limpieza que pueden ser por lo general 2 o más tienen por finalidad de obtener concentrados de alta ley aún a costa de una baja en la recuperación. En esta etapa para mejorar la selectividad, se utilizan bajos porcentajes de sólidos en las pulpas de flotación así como menores velocidades de agitación (800 a 900 RPM), mayor altura de la zona de espumas (5 a 6 pulgadas). En esta etapa generalmente no se adicionan reactivos colectores y espumantes, solo ocasionalmente se agrega el depresor con el fin de incrementar la selectividad de la flotación. Los relaves de estas etapas no se descartan, son reciclados a la etapa de scavenger. El concentrado de la última etapa de limpieza, constituye el concentrado final.

La etapa scavenger es aquella en que se recupera la mayor cantidad del mineral valioso. El concentrado de ésta etapa generalmente retorna a la etapa de desbaste y el relave constituye el relave final del circuito.

En los procesos de flotación, es necesario distinguir los siguientes términos:

Flotación colectiva; se produce la separación de varios componentes en dos grupos, de los cuales el concentrado contiene por los menos de dos o más componentes.

Flotación selectiva o diferencial, se realiza la separación de compuestos complejos en productos que contiene no más de una especie individualizada.

3.2.4 Parámetros básicos de flotación

En la evaluación del proceso los parámetros más importantes y la ley de concentrado, en los cuales existe una relación de dependencia, generalmente un aumento de la ley del concentrado significa una menor recuperación.

3.2.4.1 Recuperación (%R)

Se define como el porcentaje de materia útil del mineral que es trasferido, por las operaciones de concentración desde la alimentación del proceso al concentrado. Se expresa:

$$\% R = \frac{C_c}{F_f} * 100 \quad (2)$$

Donde:

F= masa de mineral alimentado al proceso.

f= ley de cabeza.

C= masa de concentrado.

c= ley del concentrado.

La recuperación puede expresarse en términos de leyes, de la siguiente manera:

$$\% R = \frac{c(f-t)}{f(c-t)} * 100 \quad (3)$$

Con t= ley de relave.

3.2.5 Flotabilidad de la Molibdenita y la acción de los colectores^[5,9]

Los colectores son compuestos orgánicos utilizados en la flotación de minerales, cuya función es dar a las partículas o mineral de interés que se desea recuperar el carácter de hidrofóbica, mediante la adsorción de este en la superficie de las partículas. El colector por excelencia utilizado en la flotación de sulfuros es el xantato, que ejerce un liderazgo casi absoluto en los colectores industrialmente utilizados.

En general los reactivos colectores, son de 2 grupos tipos:

- Tiólicos o sulfídricos, tiene grupos SH, tiol
- Cadena larga: Aniónicos o Catiónicos

Los colectores tiólicos, xantatos (alquilditiocarbonatos) presentan una estructura principal como se muestra en la Fig. 11.

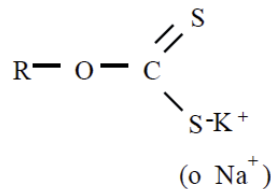
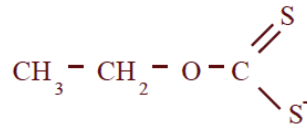


Figura 11: Estructura principal de colectores tiólicos.

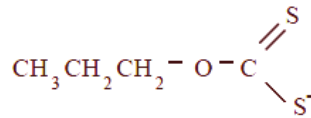
Los xantatos son sales alcalinas de ácido xantático, que es poco soluble en agua, a diferencia de estas son muy solubles. La especie activa es el ion xantato. Estos colectores fueron descubiertos y patentados en la década del 20, y siguen siendo lo más empleados para flotar minerales sulfurados. La variable más importante en estos compuestos es la longitud de la cadena carbonada, R, que puede ser cadena normal o ramificada y de distintos números de carbono, ver Fig.12.

R=etil



etilxantato

R=propil



propilxantato

Figura 12: Tipos de xantatos

Si aumenta la longitud de R, disminuye la solubilidad de la sal sódica, aunque aumenta el poder colector del xantato (mayores recuperaciones), no obstante la selectividad es menor, lo que significa obtener concentrados de menor ley, ya que particularmente flota ganga y sobre todo si es muy fina^[5].

La molibdenita siempre ha sido considerada como uno de los sulfuros que flota con mayor facilidad. Incluso, en un principio, la flotabilidad observada era de tal magnitud que se llegó a considerar innecesaria la adición de colectores para su flotación. Debe considerarse, sin embargo, que entonces no se había descubierto aun algunos espumantes como el ácido cresílico (C₇H₈O), el aceite de pino y otros, que son excelentes colectores para este mineral.

En 1936, N. G. Gomelauri^[9] encontró que la adición de etilxantato era totalmente inconveniente para la flotación de la molibdenita, ya que reducía ligeramente sus propiedades hidrofóbicas. Como explicación de ello, expresaba que el xantato era adsorbido con el mineral de tal modo que las caras hidrofílicas de las moléculas del xantato estaban dirigidas hacia el agua, mientras que las caras hidrofóbicas eran adsorbidas por la superficie del mineral.

Sin embargo, esto fue desvirtuado posteriormente por nuevas investigaciones, las que determinaron el efecto favorable de los xantatos sobre la molibdenita. En efecto la molibdenita no reaccionaría químicamente con los colectores aniónicos, como son los xantatos y ditiofosfatos, por lo que no se les pondría considerar como promotores. Pero trabajos realizados en Rusia especialmente, han demostrado que estos colectores también son absorbidos en la superficie de la molibdenita, promoviendo su colección.

3.2.6 Densidad de pulpa^[5,10]

Existe un porcentaje de sólido óptimo del proceso, por cuanto incide en el tiempo de residencia del mineral en el circuito.

Para minerales de cobre porfídico se consideran los siguientes porcentajes de sólidos:

- i. Etapa primaria: 30 a 45%
- ii. Etapa de limpieza: 15 a 20%

Ametov et al. (2008)^[10] argumentó que las partículas de molibdenita, debido a su peculiar factor de forma, podrían ser más sensible a los efectos hidrodinámicos que las partículas de mineral de cobre. En una pulpa agitada, partículas de molibdenita en forma de plaquetas pueden alinearse a lo largo de líneas de corriente del líquido y, por lo tanto, tienen una menor probabilidad de colisión con las burbujas. Incrementando la turbulencia podría aumentar la frecuencia de colisión y la eficiencia, y por lo tanto, aumentar la tasa de colección de partículas. Esto podría ser logrado ya sea mediante el aumento de la velocidad rotacional del impulsor o reduciendo el porcentaje de alimentación de sólidos. Un mayor porcentaje en volumen de sólidos produce mayor viscosidad de la suspensión, particularmente en el caso de partículas que interactúan^[18]. La reducción del porcentaje de alimentación de sólidos reduce la viscosidad de la suspensión y aumenta la turbulencia, que tiene a su vez un efecto positivo en la eficiencia de colisión partícula-burbuja.

3.2.7 Equipos de flotación^[5,7,8]

Una máquina de flotación es esencialmente un reactor que recibe el nombre de celda de flotación. Ahí se produce el contacto burbuja partícula, la adhesión entre ellas y la separación selectiva de la especie.

La maquina o celda de flotación debe ser capaz de:

- Mantener una adecuada suspensión y dispersión de la pulpa.
- Posibilitar la incorporación de gas (aire).
- Disponer de una zona sin turbulencia, para formación y remoción de la espuma.
- Ser adecuada a las necesidades de recuperación y/o calidad (ley) del concentrado.
- Permitir la variación de algunos parámetros operacionales (flujo de aire, nivel, etc.).

3.2.7.1 Celdas mecánicas

Son las más comunes y las más usadas en la industria. Se caracterizan por tener un impulsor o agitador mecánico (rotor o impeler). Alrededor del eje del rotor se tiene un tubo concéntrico hueco que sirve de conducto para el ingreso del gas al interior de la pulpa, lo que ocurre en el espacio entre el rotor y un estator o difusor donde es dispersado en pequeñas burbujas (1-3 mm).

En la zona próxima al arreglo rotor-estator existe una gran agitación de la pulpa, para favorecer el contacto-burbuja. A partir de un nivel medio de la celda se tiene una zona menos turbulenta, donde el agregado burbuja-mineral hidrófobo asciende con menor probabilidad de romperse. A medida que las burbujas se mueven al nivel del labio de la celda, son arrastradas fuera por el empuje de las burbujas que vienen atrás. En la Fig. 13 se muestra una celda mecánica Wenco.

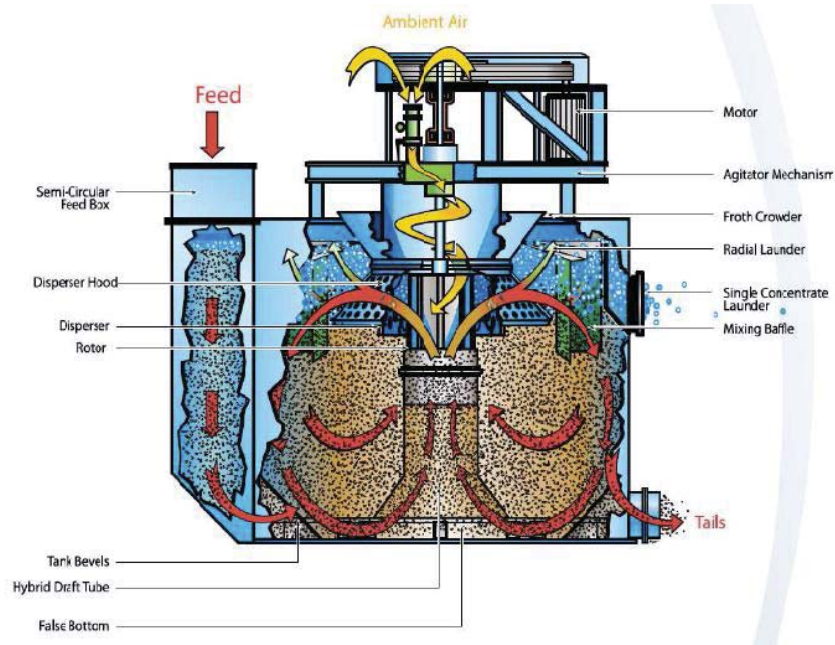


Figura 13: Celda mecánica Wenco

3.2.7.2 Celdas columnares

Las celdas de columna son equipos neumáticos muy utilizados en flotación, en especial en etapas de limpieza de concentrados. Se caracterizan por la producción de concentrados de mayor ley que las celdas mecánicas, aunque con una recuperación menor.

Típicamente tienen un altura de 9 a 15 m. Pueden ser cilíndricas o rectangulares. Es común encontrarlas en combinaciones de 4 a 16 secciones de 1 m² en una misma estructura.

La flotación en columna, contrariamente a la flotación convencional, opera en un sistema a contracorriente con las burbujas de aire elevándose a través de una corriente ascendente de pulpa y agua de lavado. El tamaño estará determinado principalmente por las necesidades de operación así como las características del mineral a beneficiar. En las columnas la ausencia de agitación permite que los sólidos fluyan uniformemente y el contacto sólido-gas se realice a contracorriente a través de toda la sección de flotación. En todo el trayecto, cada partícula y burbuja aprovechan productivamente su tiempo de residencia. Esta puede ser la explicación de porque las celdas convencionales requieren alrededor de ocho veces más aire por pie cúbico que el necesario en columnas.

La Fig. 14 indica la ubicación física de los instrumentos de control en la columna donde FT1 es el transmisor de flujo de agua de lavado, FT2 es el transmisor de flujo de alimentación, FT3 es el transmisor de flujo de colas, FI1 es el indicador de flujo de agua de lavado, FI2 es el indicador de flujo de aire, NT1 es el transmisor de nivel superior, y por NT2 que es el trasmisor de nivel inferior.

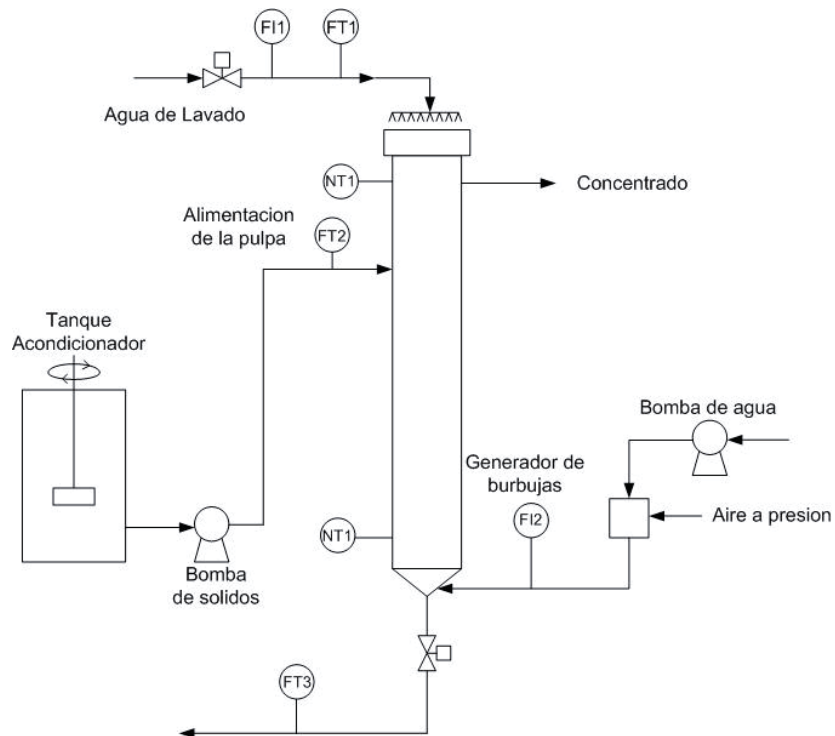


Figura 14:Diagrama de columna de flotación

La columna de flotación, de acuerdo a su funcionamiento se divide en dos zonas: zona de recuperación o flotación y zona de limpieza.

- Zona de recuperación

También conocida como zona de colección. Esta zona está limitada en la parte superior por el punto de alimentación de la pulpa y en la parte inferior por el punto de descarga de colas. Aquí se tiene un flujo a contracorriente entre la pulpa alimentada que desciende, y las burbujas que ascienden.

Las partículas del mineral se ponen en contacto con estas burbujas de aire producidas por un generador de burbujas en la base de la columna. Las partículas con características hidrofóbicas (flotables) chocan con las burbujas adhiriéndose a ellas, para después ser transportadas hasta la parte superior en dirección a la zona de limpieza.

- Zona de limpieza

La zona de limpieza se caracteriza por el flujo de agua de lavado que desciende, bañando completamente a las burbujas de aire que ascienden, eliminando a las partículas que no están adheridas a ellas.

Esta es una razón por lo cual es necesaria el agua de lavado; otra razón es para mantener un balance de agua en la columna, ya que el concentrado que se descarga lleva consigo agua la cual se compensa mediante la adición de agua de lavado. A este balance de agua se le llama sesgo.

La velocidad de descenso de agua es mayor que la velocidad de ascenso de la burbuja por lo que las partículas de ganga descienden por el movimiento impartido por el flujo de agua.

3.2.8 Variables de operación de flotación columnar^[16]

Las variables, según su efecto y naturaleza en el proceso de flotación en columna, son las siguientes:

- Ley de concentrado: Corresponde a la fracción de metal valioso que se encuentra en el concentrado. El concentrado está formado en su mayoría por material valioso, pero contiene ganga en pequeñas cantidades. La ley de concentrado se define por la siguiente expresión:

$$\text{Ley de concentrado} = \frac{\text{Peso del metal valioso en el concentrado}}{\text{Peso total de mineral en el concentrado}} \cdot 100 \quad (2)$$

- Holdup de aire: Cuando se introduce aire a una celda se produce un desplazamiento de pulpa. La fracción volumétrica desplazada se denomina holdup de aire o contenido volumétrico de aire y se representa por:

$$\text{Holdup} = 1 - \frac{P_s - P_t}{\rho g(H_s - H_t)} \cdot 100 \quad (3)$$

Donde:

P_s = presión superior.

P_t = presión inferior.

$(H_s - H_t)$ = diferencia de alturas de sensores de presión.

ρ = densidad de pulpa.

g = aceleración de gravedad.

- Bias: es una variable de control en flotación columnar, representa la fracción neta de agua que fluye a través de la espuma y asegura una acción de limpieza evitando el arrastre hidráulico de partículas finas. Se considera un bias positivo cuando el agua de lavado es superior al agua recuperada en el concentrado, y entonces parte del agua fresca se recupera en el relave de la columna.
- Altura de espuma: Corresponde al tramo desde el tope de la columna hasta la interfase (división entre la zona de colección y limpieza). La altura de espuma es una variable de control importante en la selectividad del proceso de flotación. Una columna de flotación opera generalmente con lechos de espuma que varían entre 0,5-1,5 metros. Una mayor altura de espuma favorecerá el drenaje de la ganga arrastrada obteniéndose un concentrado de alta ley. Al aumentar la altura de espuma también disminuye la recuperación, producto del mineral valioso que cae por gravedad debido a la pérdida de líquido de las burbujas o a la coalescencia entre ellas.

- Flujo de aire: El flujo de aire es una variable que el operador manipula en columnas de flotación. Este tiene gran influencia en la recuperación del mineral flotado, ya que actúa como medio de transporte para las partículas hidrófobas y como medio de agitación. Dentro de los límites de estabilidad de la columna, la recuperación del mineral flotado normalmente aumenta con el aumento del flujo del aire hasta alcanzar su valor máximo.
- Flujo de agua de lavado: El flujo de agua de lavado es una variable que el operador manipula en columnas de flotación. El agua se agrega sobre el tope de la espuma para evitar el arrastre de ganga al concentrado, favoreciendo la limpieza y la reducción de los insolubles.
- Flujo de relaves: Es el flujo de contiene mineral no flotado, en su mayoría mineral inerte que tiene gran afinidad con el agua (hidrófilo) el cual es eliminado por el fondo de la columna. El flujo de relaves se manipula según los requerimientos de altura de espuma o nivel de pulpa del operador.
- Flujo de alimentación: Corresponde al flujo de pulpa que entra a la columna, el cual posee el mineral de interés que finalmente será concentrado.

3.3 Microscopía^[11,12]

La microscopía de luz reflejada constituye una herramienta muy valiosa en el estudio de las características mineralógicas de las menas. La práctica de microscopía en el proceso de flotación, a través del comportamiento del mineral a la luz, permite calificar a los minerales como opacos, muchos de ellos dentro del grupo de sulfuros y sulfosales, asociaciones, tamaño de partículas, etc.

3.3.1 Información composicional

En primera instancia es necesario conocer a que mineral o minerales está ligado el elemento que finalmente se va a obtener.

Existen menas en las que debido a procesos de oxidación posterior, sus minerales no responden al proceso de flotación, ocasionando grandes pérdidas. Por este motivo la tecnología cuenta actualmente con procesos mixtos que permiten el tratamiento de menas oxidadas, para lo cual se hace todavía más imperiosa la colaboración del microscopista, con la información del grado de oxidación presente en un yacimiento y las nuevas especies formadas.

Información valiosa constituye el clivaje de los minerales ya que ello tiene gran importancia en la molienda y por lo tanto el microscopista está obligado a reportar cualquier mineral que genere pérdidas. Información adicional sobre propiedades magnéticas, peso específico, solubilidad de minerales es determinante para la seleccionar las alternativas para enfrentar los distintos escenarios.

3.3.2 Información textural

Debido a que la mayor parte de estudios aplicados a los procesos de flotación trabajan con la mena reducida a partículas, se muestra a continuación características geométricas de las mismas.

3.3.2.1 Rasgos texturales internos de una partícula mineral

Partículas homogéneas, mineralógicamente hablando es raro encontrar partículas verdaderamente homogéneas. En gran parte de los casos se va a tener minerales acompañados por la cristalización de fases minoritarias, que resultan en la formación de inclusiones, desmezclas, etc.

En muchos de estos casos, una molienda primaria, económicamente razonable no logra dar buenos resultados, teniéndose a recurrir, cuando se trata de minerales valiosos, a moliendas de los concentrados primarios, sobre todo si el mineral anfitrión es poco deseable para el beneficio posterior del metal.

En tanto las partículas heterogéneas, son bastantes frecuentes en las menas y en algunos casos, cuando no se tiene un estudio microscópico previo, pueden ocasionar serias interrogantes al metalurgista.

Las inhomogeneidades en una partícula mineral pueden ser de tipo físico o químico. Al primer tipo corresponden principalmente las maclas, las imperfecciones en la estructura cristalina y porosidad. Las inhomogeneidades de tipo químico se manifiestan en forma ordenada como zonamientos o bandeamientos y en forma muy irregular dentro de la partícula mineral.

Las imperfecciones físicas o químicas de los minerales afectan tanto la molienda como la flotación de las partículas sometidas a los procesos de flotación.

Finalmente, se podría considerar como partículas heterogéneas aquellas que contienen inclusiones. Muchos minerales portadores de elementos valiosos, tales como minerales del grupo del platino, oro, cobre, molibdeno, sales de plata, se encuentran como inclusiones.

En la Tabla II se reúnen las inclusiones más frecuentes y sus minerales albergante.

Tabla II: Ejemplos de inclusiones frecuentes	
Mineral albergante	Mineral como inclusión
Bornita	Cobre gris
Sílice	Cobre, molibdeno
Cuprita	Cobre nativo
Calcopirita	Bornita, pirrotita
Pirita	Oro

3.3.2.2 *Rasgos texturales externos de una partícula mineral*

Los rasgos texturales externos de una partícula mineral, abarcan los siguientes tres aspectos fundamentales:

- Tamaño de grano
- Forma del grano
- Intercrecimientos

Por diferentes variables en el proceso de cristalización, los granos minerales pueden o no conservar la forma plana de las caras correspondientes a un cristal individuo. El caso más general está representado por agregados de las formas más diversas. La presencia de granos limitados por contornos muy complicados, son de especial importancia en la caracterización de la mesa ya que generalmente constituye la causa de bajos grados de liberación.

En la práctica el concepto del tamaño de grano tiene diferente significado para el microscopista y para el ingeniero. El tamaño del grano puede ser homogéneo o heterogéneo variando de uno a otro tipo, de acuerdo a la génesis del yacimiento.

Los minerales se presentan en una amplia gama de arreglos geométricos (intercrecimientos) que son particulares para cada tipo de yacimiento. Desde el punto de vista de la molienda podemos clasificar los intercrecimientos en forma global como simples y complejos. Los intercrecimientos simples están representados por arreglos de minerales cuyos contactos a nivel de una partícula son rectos o ligeramente curvados. Contrariamente, los intercrecimientos complejos son todos aquellos arreglos con contactos mixtos muy caprichosos o inclusiones muy finas de liberación. Los intercrecimientos complejos dan como resultados gran producción de finos, sobre todo cuando los minerales no están suficientemente cohesionados.

Para efectos de cuantificación es necesario agrupar los intercrecimientos de una mena en tipos. Para esta tarea existen tablas confeccionadas especialmente para el estudio de problemas.

Sin embargo, es conveniente confeccionar un pequeño atlas de intercrecimientos de la mena que se está tratando, el cual debe ser hecho a la medida a medida que se va realizando las investigaciones sistemáticas previas a los estudios de control mineralógico. Esta documentación gráfica permitirá al metalurgista conocer en forma objetiva el mineral que va a tratar y las limitaciones texturales para la liberación de las partículas.

3.3.3 Sistemática de los estudios microscópicos aplicados a flotación

3.3.3.1 La preparación de muestras

Gran parte del éxito de los estudios que requieren mediciones cuantitativas, depende de la preparación de muestras. Para la confección de secciones pulidas se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Separar el material en diversas fracciones granulométricas.
- Montar las partículas en resinas de fraguado en frío tratando de evitar efectos de sedimentación.
- No usar materiales cuyo fraguado requiera calor, ya que algunos minerales son sensibles a incrementos de temperatura, aun por debajo de 100°C.
- Evitar las aglomeraciones de material ya que puede ser una fuente de error en los análisis cuantitativos.

3.3.3.2 Directivas para el estudio de muestra

La información composicional y textural es posible de ser cuantificada por el método de conteo de puntos. Este se basa en una relación que existe entre la cantidad de puntos explorados en una muestra y el contenido mineralógico de la misma. Para iniciar los estudios cuantitativos, es necesario evaluar los reportes microscópicos previos para evitar sorpresas durante el momento del conteo, que debe ser un trabajo de rutina, cuando el microscopista conoce a la mena la que está sometiendo a análisis cuantitativos.

El microscopista debe contar con la mayor información posible de la mena, tanto la de carácter mineralógico, como la información química (leyes). Todo será de valiosa ayuda en la interpretación de resultados. Cuando se trate de cuantificar tipos de intercrecimientos es necesario contar con un patrón o tabla de tipos de intercrecimientos ya sea tomada de la literatura técnica o elaborada por el propio usuario.

La microscopía aplicada al proceso de flotación comprenderá el estudio relacionado a las fases de quebrantamiento, molienda, clasificación, separación y concentración. Los siguientes criterios y finalidades son válidos para el trabajo sistemático de control mineralógico:

- Los estudios deben empezar con un análisis composicional, textural del material de cabeza, el que tendrá como finalidad presentar un panorama de las posibilidades de recuperación y contrastar con los resultados en el concentrado.
- Los estudios de los productos de clasificación, se harán comparando la distribución granulométrica para cada mineral, con la finalidad de tener un control de la eficiencia del proceso.
- El estudio de los productos de flotación nos dará información valiosa sobre la presencia de minerales no deseables en el concentrado. El análisis cuantitativo de intercrecimientos nos dirá si hay razones mineralógicas para la presencia de tales impurezas.
- En el caso de que los concentrados no alcancen el grado esperado, el estudio de los relaves es de vital importancia. Las causas de pérdidas son múltiples y en muchos casos son evitables, si se dispone de la asistencia de un microscopista.

3.4 Muestreo^[13,14]

3.4.1 Elemento de teoría de muestreo

Muestreo: Este término puede ser definido como el acto de obtener una pequeña fracción del universo total, de tal manera que las características de ese universo puedan estimarse estudiando las características de la muestra. En la práctica, las propiedades de las pequeñas muestras individuales, pueden ser más o menos diferentes de las propiedades promedio correspondiente al lote.

Lote: Es una porción de material cuya composición se desea estimar. La cantidad de material que constituye el lote, se denomina "tamaño del lote".

Incremento: Corresponde a un grupo de partículas extraídas de un lote, en una sola operación de extracción del dispositivo de muestreo. La cantidad de material que constituye un incremento, se denomina "tamaño del incremento".

Muestra: Es una porción representativa del lote, formada por la unión de varios incrementos o fracciones del lote.

Esquema de muestreo: Es una secuencia de operaciones selectivas (etapa de muestreo) y no selectiva (etapa de preparación) realizadas sobre un lote, terminando con una o varias muestras representativas del lote para su análisis físico (granulométrico y mineralógico) y/o químico. El lote constituye la cantidad total de material a muestrear, el cual puede ser por ejemplo un flujo de una pulpa o una determinada pila o lote de mineral. La muestra forma una fracción del lote que en todos los aspectos que interesan (contenido de fino, granulometría, humedad, concentración de sólidos, etc.), es representativa de dicho lote. Esta muestra en general, pasa a una etapa de preparación de muestras, donde puede ser filtrada, secada, chancada, etc., para así obtener un resultado de acuerdo al objetivo trazado para esa muestra.

3.4.2 Errores en la toma de muestras

Al tomar una muestra en terreno, es muy frecuente cometer errores; sobre todo cuando la muestra es tomada directamente de una corriente o flujo de carga, los más comunes son:

- El punto de muestreo no es el más adecuado.
- El cortador de muestra no es el correcto.

El error por punto o lugar de muestreo se debe a que es necesario considerar el lugar geográfico dentro de la instalación, condiciones del flujo en ese punto (velocidad, segregación, etc.), si existe en ese lugar caída libre del flujo para poder barrer toda el área perpendicular a esa corriente y extraer una muestra representativa, etc.

Cuando el cortador de la muestra no es el adecuado se tiene que la muestra dentro de éste salpica, la abertura no corresponde, por lo tanto produce en forma automática una clasificación, no tiene el largo suficiente para barrer todo el flujo, etc.

4 Análisis de antecedentes históricos de operación

En base a consideraciones de superintendencia se estudió el efecto de variables de operación sobre la recuperación y ley de molibdeno en el concentrado final, en la flotación colectiva.

En relación a lo anterior se efectuó también un análisis de las fases geológicas de modo de identificar la distribución de molibdeno y sus asociaciones mineralógicas ante el posible efecto de éstas por sobre la recuperación.

4.1 Recopilación de datos operacionales

El objetivo de la recopilación de datos consiste en analizar el comportamiento histórico de los resultados de planta obtenidos y sus variables asociadas, de modo de identificar su incidencia en el proceso.

Los datos para llevar a cabo un análisis de los escenarios productivos con sus respectivas variables operacionales de la planta colectiva fueron recogidos desde el sistema PI System (Plant Information System) el cual recolecta, almacena y administra los datos provenientes de la planta o del proceso.

4.1.1 Data flotación colectiva

Los datos recopilados corresponden a promedios ponderados día y mes, a continuación se muestran las variables más importantes:

- Ley de cobre y molibdeno alimentado a la flotación rougher
- Recuperación colectiva de molibdeno y cobre
- Recuperación rougher de molibdeno y cobre
- Recuperación de limpieza de molibdeno y cobre
- Ley de molibdeno y cobre en el concentrado mixto
- Porcentaje de sólidos alimentado a la flotación rougher

La planta de flotación colectiva tiene como primer objetivo la óptima respuesta metalúrgica del cobre, es por ello que se considera los resultados para el cobre en el presente estudio.

4.1.2 Ley de alimentación de Cobre y Molibdeno

En la Fig. 15 es posible apreciar las fluctuaciones históricas de las leyes de cabeza de molibdeno y cobre alimentadas a la etapa rougher. A partir del año 2010, tanto la ley de alimentación de Cobre y Molibdeno han disminuido alcanzando valores muy inferiores de alrededor de un 0,8% CuT y de un 0,006% Mo.

Por el carácter del yacimiento de cobre porfídico, la molibdenita se encuentra normalmente en forma desigual y no uniformemente diseminada, como los minerales de cobre. Es por ello que se tienen cabezas que varían ampliamente en sus contenidos de molibdenita en periodos cortos de tiempo como se puede ver para los años 2009 y 2010.

Es interesante visualizar el escenario de baja ley de molibdeno para el periodo que comprende los años 2004 y 2005 (0,006-0,0018 %Mo respectivamente), ya que son valores muy similares para los años 2011 y 2012, ante esto nos hace prever que ya se han enfrentado periodos de baja ley de cabeza de Mo, por ello se analizó los resultados obtenidos para ambos períodos.

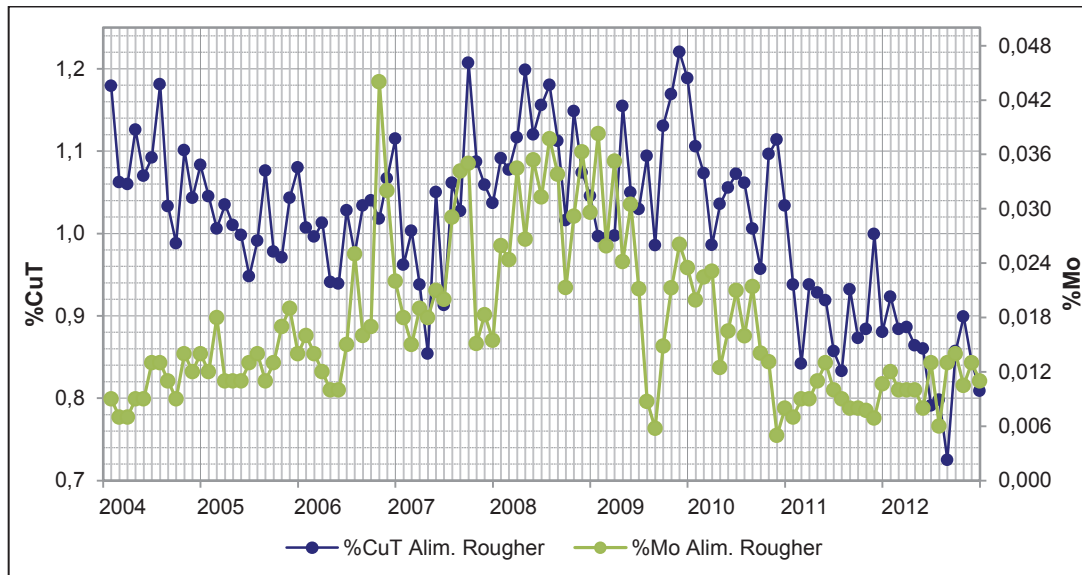


Figura 15: Ley de alimentación Cobre y Molibdeno Planta I Las Tórtolas Año correspondiente desde Enero-Diciembre

La Fig. 16 muestra la recuperación colectiva de molibdeno y el porcentaje de alimentación de Mo a la planta, como es posible apreciar la recuperación para los años 2004 y 2005 la recuperación alcanzó los mejores resultados, por sobre un 80%, en tanto la recuperación para los años 2011-2012 se mantiene bajo un 75% y un 64% respectivamente.

Ante estas observaciones, podemos afirmar que si ya nos enfrentamos a un escenario de baja ley de cabeza, es posible alcanzar hoy en día recuperaciones óptimas.

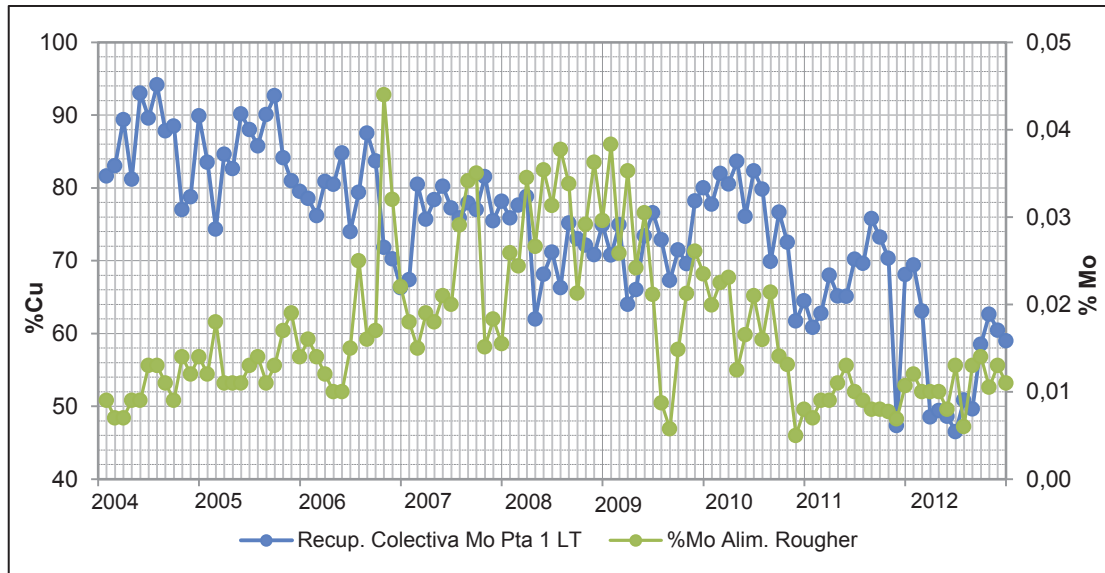


Figura 16: Recuperación Colectiva de molibdeno y Ley de alimentación de Molibdeno Planta I Las Tórtolas - Año correspondiente desde Enero-Diciembre

4.1.3 Recuperación colectiva de Cobre y Molibdeno

A continuación se analizó los resultados de recuperación colectiva y parcial por etapas de molibdeno de modo de identificar donde se encuentran las pérdidas de éste.

En la Fig.17 es posible apreciar la recuperación colectiva de molibdeno y cobre. Para los años 2004 y 2005 se muestran los mejores resultados de recuperación de molibdeno sobre un 70%, para el periodo que comprende los años 2006 y 2009 la recuperación colectiva se mantuvo sobre un 55%, sin embargo a partir del año 2010 la recuperación comenzó a caer alcanzando valores de un 50%.

El cobre es el primer generador de divisas del yacimiento, por lo tanto la planta de flotación es necesariamente operada para producir la óptima respuesta metalúrgica del cobre, esto tiene como consecuencia que se produzca comúnmente un deterioro en la respuesta metalúrgica de la molibdenita.

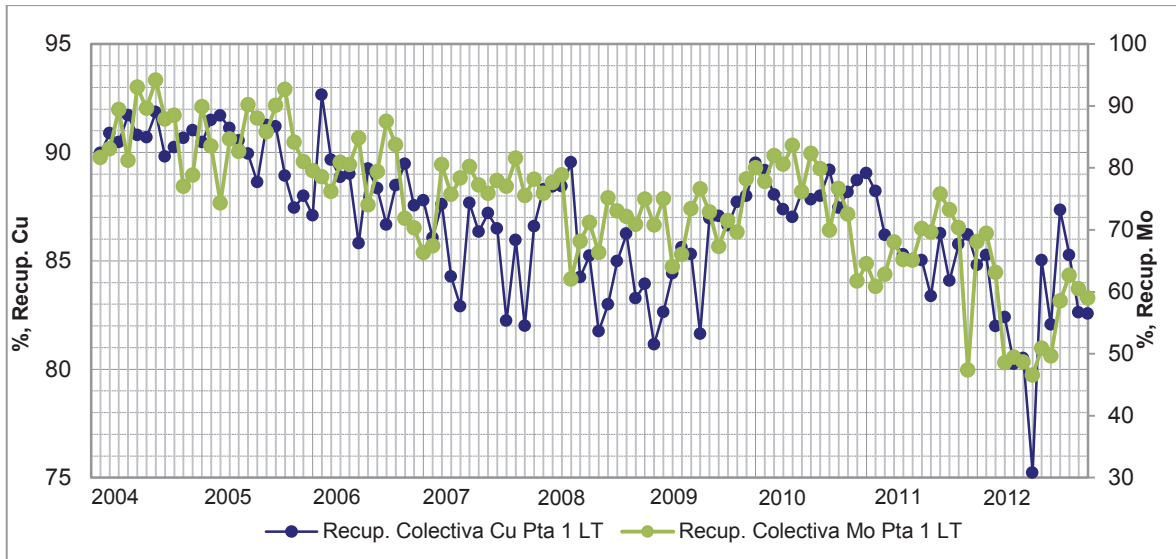


Figura 17: Recuperación colectiva de Cobre y Molibdeno, Planta I Las Tórtolas Año correspondiente desde Enero-Diciembre

4.1.4 Recuperación Rougher de Cobre y Molibdeno

Como es posible apreciar en la Fig.18 a partir del año 2004 hasta fines de año 2009 la recuperación rougher de Cobre y Molibdeno se mantuvieron por sobre un 85% y un 70% respectivamente. A partir del año 2010 hasta el año 2012, la recuperación de molibdeno presenta una pendiente negativa, alcanzó valores cercanos a un 50%.

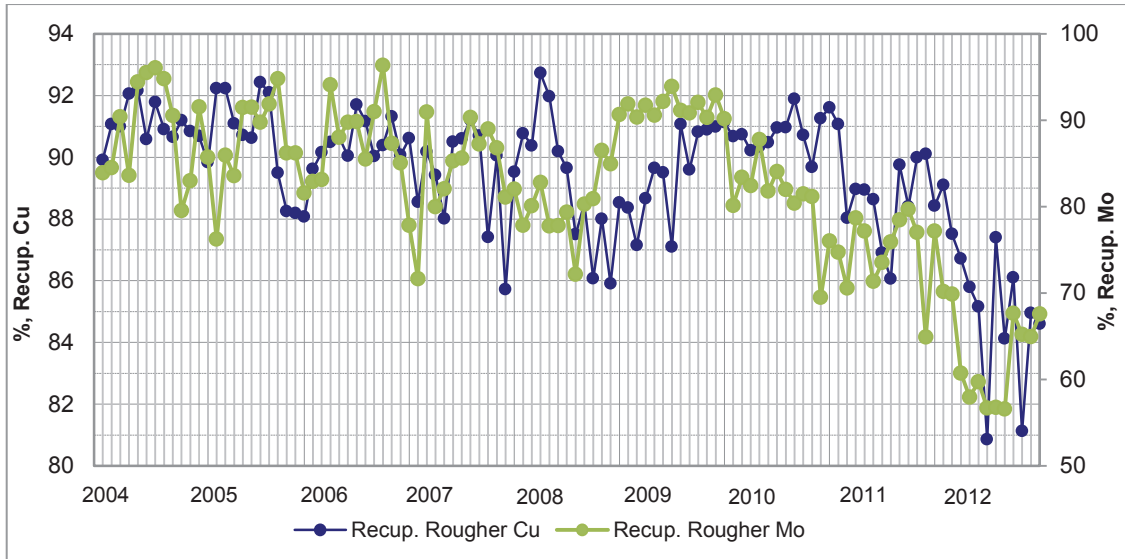


Figura 18: Recuperación rougher de Cobre y Molibdeno, Planta I Las Tórtolas Año correspondiente desde Enero-Diciembre

La primera etapa que debe entregar resultados óptimos en cuanto a recuperación corresponde a la etapa rougher, como se analizó anteriormente la recuperación de molibdeno ha caído constantemente a partir del año 2011, las pérdidas de molibdeno en esta en esta etapa son de gran envergadura, por ello se analizó las principales variables operacionales asociadas (y que históricamente se encuentran disponibles), siendo estas las siguientes:

- pH de operación
- %+#65
- %CuOx/CuT
- Porcentaje de sólidos

Los resultados indicaron que la variable que mostró relación con la baja recuperación rougher de molibdeno corresponde al porcentaje de sólidos de operación, en cuanto a las otras variables no se encontró relación alguna.

4.1.4.1 Recuperación Rougher de Cobre y Molibdeno v/s Porcentaje de sólidos

Las Figuras 19 y 20, muestran el comportamiento de la recuperación y el porcentaje de sólidos rougher (la información disponible del porcentaje de sólido es a partir del año 2008).

El porcentaje de sólidos con que se trabajó durante los años 2008-2009 fue de alrededor de 21%, a partir del año 2011 por estrategia operacional se aumentó sostenidamente alcanzando un valor histórico de 38% ya que se pretendía reducir el consumo de energía eléctrica. El aumento de porcentaje de sólidos impacta directamente en la recuperación tanto de cobre como de molibdeno y más aún en el periodo 2011-2012 donde la ley de cabeza disminuyó. En puntos posteriores se evaluó el efecto de esta variable en la recuperación.

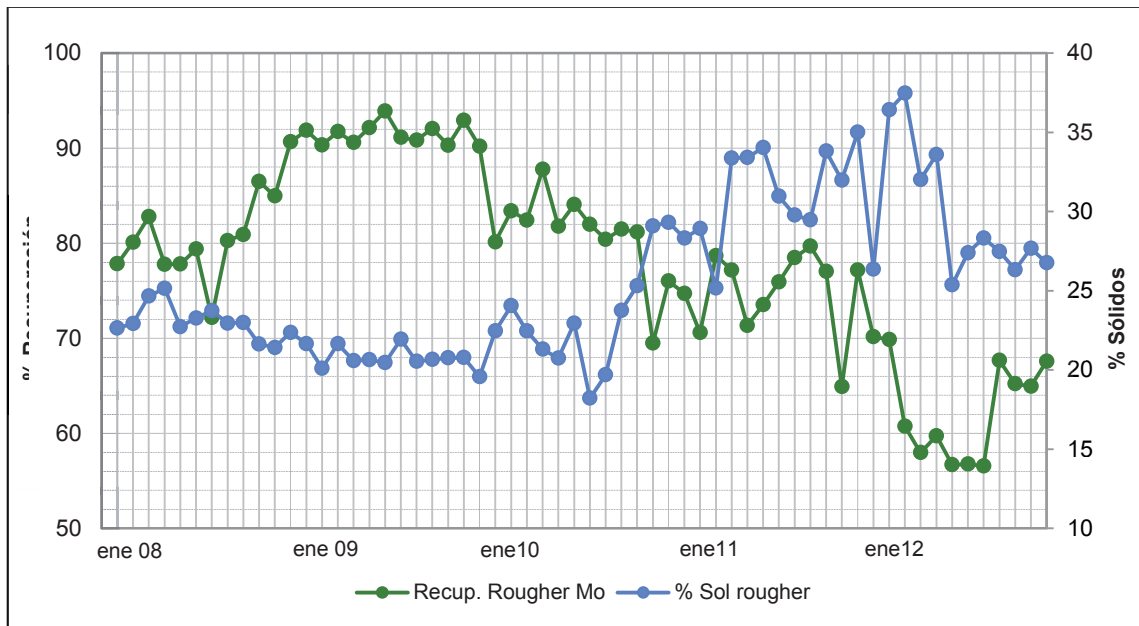


Figura 19: Recuperación rougher de Molibdeno y porcentaje de sólidos alimentación Planta I Las Tórtolas - Año correspondiente desde Enero-Diciembre

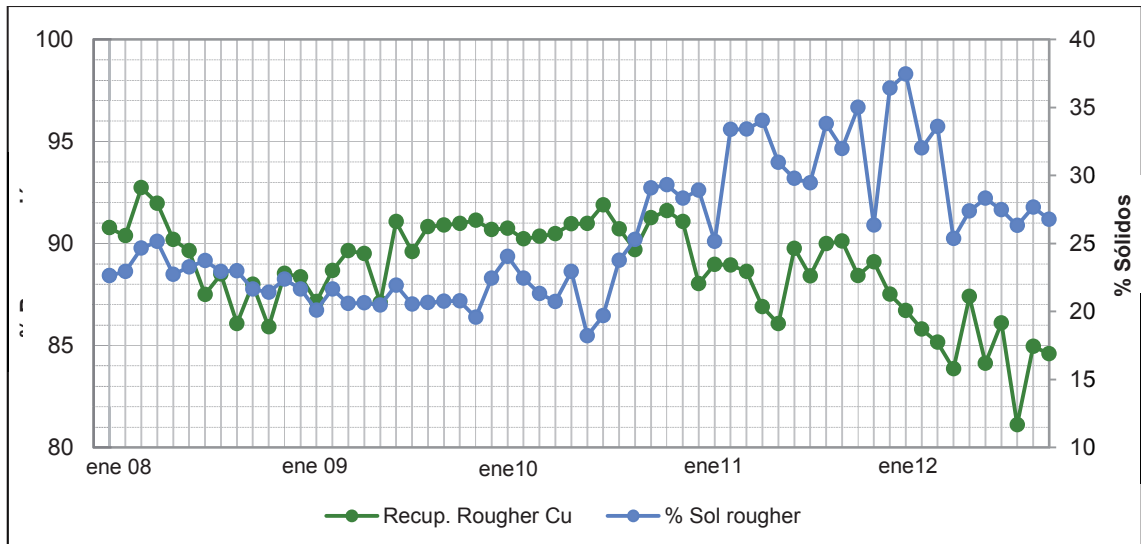


Figura 20: Recuperación rougher de Cobre y porcentaje de sólidos alimentación Planta I Las Tórtolas- Año correspondiente desde Enero-Diciembre

El aumento sostenido del porcentaje de sólido en la operación en el circuito rougher durante los últimos 3 años ha impactado en los resultados de recuperación colectiva, tanto para el cobre y especialmente para el Molibdeno, el periodo a estudiar consideró los meses de Abril a Noviembre 2012.

En las Figuras 21 y 22 se muestra la respuesta de la recuperación metalúrgica colectiva de cobre y molibdeno diario y el porcentaje de sólidos en la alimentación de flotación rougher para el periodo Abril a Noviembre 2012. En las figuras también es posible apreciar un incremento de la recuperación de cobre y molibdeno al diluir la pulpa.

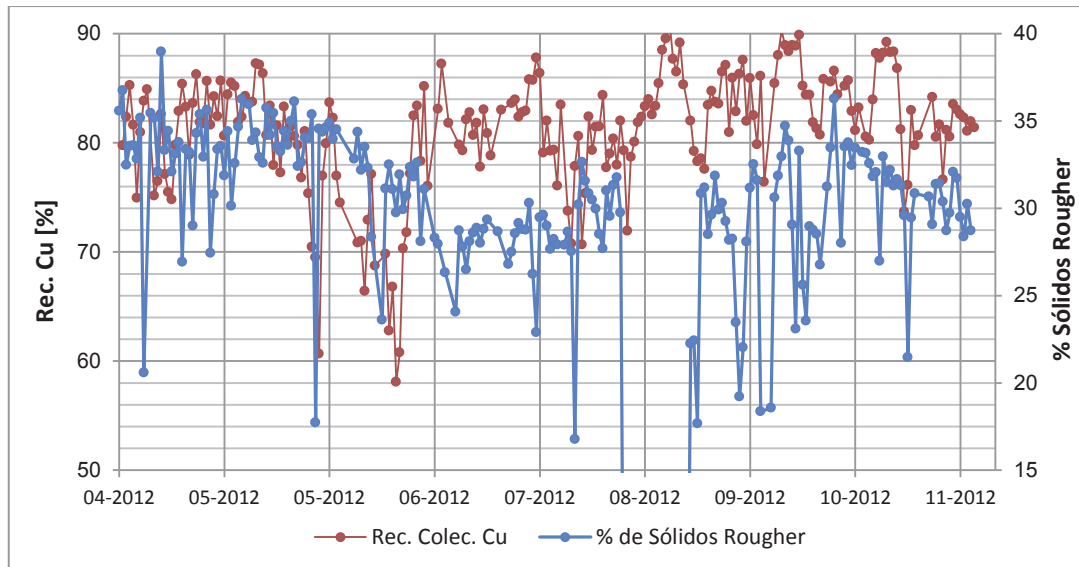


Figura 21: Recuperación Colectiva de Cu y Porcentaje de Sólidos Alimentación, Periodo Abril a Noviembre 2012.

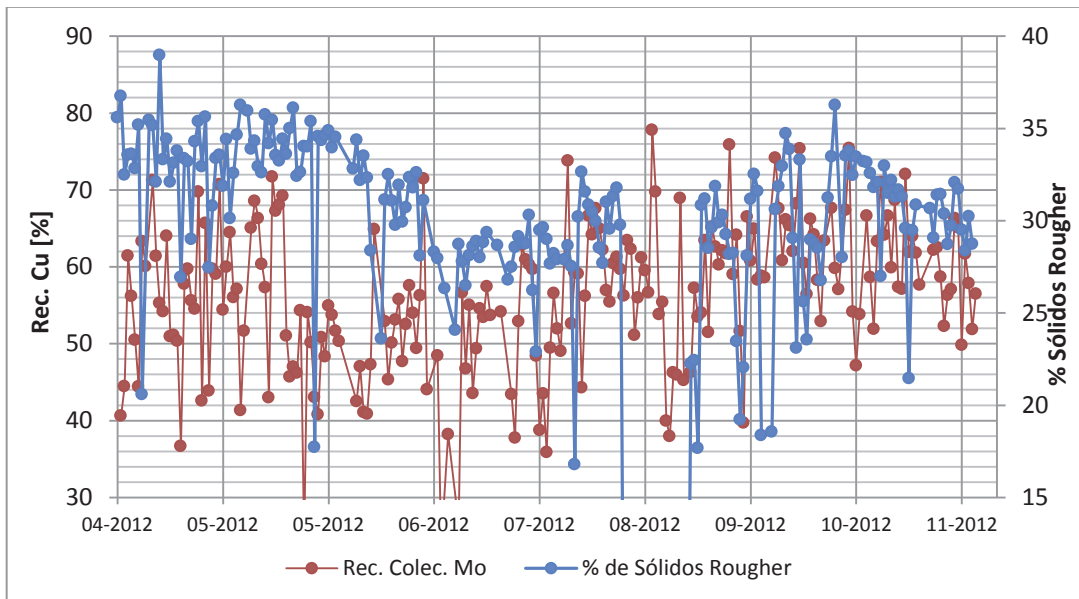


Figura 22: Recuperación Colectiva de Mo y Porcentaje de sólidos Alimentación, Periodo Abril a Noviembre 2012.

La Fig. 23, muestra el comportamiento de la recuperación colectiva de cobre para el periodo evaluado, el valor promedio observado para el periodo Abril a Julio 2012 es de 80,12%, para el periodo de Agosto a Noviembre es de 83,44%. Así, se puede observar un incremento en la recuperación colectiva de cobre de 3,3%. Este incremento es explicado en la Tabla III:

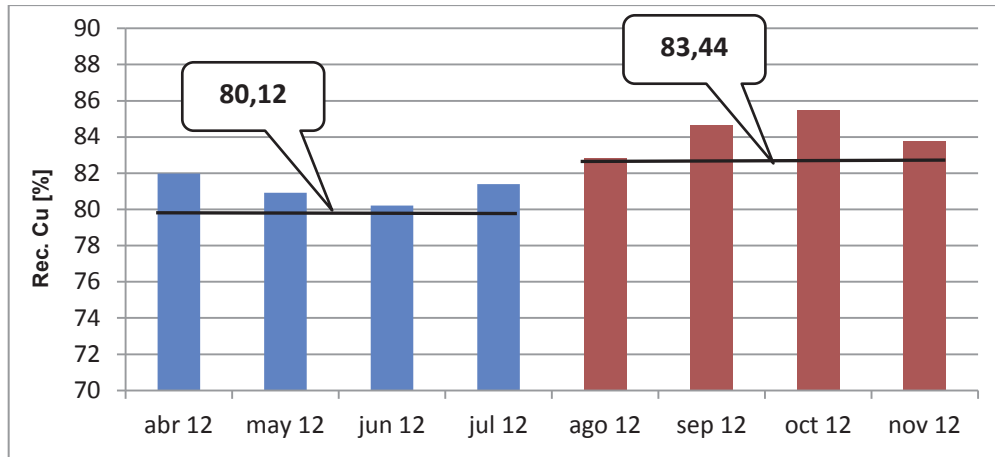


Figura 23: Recuperación Colectiva de Cobre Mensual, periodo Abril a Noviembre 2012

Tabla III: Análisis variación recuperación colectiva de Cobre			
	Abr-Jul	Ago-Nov	Efecto Rec. Cu
Rec. Colectiva Cu [%]	80,1	83,4	3,3
Porcentaje Sólidos [%]	21,9	19,3	-2,5

Así, la variación de recuperación colectiva de cobre es de 3,3 puntos asociada a la disminución del porcentaje de sólidos en un 2,5%. Este se traduce para las tórtolas un incremento en su producción anual de 5.750 tmf de cobre.

La Fig. 24, muestra el comportamiento de la recuperación colectiva de Molibdeno para el periodo evaluado Abril a Noviembre 2012, el valor promedio observado para el periodo Abril a Julio 2012 es de 52,96%, para el periodo de Agosto a Noviembre es de 60,2%. Así se puede observar un incremento en la recuperación colectiva de Molibdeno de 7,3%. Este incremento esta explicado en la Tabla IV.

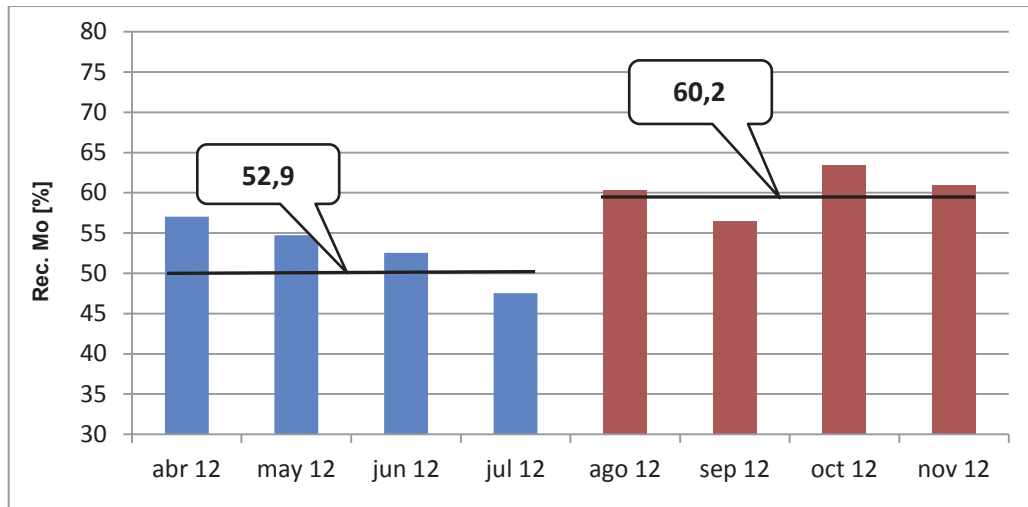


Figura 24: Recuperación Colectiva de Molibdeno Mensual, periodo Abril a Noviembre 2012.

Tabla IV: Análisis variación recuperación colectiva de Molibdeno			
	Abr-Jul	Ago-Nov	Efecto Rec. Mo
Rec. Colectiva Mo [%]	52,9	60,2	7,3
Porcentaje Sólidos [%]	21,9	19,3	-2,5

Considerando un 88% de recuperación en la etapa selectiva, el efecto neto en la producción anual de Molibdeno de la Planta I, Las Tórtolas, corresponde a un incremento de 159 tmf de molibdeno en concentrado.

El fenómeno que explica el efecto de porcentaje de sólidos según Ametov et al (2008)^[10], argumenta que las partículas de molibdenita, debido a su peculiar factor de forma, podrían ser más sensible a los efectos hidrodinámicos que las partículas de mineral de cobre. En una pulpa agitada, partículas de molibdenita en forma de plaquetas pueden alinearse a lo largo de líneas de corriente del líquido y, por lo tanto, tienen una menor probabilidad de colisión con las burbujas, incrementando la turbulencia podría aumentar la frecuencia de colisión y la eficiencia, y por lo tanto, aumentar la tasa de colección de partículas. Esto podría ser logrado ya sea mediante el aumento de la velocidad rotacional del impulsor o reduciendo el porcentaje de alimentación de sólidos. Un mayor porcentaje en volumen de sólidos produce mayor viscosidad de la suspensión, particularmente en el caso de partículas que interactúan.

La reducción del porcentaje de alimentación de sólidos reduce la viscosidad de la suspensión y aumenta la turbulencia, que tiene a su vez un efecto positivo en la eficiencia de colisión partícula-burbuja.

4.1.5 Recuperación de Limpieza de Cobre y Molibdeno

La recuperación de limpieza cómo es posible de apreciar en la Fig. 25, presenta valores óptimos, es decir sobre un 96% para el periodo 2004-2006, a partir del año 2007 hasta el año 2009, la recuperación presentó una baja alcanzando un valor histórico de un 93% para enero del año 2009. A partir del año 2010 el circuito de limpieza logro valores de recuperación por sobre un 96% hasta finales del año 2011, en tanto para el año 2012 la recuperación de limpieza presenta fluctuaciones pero manteniéndose en general sobre un 95%.

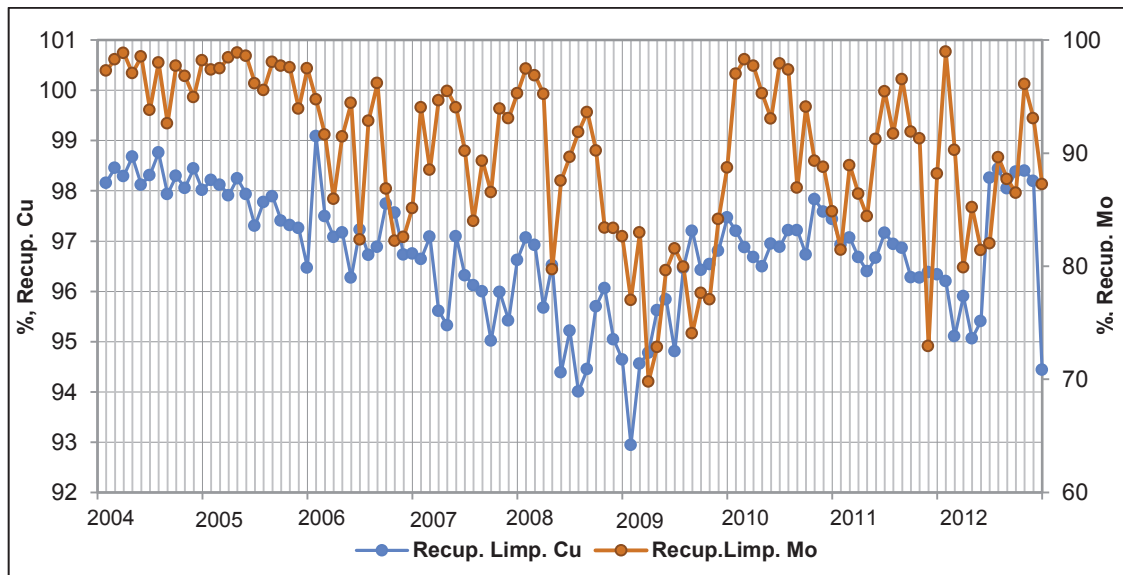


Figura 25: Recuperación de limpieza de Cobre y Molibdeno, Planta I Las Tórtolas

El objetivo del circuito de limpieza corresponde a obtener un óptimo grado de cobre y molibdeno en el concentrado mixto, por lo tanto se analizó los resultados obtenidos históricamente.

Como es posible apreciar en la Fig. 26, tanto la ley de cobre como la ley de molibdeno en el concentrado mixto presentan una disminución considerable a partir del año 2010, lo que coincide con la baja ley de alimentación a planta a partir de ese año y la baja recuperación, sin embargo, en base de una baja ley de cabeza de alimentación de molibdeno, los resultados obtenidos en periodo 2004-2005, fueron superiores a los obtenidos en el periodo 2011-2012, ante esto nuevamente nos planteamos un desafío de obtener resultados similares, es por ello que se llevó a cabo pruebas de optimización a nivel de planta que se detalla en el capítulo 5, Desarrollo Experimental.

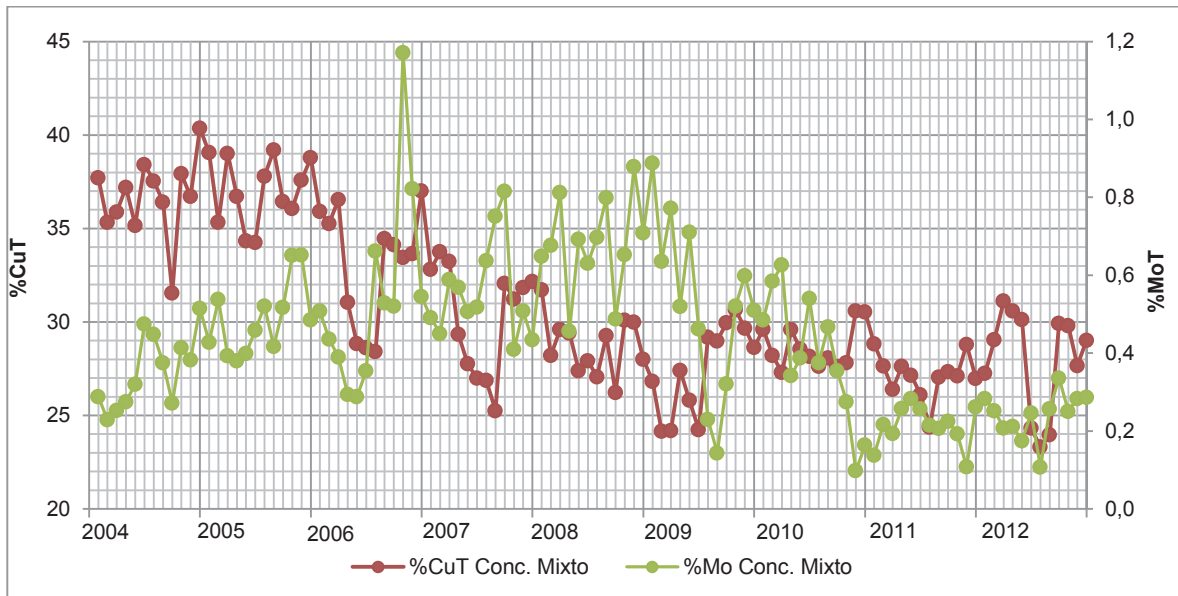


Figura 26: Ley de Cobre y Molibdeno en el concentrado mixto, Planta I Las Tórtolas

Los concentrados rougher son normalmente limpiados, al menos una vez y a menudo hasta tres veces, para producir las leyes de cobre deseadas en el concentrado. La recirculación de la cola de limpieza al circuito scavenger eventualmente conduciría a pérdidas de cierta cantidad de molibdenita en la cola scavenger, es por ello que también se valuó el concentrado scavenger, detalles en el Capítulo 5, Desarrollo Experimental.

4.2 Análisis de fases geológicas

4.2.1 Distribución de fases alimentadas y recuperación global de molibdeno

En la Fig. 27, es posible ver la distribución porcentual mensual de las fases alimentadas y la recuperación global de molibdeno desde el año 2009 al año 2012. Desde enero 2009 a Diciembre 2010, las fases Donoso 1 y Donoso Este corresponden a las fases que se alimentan en mayor proporción, seguido por Stock y menor cantidad Infiernillo, en tanto la recuperación global en este período se mantuvo por sobre un 70%. Desde Julio del año 2011 se comienza a alimentar la fase Casino y se aumenta la proporción de la fase Donoso 1 coincidiendo con la baja recuperación global de Molibdeno (>70%) que se alcanzó especialmente para el año 2012.

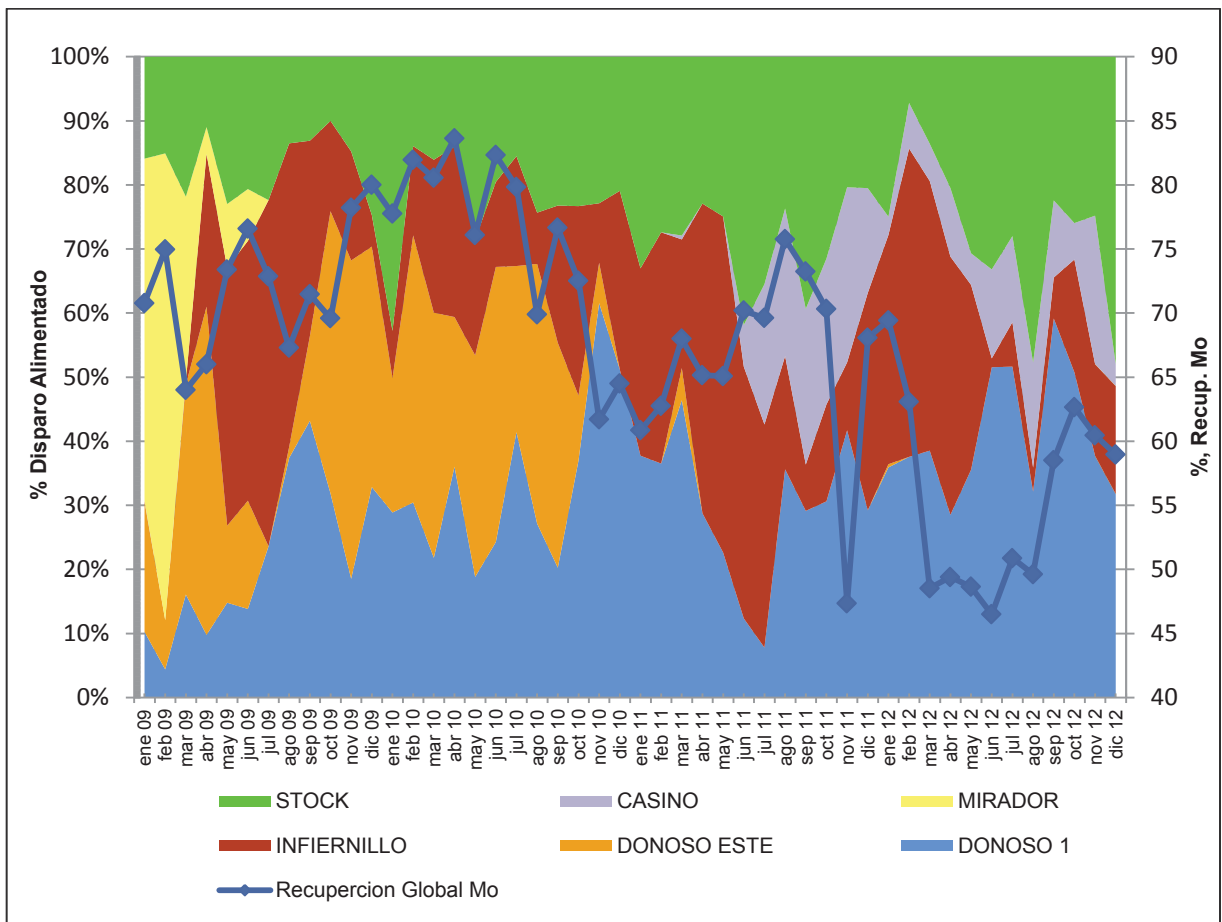


Figura 27: Distribución de fases Alimentación y recuperación global de Molibdeno, Planta I Las Tórtolas.

En las Figuras 28 y 29, se muestran la distribución de cobre total y molibdeno total en cada fase, donde es posible apreciar la caída de las leyes. El menor contenido de cobre corresponde a la fase Infiernillo y el mayor contenido a la fase Donoso 1, en tanto para el molibdeno, la fase que presenta mayor contenido de éste corresponde a Infiernillo y el menor contenido a la fase Donoso 1.

Según el plan minero, estima que la fase que se alimentará en mayor proporción continuará siendo la fase Donoso 1, ya que es la fase enriquecida de cobre, ante esto el proceso se debe preparar para leyes bajas de molibdeno como las que se han experimentado en el último período.

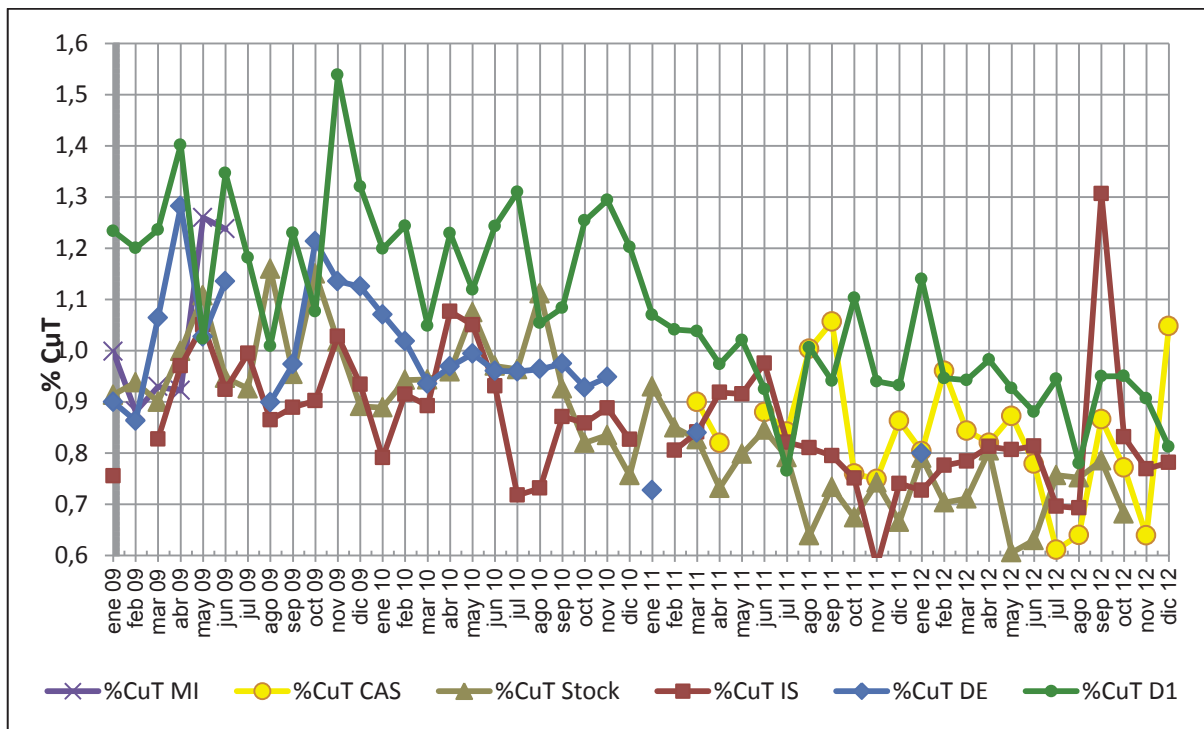


Figura 28: Porcentaje de cobre en cada fase, Planta I Las Tórtolas

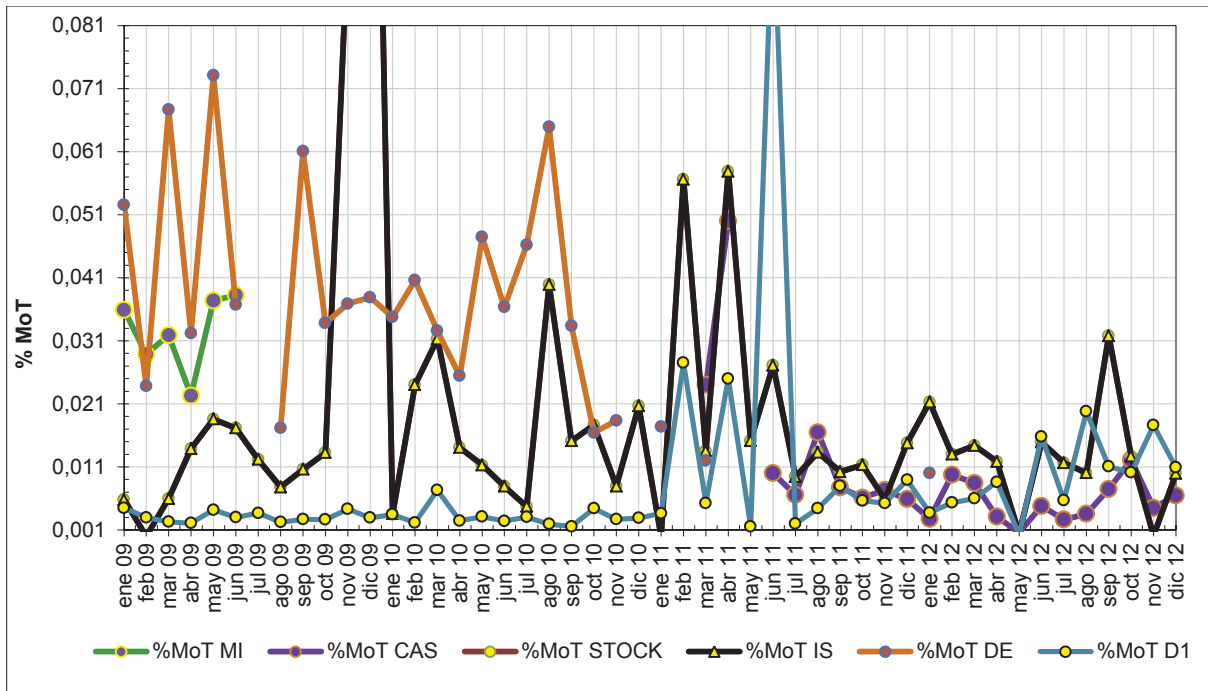


Figura 29: Porcentaje de molibdeno en cada fase, Planta I Las Tórtolas

4.2.2 Análisis por microscopía

El mineral de la fase Donoso 1 se analizó en profundidad en cuanto al comportamiento del molibdeno en el proceso de flotación colectiva, el análisis se llevó a cabo por microscopía de luz reflejada (en el ANEXO A se detalla el procedimiento), el estudio se detalla a continuación.

Se seleccionó turnos donde se alimentó en mayor proporción la Fase Donoso I, a continuación en la Tabla V, se muestran los días seleccionados y sus respectivos resultados.

Tabla V: Días seleccionados para análisis por microscopía

Día/Turno	%Mo Alimentación	Recuperación [%]	%Mo Relave Final
28/11 TB	0,014	34,74	0,0064
01/12 TB	0,010	36,61	0,0065
28/12 TB	0,014	34,74	0,0063

En la Tabla VI, se observa que para el día 28/11/2012, el molibdeno que entra al circuito rougher es mayor cantidad molibdeno asociado a ganga y en menor proporción molibdeno libre, las pérdidas se presentan en mayor proporción en la cola rougher.

Tabla VI: Distribución de Molibdeno en muestreos fase Donoso 1

	Distribución Molibdeno											
	Alimentación Rougher			Cola Rougher			Relave Final			Conc. Final		
	Turno B			Turno B			Turno B			Turno B		
Fecha	28/11	01/12	04/12	28/11	01/12	04/12	28/11	01/12	04/12	28/11	01/12	04/12
Nº Muestreo	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Especies	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Mo- Asociado a Sulfuro de Cu	4,90	-	-	2,8	-	-	-	-	-	11,5	23,4	23,2
Mo- Libre	8,10	-	-	1,2	-	-	-	-	-	30,7	31,5	29,8
Mo- Ganga	87,0	-	-	96,0	-	-	-	-	-	57,8	45,1	47,0
Total	100	-	-	100	-	-	-	-	-	100	100	100

4.2.2.1 Análisis por microscopía mineral de cabeza

La microfotografía de la Fig.30, muestra que existe una presencia dominante de escasos cristales de molibdenita (MoS_2) ocluida en ganga (Gn), acorde con la baja ley de cabeza (0,0013%Mo) del día 28-12-2012 TB, el comportamiento mineralógico es normal, principalmente en lo relacionado a las asociaciones y su granulometría. Para las muestras de los días 28-11-2012 TB y 01-12-2012 TB no se observaron cristales de Mo.

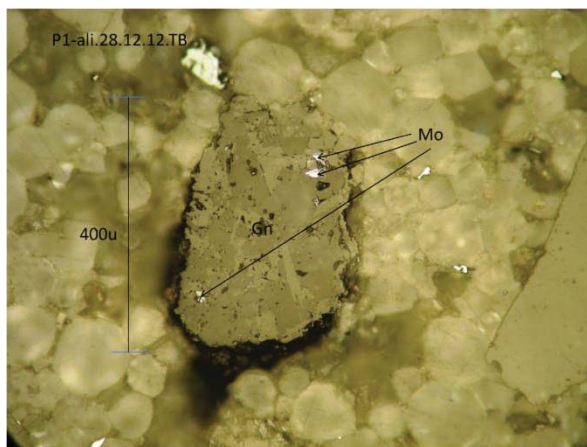


Figura 30: Microfotografía mineral de cabeza 28-12-2012 TB

4.2.2.2 Análisis por microscopía concentrado mixto

Las Figuras 31 y 32 muestran como el Molibdeno se encuentra en el concentrado mixto. En el concentrado del día 28-11-2012 TB es posible apreciar escaso Mo, la mayoría de los cristales se observan liberados con un tamaño promedio de 40 (μm) (Fig. 31 izquierda); algunos de sus cristales se encuentran asociados a sulfuros de Cu, como Calcosina (Cc) y Calcopirita (Cpy) (Fig. 31 derecha), otras asociaciones como ganga (Gn) (Fig. 32 izquierda) y Pirita (Py) (Fig. 32 derecha).

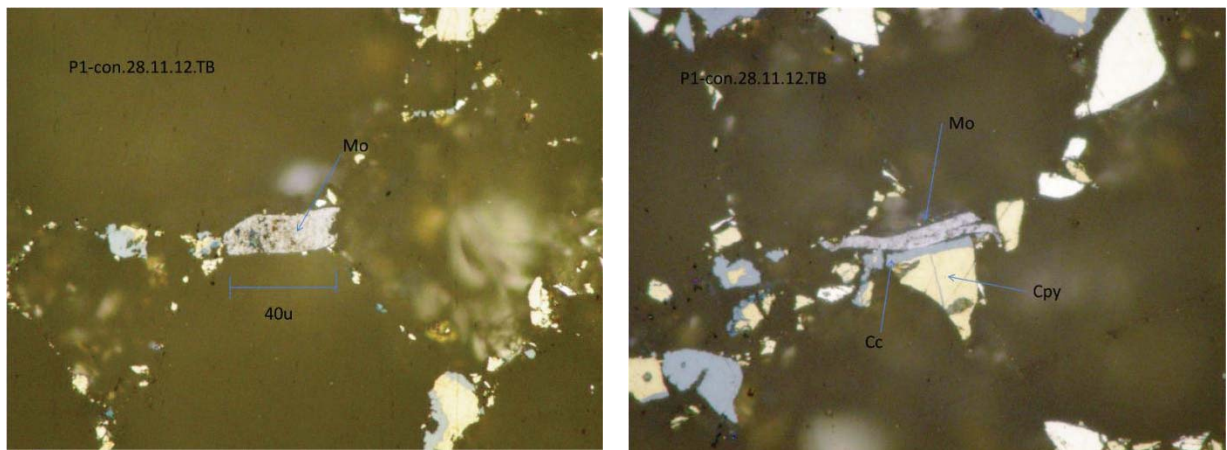


Figura 31: Microfotografía concentrado colectivo 28-11-2012 TB

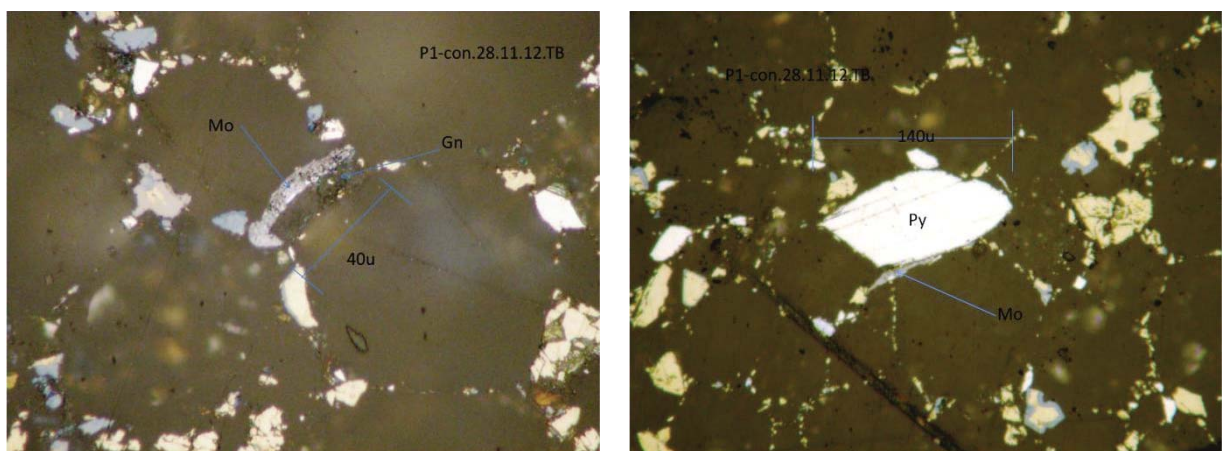


Figura 32: Microfotografía concentrado colectivo 28-11-2012 TB

En la Fig. 33 se muestra los concentrados mixtos de los días 29/11/2012 TB (Fig. 33 izquierda) y 04-12-2012 TB (Fig. 33 derecha), el cual presenta escasos cristales liberados de Mo con un tamaño de hasta 25 (μm) aproximadamente, para el concentrado del día 04-12-2012 TB, se observa cristales de molibdeno asociados a ganga (Gn).

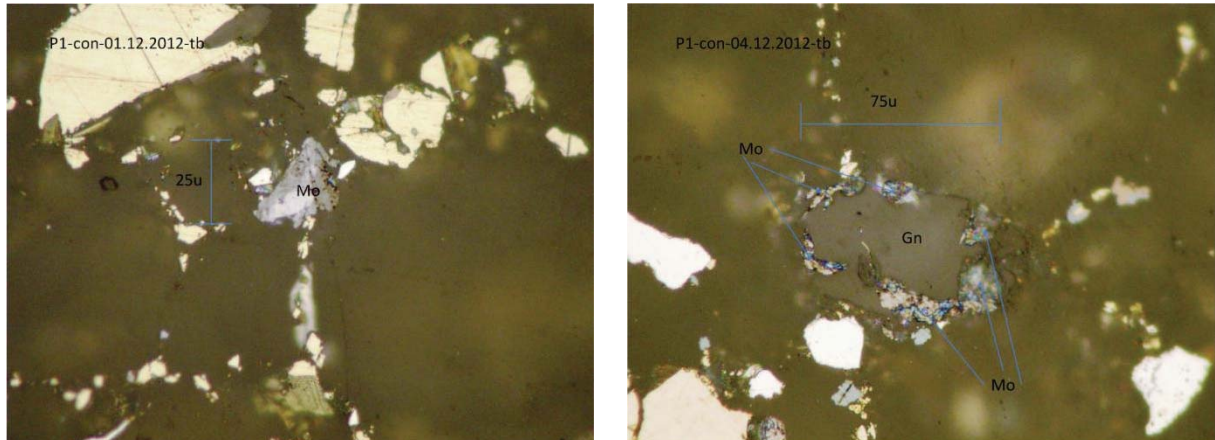


Figura 33: Microfotografía de concentrado colectivo 01-12-2012 TB (Izquierda) y concentrado colectivo 04-12-2012 (derecha).

4.2.2.3 Análisis por microscopía relave rougher

En la Fig. 34 es posible apreciar la presencia de Molibdeno en relave rougher, donde ocurre la mayor pérdida de Mo. Los cristales de molibdeno se encuentran ocluidos en ganga (Gn) cuyo tamaño es mayor a lo habitual, por lo tanto, es una causa de las pérdidas en el circuito rougher. La baja recuperación de Mo se le atribuye a una presencia mayor de ganga alterada de carácter sílice.

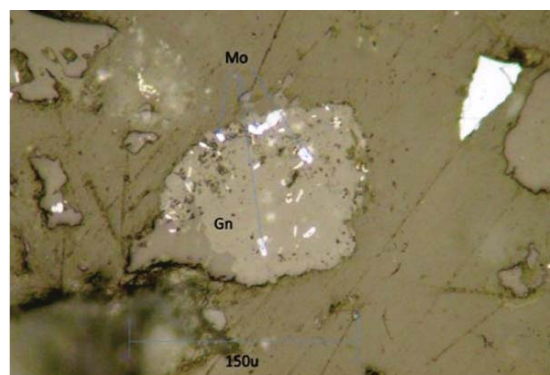


Figura 34: Microfotografía relave rougher 28-11-2012 TB

La inadecuada molienda para la Molibdenita es una causa de su baja recuperación, el mineral es usualmente molido hasta que el cobre es liberado, lo cual no necesariamente corresponderá a la molienda requerida para la liberación de la molibdenita.

5 Desarrollo Experimental

La investigación tiene como objetivo optimizar la recuperación metalúrgica de molibdeno en la planta colectiva, para ello se evaluó el efecto sobre la recuperación al dejar de adicionar el colector Xantato Isobutílico y se llevaron a cabo una serie de muestreos en la planta con el fin de obtener una caracterización relativa de las leyes en el concentrado de columnas o mixto según el efecto que tiene el nivel de espuma sobre las leyes tanto de Cobre como de Molibdeno y un muestreo al concentrado scavenger para evaluar el potencial que representa para ser considerado como concentrado mixto.

Como no existían protocolos de muestreos de desarrollaron procedimientos de muestreos.

5.1 Pruebas sin adición de colector Xantato Isobutílico de Sodio

La factibilidad de un proceso práctico de flotación depende de la elección del colector, espumante y otros modificadores. La selección de los reactivos se define experimentalmente, es así que el diseño de proceso de la Planta I LT, estableció el uso de colectores a través de una mezcla de Ditiofosfato y Xantato Isobutílico de Sodio en dosis de 15-20 g/t y 4-7 g/ton respectivamente.

Se debe tener presente conforme al objetivo de ley, que se propone lograr en flotación, hay que alcanzar:

- Máxima recuperación
- Selectividad adecuada

Bibliográficamente el colector Xantato Isobutílico de Sodio permite mayores recuperaciones, no obstante la selectividad es menor, lo que significa obtener concentrados de menor ley, ya que particularmente flota ganga^[7].

Por lo anterior, se evaluó los efectos sobre la recuperación y grado sobre el cobre y molibdeno sin la adición del colector durante 10 días (Desde 30 de Noviembre TC hasta 10 de Diciembre TB).

5.2 Muestreo de concentrado de columnas a distintos niveles de espuma

El objetivo del muestreo de concentrado de columnas a distintos niveles de espuma corresponde a estudiar el efecto de la variable de nivel de espuma sobre el contenido de cobre y molibdeno.

Las muestras fueron tomadas distintos días en el turno B en conjunto con el personal del laboratorio metalúrgico.

Para esta actividad es necesario tener la columna de flotación bajo ciertas condiciones de operación, es decir llevar un control de los parámetros operacionales, tales como el flujo de alimentación, porcentaje de sólidos, agua de lavado y aire (ver Tabla VII). Las condiciones se deben mantener constantes.

Tabla VII: Variables de operación columnar

Variable	Rango
Flujo de alimentación	1500-2500 [m ³ /h]
%Sólidos	12-22%
Agua de lavado	30-120 [m ³ /h]
Aire	400-2000 [m ³ /h]

5.2.1 Materiales y equipos muestreo concentrado columna

Entre los materiales necesarios para realizar la actividad, se tiene que el más importante es el cortador de la muestra, el cual debe tener ciertas características de diseño que involucra el caudal de la corriente a muestrear, el tamaño de las partículas, etc. El muestreo es de tipo bandeja y se muestra en la Fig. 35.

- Cortador de muestras manual, seleccionado para la actividad
- Recipiente plástico (balde)
- Etiquetas de identificación
- Radio portátil
- Medidor de nivel flotador



Figura 35: Cortador manual tipo bandeja

5.2.2 Consideraciones para la actividad de muestreo de concentrado de columna

- Se informó al Supervisor encargado del área de la realización del muestreo.
- Se transportó los materiales a utilizar desde el laboratorio metalúrgico al punto del muestreo, donde se realizó una inspección visual al área de muestreo, revisando y despejando el área de todo objeto que pudiera presentar una posible condición subestándar para realizar la actividad.
- Una vez terminada la actividad, el lugar debe quedar limpio, en orden y en condiciones de operación normal, trasladando al laboratorio metalúrgico las muestras obtenidas y debidamente identificadas.
- El nivel de espuma se fijó a través de un ajuste de la válvula de relave de la columna (aumentando o disminuyendo la abertura según el nivel deseado a medir) en coordinación con Sala de Control.
- El flujo del concentrado de columnas, es una corriente con abundante flujo, por eso, tomar una muestra manual es complicado desde el punto de vista de la representatividad, tiene que ser un muestrero con experiencia, ya que tiene que tomar todo el flujo de un manto de la columna evitando salpicaderas, segregación para que sea una muestra confiable.
- La evaluación de riesgos y normas de seguridad se detallan el ANEXO A.

5.2.3 Procedimiento de muestreo concentrado de columna

El procedimiento de muestreo es el siguiente:

- Confirmar con el supervisor de sala de control el nivel de espuma de operación y medir de forma manual con el flotador, registrar.

- Introducir el cortador y ambientar con la muestra.
- Tomar la muestra recorriendo todo el manto de la columna, realizando 3 cortes cada 10 minutos.
- Una vez finalizado el muestreo bajo la condición establecida, identificar la muestra mediante etiquetas.
- Lavar el cortador con agua de proceso.
- Comunicarse con sala de control mediante radio y solicitar un nuevo nivel de espuma (los niveles medidos aproximadamente correspondieron a 60, 70,90 y 110 cm, de modo de estudiar todo el rango de operación de del nivel de espuma), corroborar de forma manual con un flotador y registrar.
- Introducir el cortador y ambientar con la muestra para cada nivel medido.
- Tomar la muestra recorriendo todo el manto de la columna, realizando 3 cortes cada 10 minutos para cada nivel medido formando un compuesto.
- Una vez finalizado el muestreo se debe comunicar al supervisor del área, que el muestreo finalizó y trasladar las muestras al laboratorio metalúrgico para preparar las muestras para un posterior análisis químico, el procedimiento preparación de la muestra se detalla en el ANEXO A.

En la Tabla VIII se muestra a modo de resumen el muestreo al concentrado de columnas.

Tabla VIII: Identificación del lugar y frecuencia de retiro muestra de concentrado columnas

Identificación	Tipo de Muestra	Tipo de Corte	Recolección	Volumen de muestra	Frecuencia	Producto
Concentrado Columna	Pulpa	Manual	Balde	1 [L] app.	3 cortes cada 10 min.	Sólidos húmedo 100%

5.3 Muestreo Concentrado Scavenger

El objetivo del muestreo de concentrado scavenger es obtener una caracterización relativa de leyes de la sección scavenger y analizar el potencial que representa para ser considerado como concentrado mixto y ser enviado directamente a la planta de Molibdeno.

5.3.1 Materiales y equipos muestreo concentrado scavenger

Entre los materiales necesarios para realizar la actividad, se tiene que el más importante es el cortador de la muestra, El muestreo es de tipo bandeja y se muestra en la Fig.36.

- Cortador de muestra manual, seleccionado para la actividad.
- Recipiente plástico (balde).
- Etiquetas de identificación.
- Equipo de protección personal arnés.



Figura 36: Cortador manual

5.3.2 Consideraciones para la actividad de muestreo concentrado scavenger

- Se informó al Supervisor encargado del área de la realización del muestreo.
- Se transportó los materiales a utilizar desde el laboratorio metalúrgico al punto del muestreo, donde se realizó una inspección visual al área de muestreo, revisando y despejando el área de todo objeto que pudiera presentar una posible condición subestándar para realizar la actividad.
- Una vez terminada la actividad, el lugar debe quedar limpio, en orden y en condiciones de operación normal, trasladando al laboratorio metalúrgico las muestras obtenidas y debidamente identificadas.

- La evaluación de riesgos y normas de seguridad se detallan el ANEXO A.

5.3.3 Procedimiento de muestreo concentrado scavenger

El procedimiento de muestreo se detalla a continuación:

- El cortador se lavó con agua de proceso y luego se ambientó con el concentrado a muestrear (se repitió esta acción cada vez que realizó una toma de la muestra).
- El muestreo se llevó a cabo en cada línea de la etapa scavenger, es decir, línea norte, centro y sur, por celda y por banco.
- Se formaron compósitos con muestras tomadas cada 20 minutos durante 1 hora, el cual era incorporado en un balde (previamente identificado) para ser trasladada al laboratorio para preparar las muestras para un posterior análisis químico, el procedimiento preparación de la muestra se detalla en el ANEXO A. En la Tabla IX se muestra a modo de resumen el muestreo al concentrado scavenger.

Tabla IX: Identificación del lugar y frecuencia de retiro muestra de concentrado scavenger

Identificación	Tipo de Muestra	Tipo de Corte	Recolección	Volumen de muestra	Frecuencia	Producto
Concentrado Scavenger	Pulpa	Manual	Balde	8 [L] app.	Corte cada 20 min por 1 hr.	Sólidos húmedo 100%

6 Resultados y Discusiones

6.1 Leyes y recuperaciones globales sin la adición del colector Xantato Isobutílico

Los resultados de planta que se obtuvieron sin la adición de Xantato Isobutílico se compararon con los resultados de planta de 10 días antes y 10 días después de suprimir la adición del colector, la comparación se llevó a cabo a través de isoleyes de alimentación de Cobre y Molibdeno. En las siguientes figuras se muestran los resultados globales obtenidos en la planta para el Cobre y Molibdeno (recordar que los resultados de Cobre deben ser analizados en conjunto con los resultados de Molibdeno ya que la planta colectiva tiene como primer objetivo obtener la más alta recuperación y el mayor grado de Cobre, cuyos resultados no deben ser alterados al momento de obtener resultados óptimos para el molibdeno).

La muestra de datos con los que se trabajó se indica a continuación en la Tabla X:

%Cu [Alimentación]	0,68	0,74	0,76	0,78	0,85	0,94
%Mo [Alimentación]	0,009	0,010	0,011	0,012	0,012	0,013
Nº de Datos S/ Xantato	10	10	12	15	12	14
Nº de Datos C/ Xantato	12	15	10	12	11	15

6.1.1 Resultado Cobre

Como es posible apreciar en la Fig. 37 la recuperación de Cobre sin la adición de Xantato alcanza varios puntos por sobre los resultados obtenidos cuando se adicionó el colector si la ley de alimentación de Cobre es menor a 0,76%, a una ley mayor a 0,76% la recuperación cae abruptamente a medida que la ley aumenta.

La tendencia es clara y define en cuestión que para leyes bajas (< 0,76%) el uso del colector no es favorable para la recuperación de Cobre.

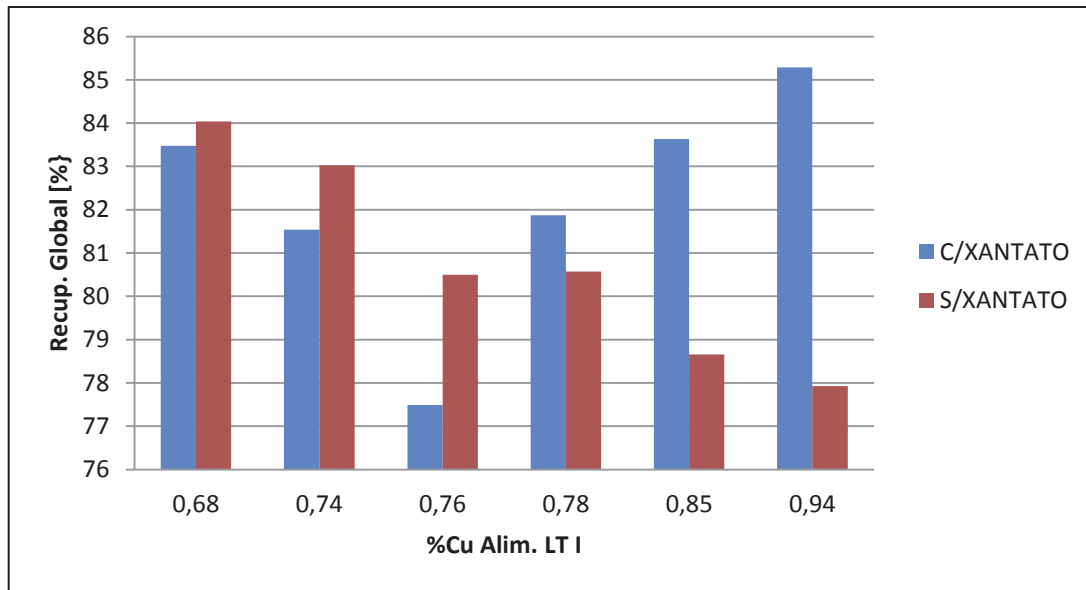


Figura 37: Recuperación global de Cobre con y sin adición de colector

En la Fig.38 podemos apreciar que el grado del concentrado final cuando se suprimió el colector, los resultados se mantienen para algunas leyes de alimentación y para otras aumentan.

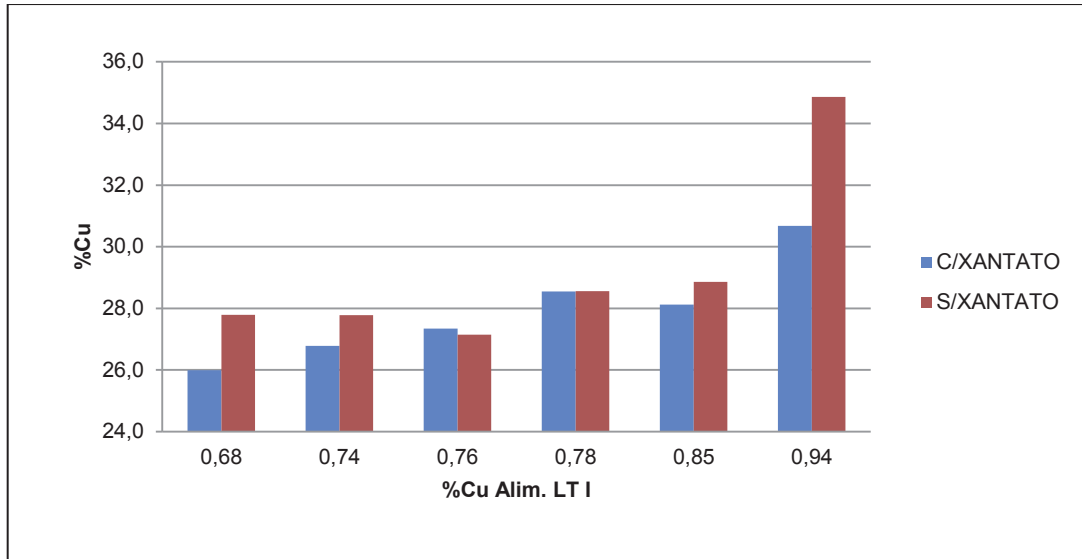


Figura 38: Porcentaje de Cobre en concentrado final con y sin adición de colector

Analizando el contenido de Cobre en el relave final en la Fig. 39, podemos ver que para leyes de alimentación menores a 0,76% sin la adición de colector muestra menores contenidos de Cu en relación a los resultados obtenidos cuando se adiciono Xantato. Siendo congruentes con los resultados analizados de recuperación que se muestran en la Fig. 38.

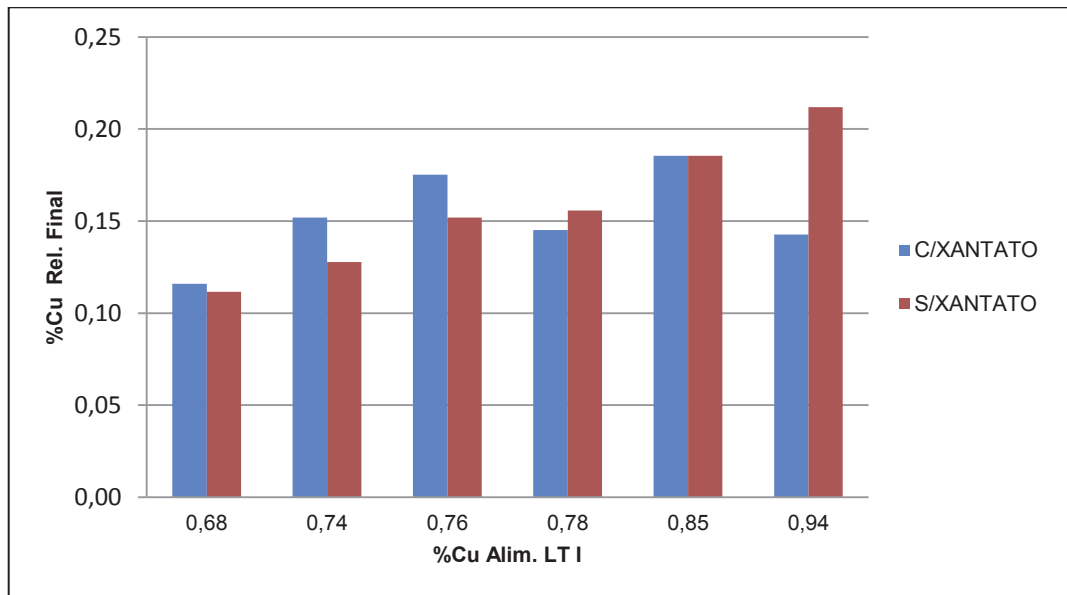


Figura 39: Porcentaje de cobre en relave final con y sin adición de colector

6.2.2 Resultados molibdeno

Los resultados obtenidos para el Molibdeno se muestran a continuación en la Fig. 40, en donde es posible apreciar que la recuperación colectiva de Molibdeno es totalmente favorecida sin el uso del colector Xantato, alcanzando hasta 5 puntos de recuperación por sobre los resultados obtenidos con el uso del colector cuando la ley de alimentación fue de 0,011%Mo.

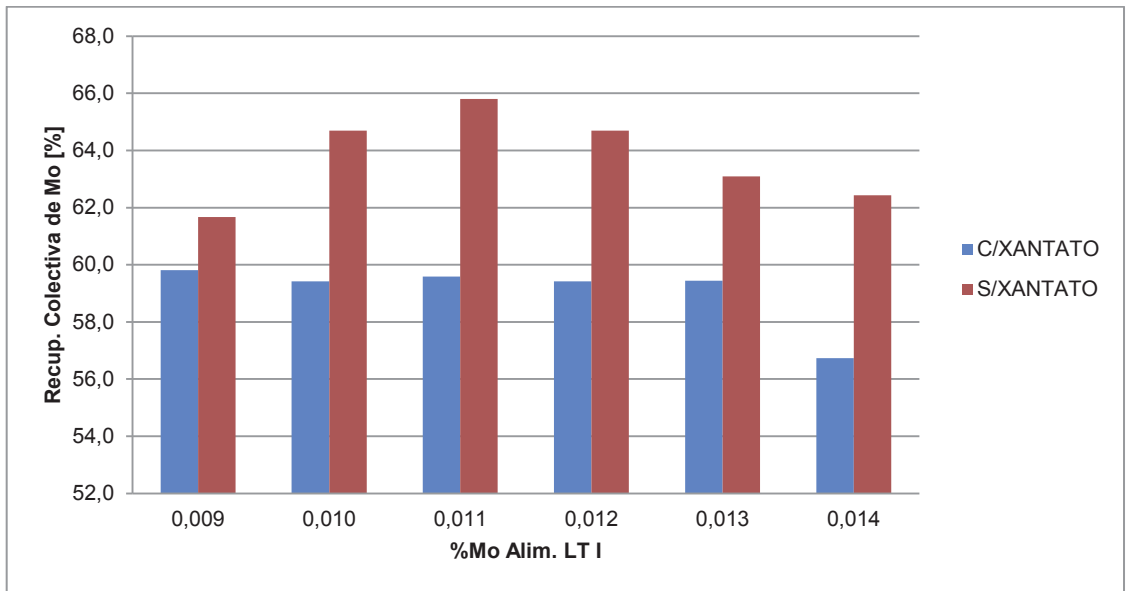


Figura 40: Recuperación colectiva de molibdeno con y sin colector

En la Fig. 41 es posible observar que el contenido de molibdeno en el concentrado mixto sin la adición del colector supera los resultados obtenidos con el uso del colector. Para el caso de una ley de alimentación de 0,012% de Cu se obtuvieron hasta seis puntos por sobre los resultados con el uso del colector.

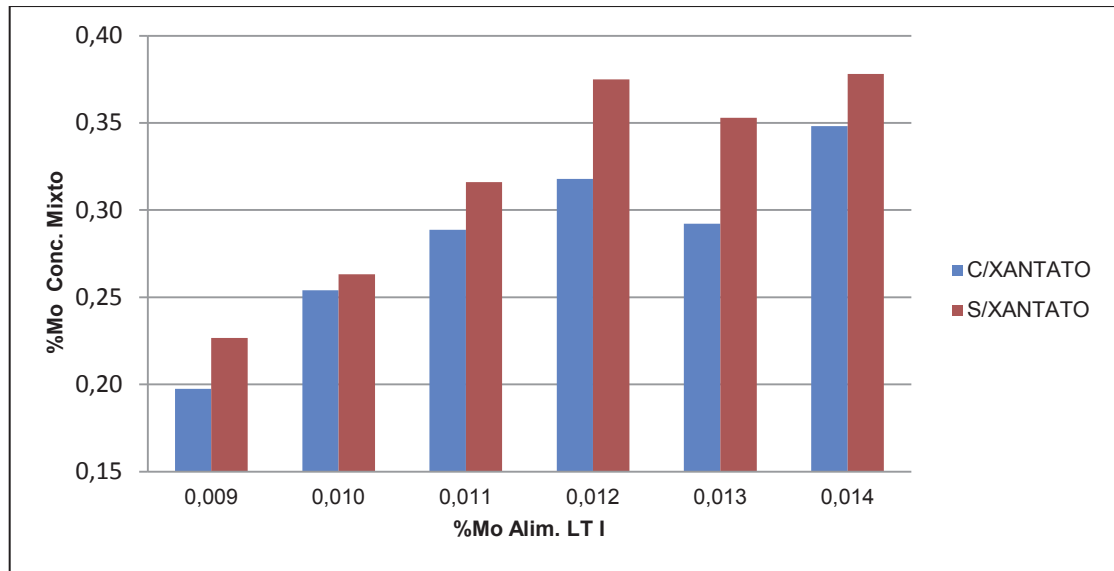


Figura 41: Porcentaje de molibdeno en el concentrado mixto con y sin colector

En cuanto al Molibdeno en el relave final podemos apreciar en la Fig. 42 que en general se mantienen los resultados sin la adición de colector para algunos casos y para otros disminuyó en menor medida.

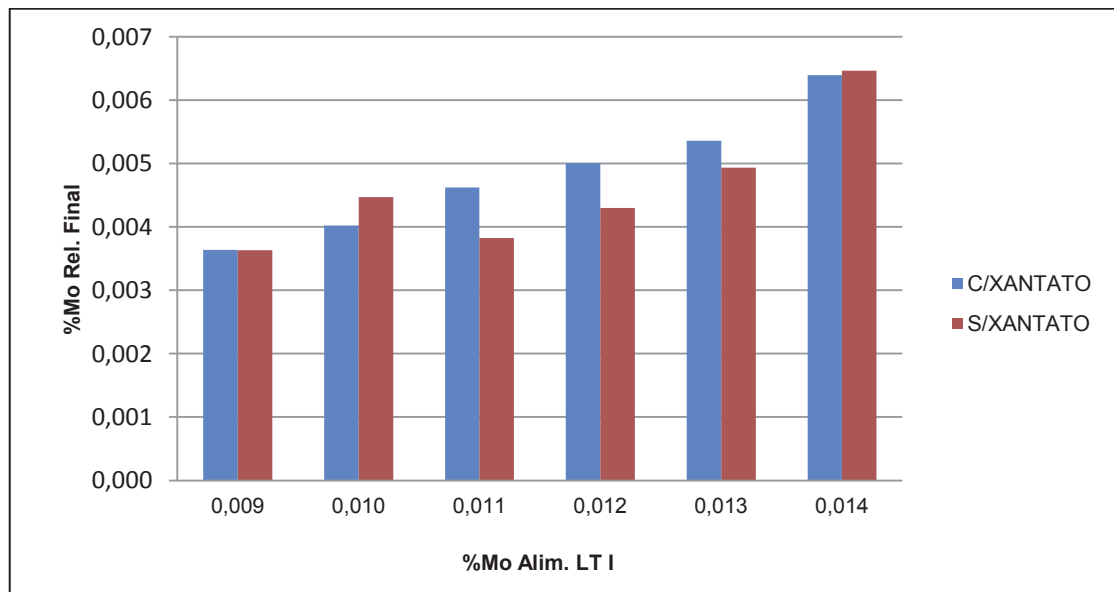


Figura 42: Porcentaje de molibdeno en el relave final con y sin colector

En la Fig. 43, se muestra el delta de porcentaje de recuperación de cobre de los días y sus turnos correspondientes analizados, donde la recuperación con la adición del colector Xantato Isobutílico para los 10 días antes de suprimir la adición muestra resultados con un delta promedio de 0,19%, para los días posteriores donde se suprimió la adición del colector el delta de recuperación de cobre fue de 1,5% y para los diez días siguientes con uso del colector el delta de recuperación fue en promedio de -3,84%.

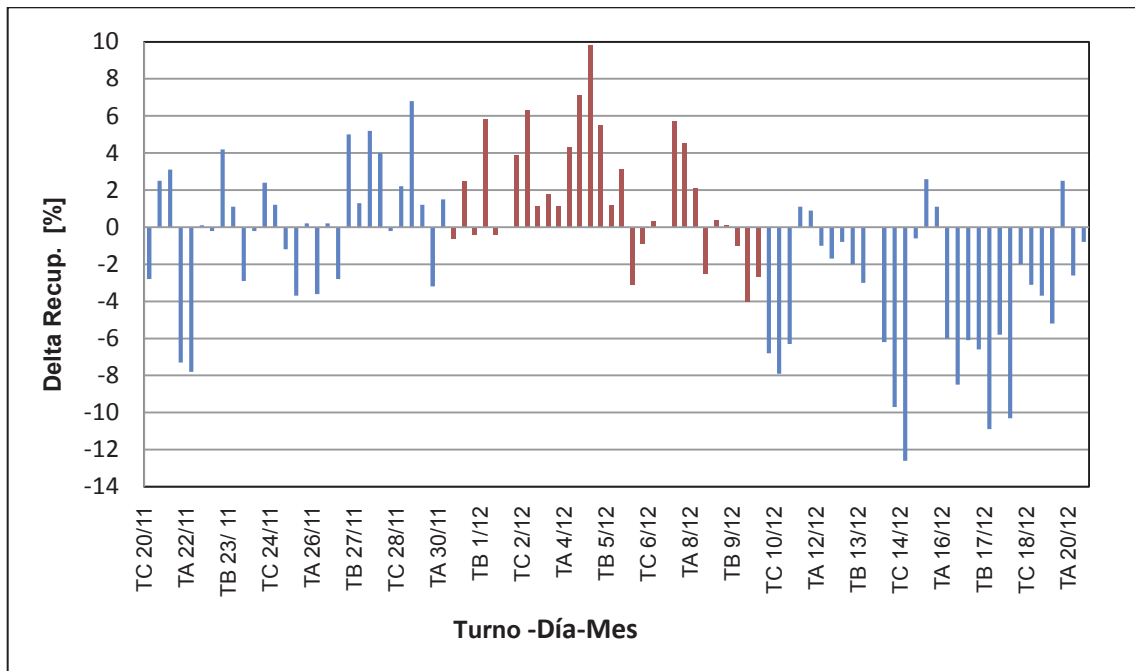


Figura 43: Delta recuperación global de cobre

No cabe duda que el efecto del colector Xantato Isobutílico tiene efectos adversos para la recuperación de cobre y más aún para el molibdeno cuando la ley de Cobre y Molibdeno son bajas. Sin embargo la muestra de datos estudiados no son los suficientes para suprimir de manera definitiva el uso del colector, pero abre una puerta para llevar a cabo un estudio a más largo plazo y a profundidad.

Si bien el diseño del proceso presentó que se obtenían resultados óptimos con el uso del colector Xantato, los resultados que se mostraron anteriormente indican que para leyes bajas de Cobre y Molibdeno, leyes que enfrenta la planta desde el año 2011, no es conveniente el uso del colector.

Por lo tanto considerando una ley de alimentación de cobre inferior a 0,76% la recuperación se mantiene sobre un 80%, para leyes mayores a un 0,76%, la recuperación cae abruptamente a valores inferiores a un 80%. Por lo tanto el uso del colector es conveniente para leyes mayores a 0,76%Cu.

Bajo la base establecida en el párrafo anterior, es posible aumentar la recuperación y el grado de molibdeno en el concentrado mixto. Si consideramos la recuperación global media y la ley media en el concentrado mixto con los resultados con el uso del colector y sin él (ver Tabla XI), podemos ver una diferencia en la recuperación de 4,49%.

Tabla XI: Recuperación global media con y sin colector	
Variable	Recuperación Colectiva Media [%]
Con colector	63,56
Sin colector	59,07
Diferencia	4,49

Considerando la ley de alimentación media del año 2012, 0,011%Mo, y el tonelaje de diseño 60.000 ton/día, tenemos los siguientes resultados, ver Tabla XII.

Tabla XII: Fino de Molibdeno Con y Sin colector	
Variable	Recuperación Colectiva Media [ton/año]
Con colector	1333
Sin colector	1479
Diferencia	146

Por lo tanto, un aumento en la recuperación de Molibdeno de 4,5 puntos equivale a un aumento de 146 toneladas de fino en concentrado, para la etapa colectiva.

6.3 Resultados muestreo de concentrado columnar a distintos niveles de espuma

Los resultados de los muestreos realizados para distintos niveles de espuma se muestran desde la Fig. 44 a la Fig. 49. Como es posible apreciar el comportamiento de las curvas de contenido de cobre y molibdeno son inversamente proporcionales; en el caso del cobre a medida que el nivel de espuma aumenta, el grado en el concentrado aumenta y para el caso del molibdeno, disminuye.

El nivel de espuma claramente es un factor importante en las estrategias de control y optimización.

La Fig. 44, corresponde a los resultados obtenidos del muestreo realizado el día 14-11-2012 TB, el concentrado mixto del turno obtuvo un 0,2632% de Mo y 29,76% de Cu. Como es posible apreciar si se hubiese trabajado a un nivel inferior de espuma de 90 cm, el grado de cobre en el concentrado mixto no tiene una disminución significativa, en tanto el grado de molibdeno presenta un aumento considerable.

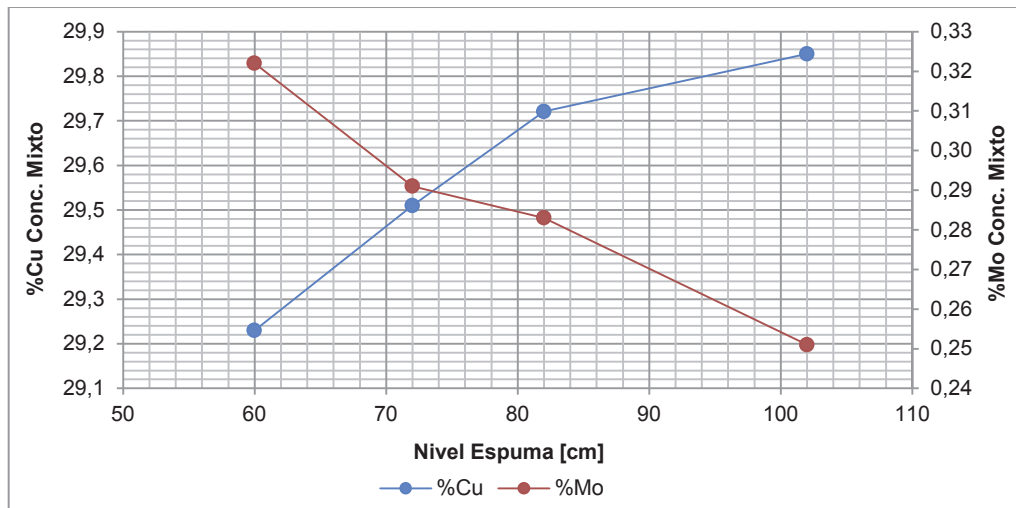


Figura 44: Porcentaje de Cobre y Molibdeno a distintos niveles de espuma, muestreo 14-11-2012 TB

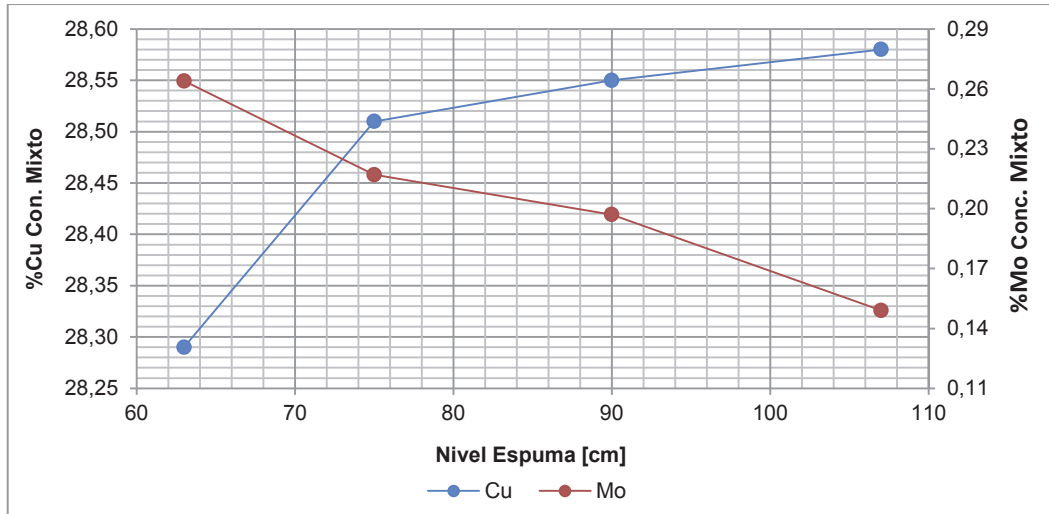


Figura 45: Porcentaje de Cobre y Molibdeno a distintos niveles de espuma, muestreo 29-11-2012 TB

La Fig. 46, corresponde al muestreo realizado el día 06-12-2012 TB. El concentrado mixto obtenido en este turno 0,4398% de Mo y 38,41% de Cu. Cabe destacar que el muestreo realizado correspondió al periodo en que se suprimió el colector Xantato Isobutílico.

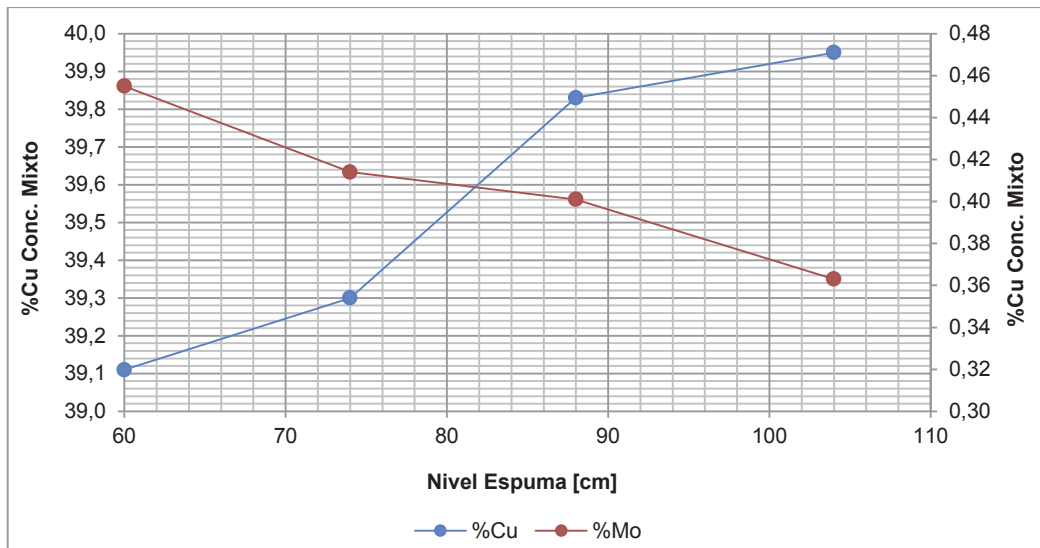


Figura 46: Porcentaje de Cobre y Molibdeno a distintos niveles de espuma, muestreo 06-12-2012 TB

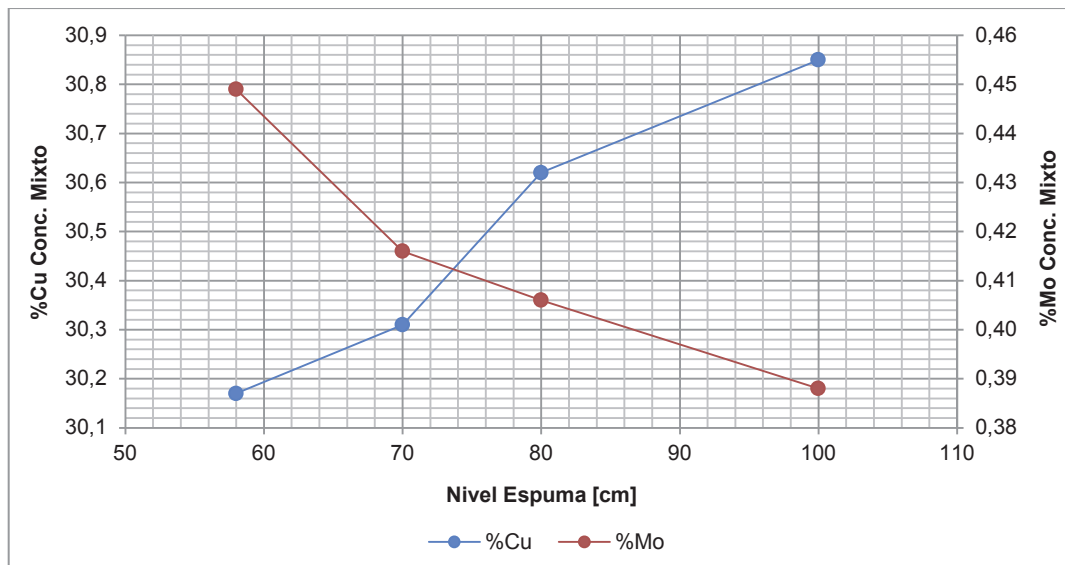


Figura 47: Porcentaje de Cobre y Molibdeno a distintos niveles de espuma, muestreo 07-12-2012 TB

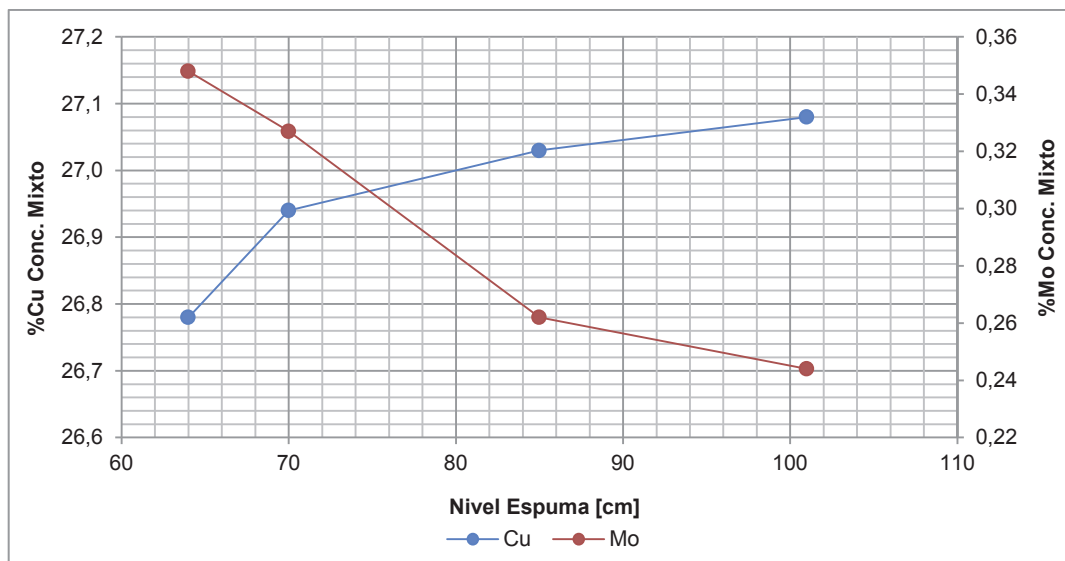


Figura 48: Porcentaje de Cobre y Molibdeno a distintos niveles de espuma, muestreo 11-12-2012 TB

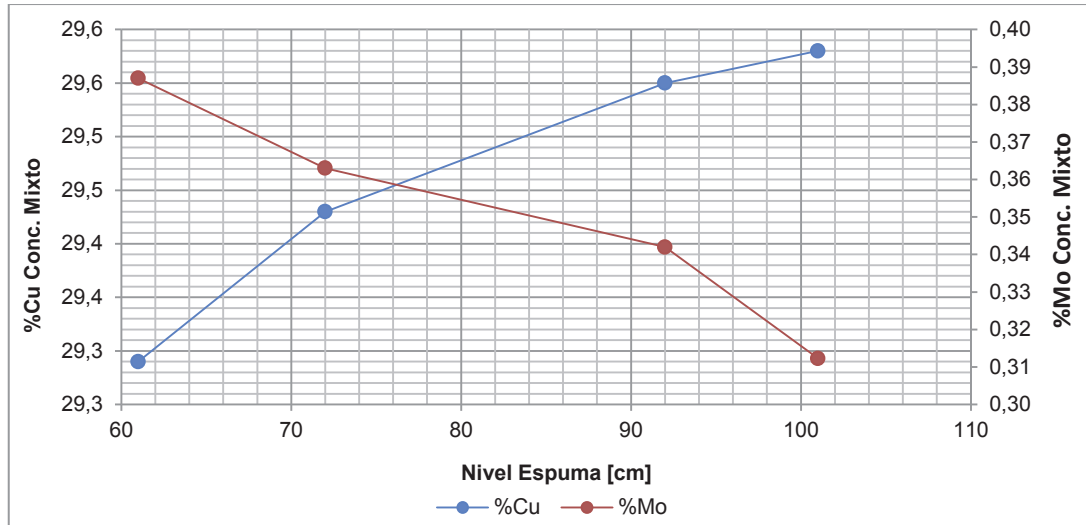


Figura 49: Porcentaje de Cobre y Molibdeno a distintos niveles de espuma, muestreo 28-12-2012 TB

Los resultados obtenidos permiten determinar un punto óptimo de la localización de la interface, es decir determinar la zona de colección donde se obtenga una recuperación optima tanto de cobre como de molibdeno y una cama o profundidad de espuma que permite determinar la capacidad de limpieza de la columna y la cual está estrechamente relacionada con el grado.

Cuando la burbuja se enriquece mayormente con cobre (alto nivel de espuma), aumento del tiempo de residencia, tiene un efecto negativo sobre las partículas de molibdeno ya que disminuye la probabilidad de colisión.

Por lo tanto trabajar con un bajo nivel de espuma bajo permitiría mineralizar la burbuja con un mayor contenido de molibdeno, lo que nos permite decir que es más selectivo.

Si bien un aumento en la profundidad de la espuma reduce la flotación por arrastre, es decir partículas no adheridas a burbujas son arrastradas a la fase espuma/concentrado, los resultados indican que si bien hay una disminución del grado de cobre en el concentrado mixto, este no se ve mayormente afectado y se compensaría económicamente con el aumento del grado de molibdeno.

Actualmente la decisión que toma el operador de sala control con qué nivel de espuma trabajar, la toma en base a la ley de concentrado final que se mide a través de un analizador en línea en el despacho a bodega. Con lo descrito anteriormente se hace indispensable tener un mayor control del concentrado mixto que se está obteniendo, es por ello que se propone contar con un analizador en línea que mida los cinco flujos de concentrado que generan las columnas.

6.4 Resultados muestreo concentrado scavenger

6.4.1 Caudal másico [ton/h]

Las Figuras 50 a 52, corresponden al caudal másico de la línea norte, centro y sur respectivamente. Las celdas 1,2,(Banco1, Línea Norte); 8,9(Banco 1, Línea Centro); 15,16 (Banco 1, Línea Sur) corresponden a las celdas que generan mayor cantidad másica de concentrado, de alrededor de 1,2 ton/h, en cuanto a las celdas 3,4 (Banco 2 Línea Norte), 10,11(Banco 2 Línea Centro), 17,18 (Banco 2 Línea Sur) generan alrededor de 0,5 ton/h de concentrado másico, el resto de las celdas que forman el banco 3 de cada línea (Norte, centro y sur) generan un caudal casi despreciable.

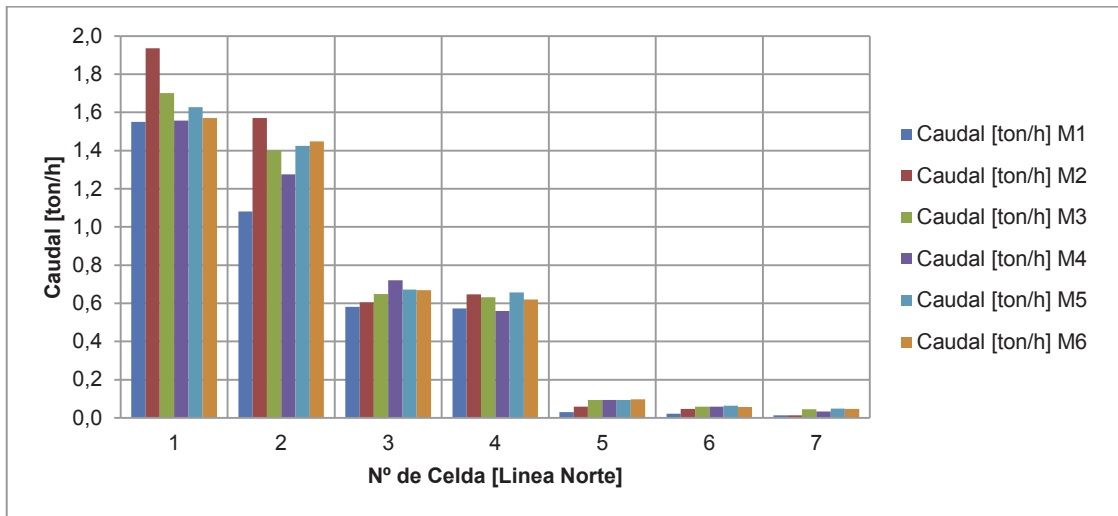


Figura 50: Caudal [ton/h] para los distintos muestreos ,Línea Norte

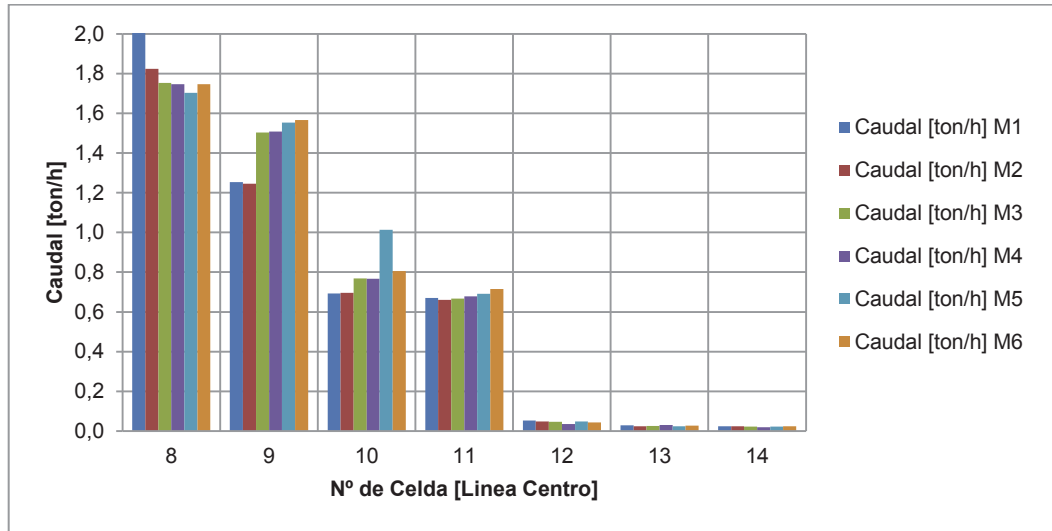


Figura 51: Caudal [ton/h] para los distintos muestreos ,Línea Centro

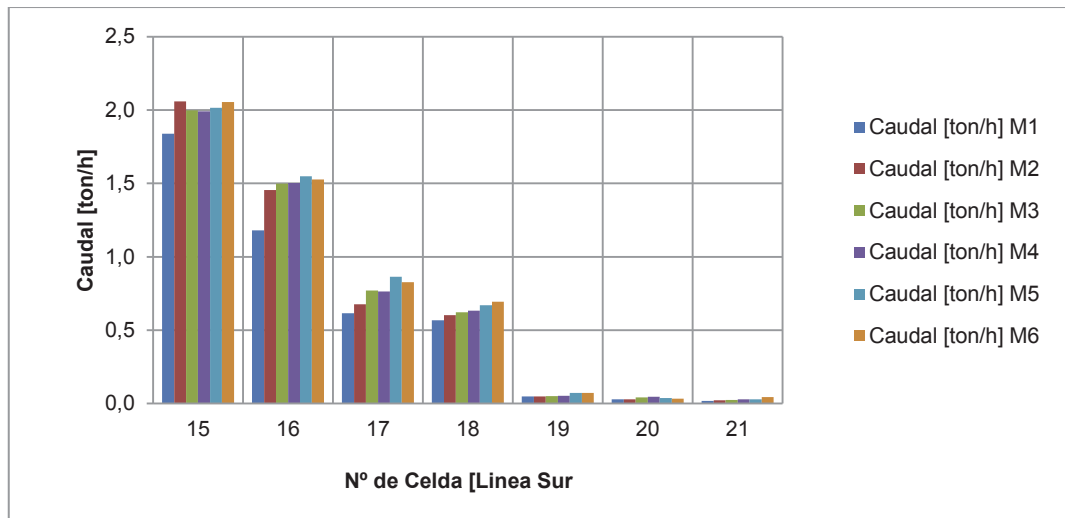


Figura 52: Caudal [ton/h] para los distintos muestreos ,Línea Sur

6.2.2 Ley de Cobre y Molibdeno en concentrado scavenger

Desde la Fig. 53 a la Fig. 55 se muestran el contenido de molibdeno en el concentrado scavenger de cada celda correspondiente a las líneas Norte, Centro, Sur respectivamente. El concentrado scavenger presenta un gran contenido de molibdeno, en especial en los primeros bancos de cada línea, de alrededor de un 0,4% de Mo.

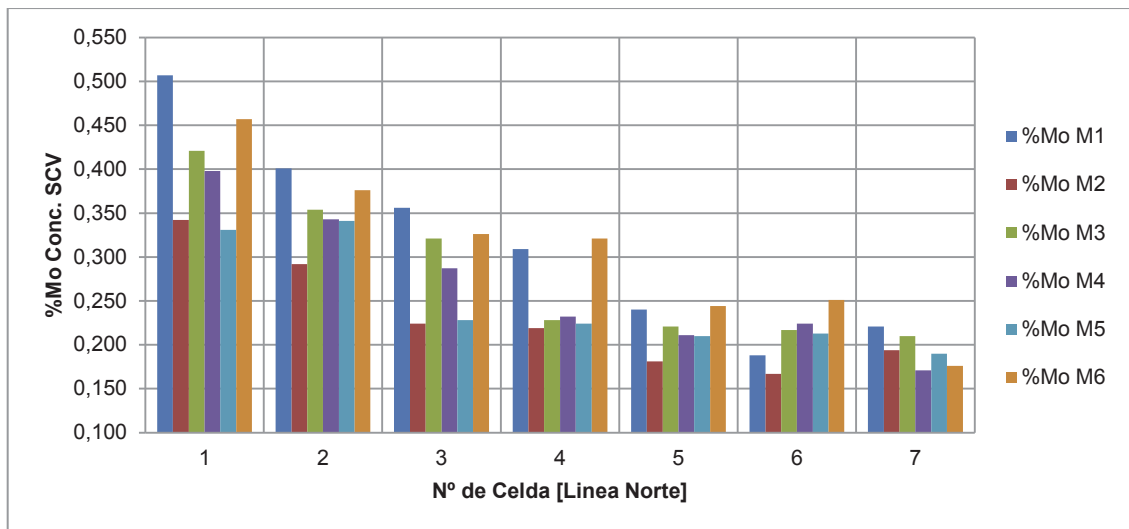


Figura 53: Ley de molibdeno en concentrado scavenger para los distintos muestreos, Línea Norte

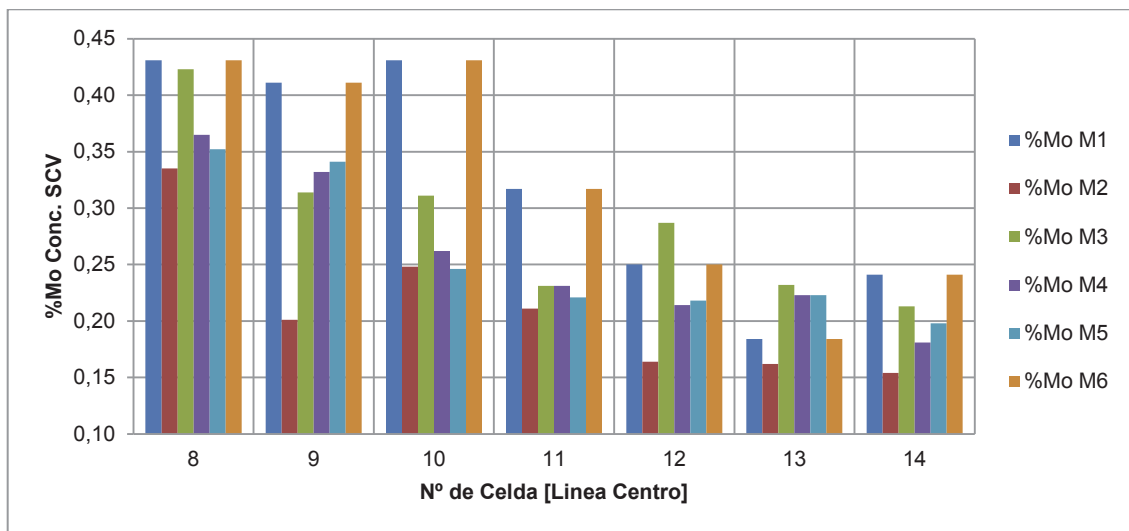


Figura 54: Ley de molibdeno en concentrado scavenger para los distintos muestreos, Línea Centro

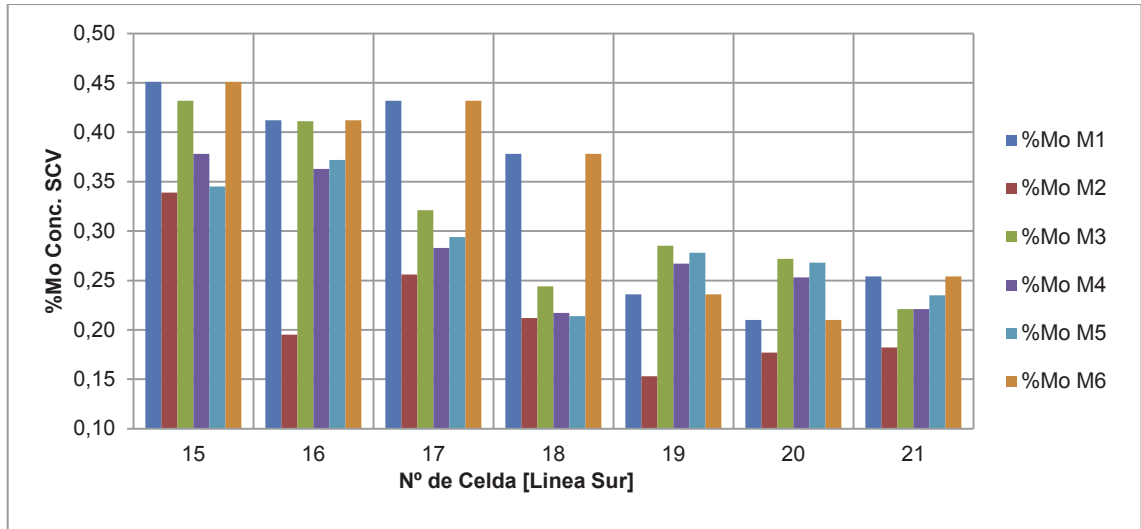


Figura 55: Ley de molibdeno en concentrado scavenger para los distintos muestreos, Línea Sur

El contenido de cobre en el concentrado scavenger se muestra desde la Fig. 56 a la Fig. 58, al igual que en caso del molibdeno en los primeros bancos de cada línea presenta una cantidad de bastante auspiciosa de alrededor de un 20% de Cu.

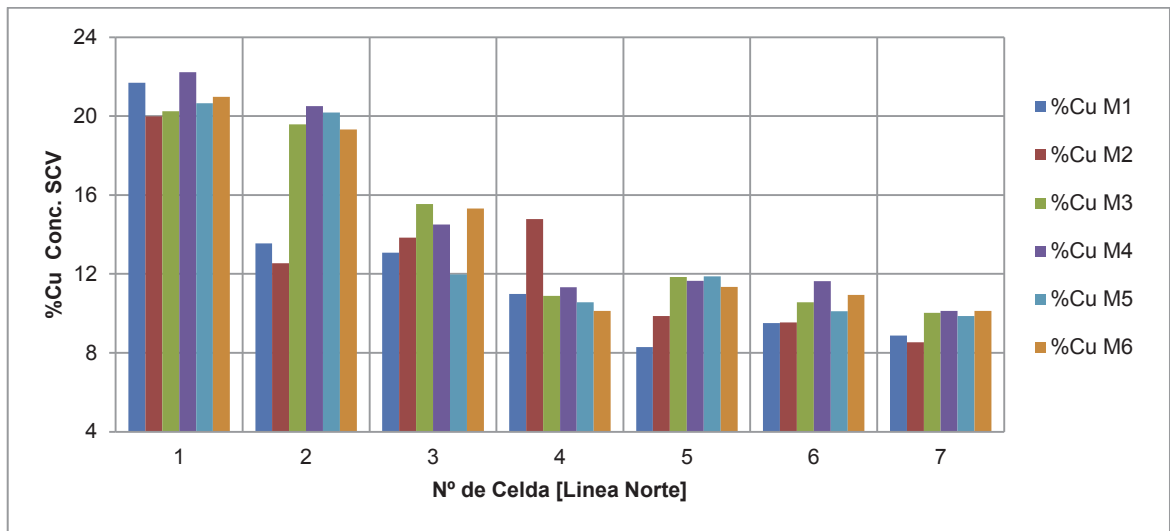


Figura 56: Ley de cobre en concentrado scavenger para los distintos muestreos, Línea Norte

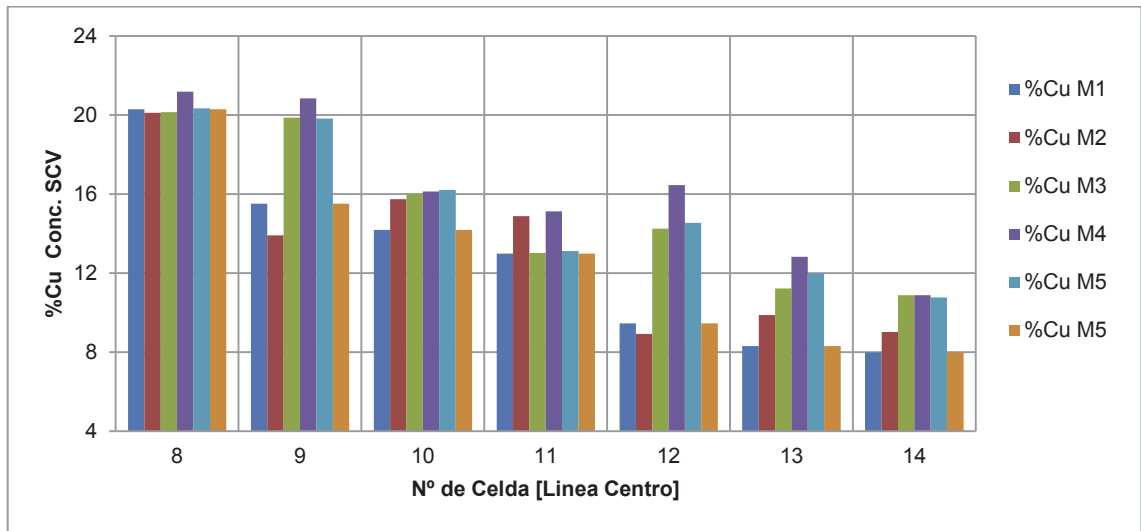


Figura 57: Ley de cobre en concentrado scavenger para los distintos muestreo, Línea Centro

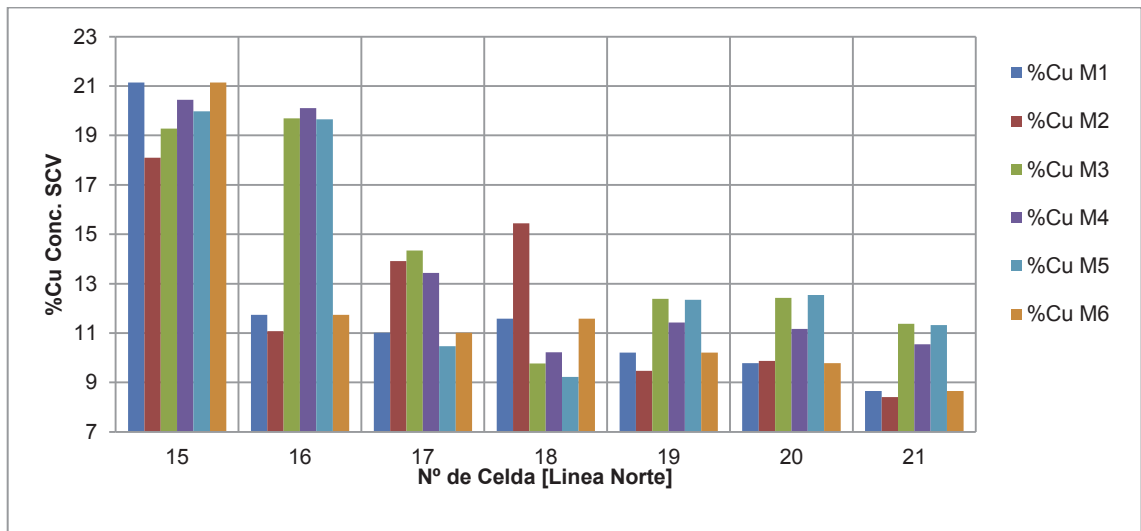


Figura 58: Ley de cobre en concentrado scavenger para los distintos muestreos, Línea Sur

6.4.3 Ley de Cobre y molibdeno por tamaño de partículas

La Fig. 59 muestra las leyes de cobre en concentrado scavenger, donde se aprecia un comportamiento similar en los muestreos analizados.

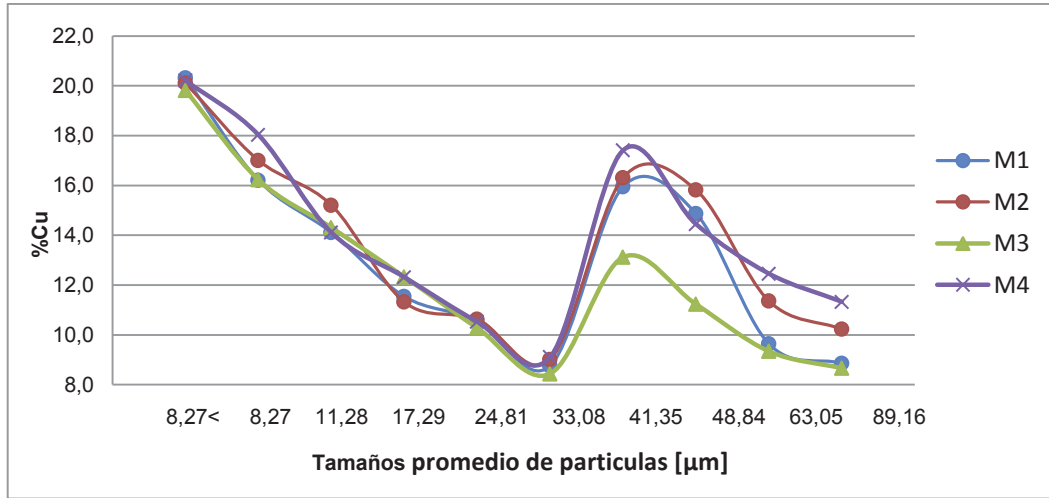


Figura 59: Ley de Cobre en el concentrado scavenger

La Fig. 60 muestra las leyes de molibdeno en el concentrado scavenger, donde se aprecia una tendencia de aumento de leyes a medida que va aumentando el tamaño de la partícula. Si bien el tamaño adecuado para ingresar a la planta de Moly corresponde a -400 #Ty (26 µm), las partículas mayormente enriquecidas presentan un tamaño mayor, entre 41,35-48,84 [µm].

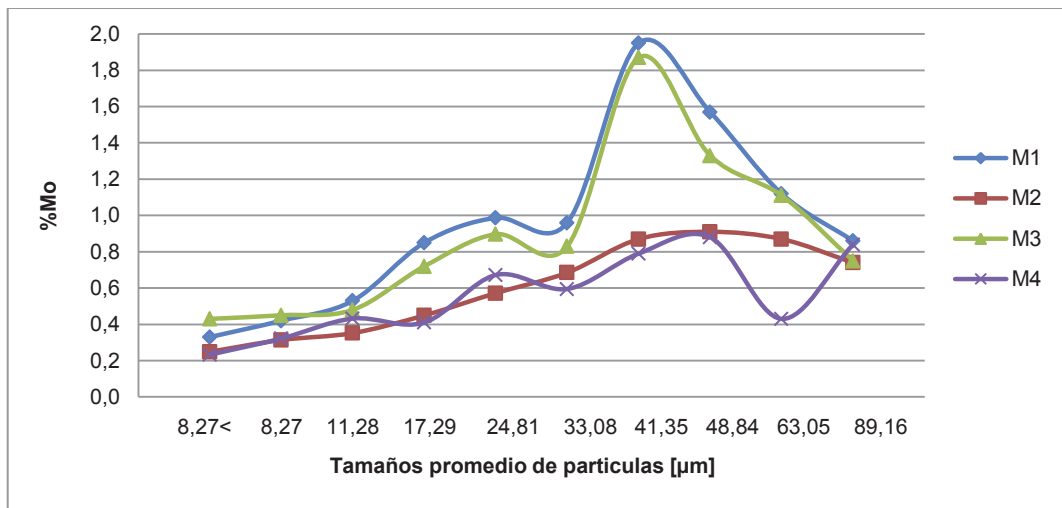


Figura 60: Ley de molibdeno en el concentrado scavenger

6.4.4 Evaluación de potencial de concentrado scavenger como concentrado final

Se analizó si se justifica económicamente si es posible que el concentrado scavenger tenga potencial para considerarlo como concentrado mixto.

Por diseño se considera un flujo de concentrado mixto de 62,5 [ton/h] y la ley media de cobre y molibdeno en concentrado mixto correspondiente al año 2012 fue de 27,25%Cu y 0,283%Mo, tenemos los siguientes finos en el concentrado, ver Tabla XIII.

Fino de Cobre [ton/h]	Fino de Molibdeno [ton/h]
17,03	0,1768

Considerando el fino de cobre y molibdeno del primer banco de cada línea para los distintos muestreos y cuantificando que porcentaje representa con respecto a los finos en el concentrado mixto tenemos los siguientes resultados, ver Tabla XIV.

Muestreo	% Fino Cu en Cu Conc. Mixto	% Fino Mo en Mo en Conc. Mixto
M1	6,85	21,67
M2	7,20	16,30
M3	8,98	21,46
M4	9,11	19,21
M5	9,10	18,83
M6	8,97	23,81

Como podemos ver en la Tabla XIV, el concentrado scavenger presenta un gran potencial ya que el fino de molibdeno corresponde a un 20% del fino de molibdeno en el concentrado mixto, en tanto el fino de cobre en el concentrado scavenger representa un 7,5% del fino de cobre en el concentrado mixto.

Si bien los flujos de concentrado scavenger ricos en molibdeno son recirculados a la flotación columnar luego de pasar por remolienda, son casi despreciables si lo comparamos con el flujo de concentrado rougher, el paso nuevamente por la flotación columnar, es decir, la recirculación de la cola de limpieza al circuito scavenger eventualmente conduciría a pérdidas de molibdenita en la cola.

Con respecto a la granulometría que presenta el concentrado scavenger en cuanto al contenido de molibdeno, este se presenta en partículas de tamaños superiores a 26 [μm], por lo tanto sería necesario evaluar en otro estudio el efecto del tamaño en la flotación selectiva.

7 Evaluación económica

En este capítulo se analizó económicamente la incorporación de un equipo analizador de leyes en línea Curier para optimizar el grado de MoT en el concentrado mixto. En el ANEXO D, se detalla el equipo con sus respectivas especificaciones.

El análisis se llevó a cabo considerando los resultados ponderados que se obtuvieron el año 2012, es decir 27,05%Cu y 0,2418%Mo en el concentrado mixto. La optimización se realizó considerando la curva de la Fig. 48 en el Capítulo 6, Resultados. En la Tabla XV se detalla la propuesta.

Tabla XV: Propuesta de la ley de cobre y molibdeno en el concentrado mixto			
Variable	Actual	Propuesto	diferencial
%Mo	0,2418	0,3280	0,086
%Cu	27,05	26,81	-0,240

7.1 Inversión estimada

7.1.1 Criterios generales

Los criterios que se consideran para la estimación de los costos de inversión del presente estudio son los siguientes:

- La Moneda de referencia es el dólar americano, con una tasa de cambio 477,13 [CLP/USD].
- Para la estimación de costos se realizó en base a información extraída desde Peters and Timmerhaus.
- La estimación de inversiones se presenta de acuerdo al siguiente quiebre:
 - Costos Directos de Inversión.
 - Costos Indirectos de Inversión.
 - Contingencia.

7.1.2 Criterios para estimación de costos directos

Para la estimación de costos directos se consideran el costo directo del equipo. Para la definición de los costos directos de equipos se consideran los siguientes criterios principales:

- Los costos de la adquisición del equipo se obtuvo a partir de cotizaciones a empresas. El costo del equipo corresponde a un analizador de leyes en línea Curier, el costo es de US\$368,000. El costo de equipo considera otros gastos asociados a la instalación y funcionamiento del analizador en línea Curier. La tabla XVI, muestra la estimación de costos directos.

Tabla XVI: Estimación de costos directos	
Costo Directo	USD\$
Costo de Equipos	368,000
Total Costo Directo	368,000

7.1.3 Criterios para estimación de costos indirectos

Los costos indirectos se desglosan de acuerdo a las siguientes partidas: Arriendo maquinarias, garantías, administración, ingeniería, inspección, puesta en marcha y asistencia de Vendedores.

- Ingeniería y supervisión: El costo de este ítem incluye gastos de oficina, licencia de software, viajes, comunicaciones, consultares y gastos de administración central. El costo de ingeniería y supervisión es de un 15% del costo total de los equipos^[17].
- Honorarios del contratista^[17]: El costo de este ítem es de un 6% del capital fijo directo de la inversión^[17].

7.1.4 Contingencias

Las contingencias son valores adicionales a los ya indicados, que cubren futuras situaciones que no han sido cubiertas por los diseños realizados y comprende situaciones no conocidas del proyecto, imprevistos, omisiones, cambios de programación, cambios menores de

diseño, huelgas, etc. Para efectos del presente estudio, la contingencia se considera como 10% del valor estimado del capital fijo de inversión^[17].

6.1.5 Valorización de las Inversiones

En la tabla XVII se presenta un resumen de la estimación de los costos de capital.

Tabla XVII: Estimación de capital fijo	
Inversión	
Costo Directo	USD\$
Costo de Equipos	368,000.0
Total Costo Directo	368,000.0
Costo Indirecto	USD\$
ingeniería y supervisión	55,200.0
Honorarios del contratista	30,228.6
Total Costo Indirecto	42,000.0
Contingencias	50,380.9
Capital Fijo Inversión [USD\$]	503,809.5

7.2 Estimación de costo operacional del equipo

7.2.1 Criterios generales

- Las tarifas utilizadas para energía, potencia, insumos y materiales si es que aplica (bolas, cal, reactivos de flotación etc.) fueron tomadas de las Orientaciones Comerciales 2013.

7.2.2 Criterios costo de operación

Para la estimación de los costos de operación, se consideraron siguientes criterios:

Servicios generales: Los servicios generales correspondientes al funcionamiento del equipo lo componen la electricidad y agua cuyos costos son los siguientes:

- Servicio de electricidad: el costo de este ítem corresponde al gasto anual de energía eléctrica que produce el analizador en línea durante su funcionamiento. El equipo consume 1,2 KW por hora. Se debe considerar las pérdidas de las líneas y las contingencias, por ello se considera un factor de 1,10. La tarifa de la energía eléctrica se detalla en el ANEXO D. En la tabla XVIII se indica el costo de servicios generales.

Electricidad		
Energía instalada	[MWh/año]	9.2
Costo de energía instalada	[USD/MWH]	83.5
Subtotal	[USD]	771,1.0

- Mantenimiento y Reparación: Este costo corresponde al 10% del costo total de equipos^[17].
- Suministros de operación: Este costo incluye los materiales de reparación y mantención que son necesarios. Este costo corresponde a un 15% del costo de mantención y reparación^[17].
- Seguros: para asegurar el valor del equipo se paga anualmente un seguro. El costo de este ítem corresponde a un 0,7% del capital fijo^[17].
- Depreciación: Se utiliza depreciación lineal, con un valor de salvamento de US\$0 y una vida útil de 10 años^[17].
- Contingencias: El costo de este ítem corresponde al 3% del costo de operación^[17].

7.2.3 Costo de operación total.

A continuación en la Tabla XIX se indican los costos de operación asociados.

Tabla XIX: Costo de operación en [USD]	
Costo operacional (Anual)	
Costos Directos	USD\$
Servicio de electricidad	771.0
Mantenimiento y reparación	32,000.0
Suministro de operación	3,526.6
Total Costo Directo	36,297.6
Costo Indirecto	USD\$
Depreciación	20,000.0
Seguros	2,787.0
Total Costo Indirecto	22,787.0
Gastos Generales	USD\$
Contingencias	1,827.4
Costo Operacional [USD\$]	60,911.9

7.3 Parámetros de evaluación del proyecto

7.3.1 Criterios generales

- La Evaluación Económica del Proyecto se realizó en base al Valor Actualizado neto (VAN).
- No se incluyó en el análisis aspectos tributarios y de financiamiento externo. De acuerdo a las condiciones de AngloAmerican para este tipo de Ingeniería.

Además, se han considerado los siguientes criterios y parámetros específicos del proyecto:

- El período de evaluación del proyecto es de 2 años.
- Se consideró una tasa de descuento de 8%, según Antecedentes Planificación 2013, AngloAmerican.
- Se consideró que el 100% de las inversiones se financian con Capital Propio.
- La evaluación se efectuó considerando como año 0 el inicio del año 2012.

7.3.2 Estimación de ingresos

- La evaluación también consideró cambios en el precio de Molibdeno, se situó evaluando cuando el precio de molibdeno US\$ 11,1 (en el peor de los casos), US\$12,5 (caso intermedio), US\$ 15,0 (en el mejor de los casos). El precio para el cobre según COCHILCO para el año 2013 se estima en US\$ 3,75 ^[18].
- A continuación, se entregan los ingresos correspondientes según precio del Molibdeno:
- Caso 1: Precio estimado Mo (Estimado2013) de 12,5 [USD/lb], ver Tabla XX.

Tabla XX: Flujo de caja, precio de Mo 12,5 [USD/lb]		
Año	2012	2013
Ingreso		1,880,794.70
Costo Operacional		60,911.90
Utilidad		1,819,882.80
Inversión	-503,809.5	
FCN	-503,809.5	1,819,882.80
TIR	261%	
IVAN	1,181,267.17	

- Caso 2: Precio estimado Mo (Estimado2013) de 11,1[USD/lb], ver tabla XXI.

Tabla XXI: Flujo de caja, precio de Mo 11,1[USD/lb]		
Año	2012	2013
Ingreso		510,728.48
Costo Operacional		60,911.90
Utilidad		449,816.58
Inversión	-503,809.5	
FCN	-503,809.5	449,816.58
TIR	-11%	
IVAN	-87,312.67	

Caso 3: Precio estimado Mo (Estimado2013) de 15,0 [USD/lb], ver tabla XXII

Tabla XXII: Flujo de caja, precio de Mo 15,0 [USD/lb]		
Año	2012	2013
Ingreso		4,164,238.41
Costo Operacional		60,911.90
Utilidad		4,103,326.51
Inversión	-503809,5	
FCN	-503809,5	4,103,326.51
TIR	714%	
IVAN	3,295,566.90	

En la Tabla XXIII, se muestra a modo de resumen los resultados obtenidos, los cuales muestran lo sensible que es la rentabilidad del proyecto a la variación de precio del molibdeno, en especial si se alcanza el valor histórico de 11,1[USD/lb]. Por lo tanto la incorporación de un analizador en línea Curier es rentable siempre y cuando el precio del Molibdeno no alcance 11,1 US\$/lb o un valor inferior.

Tabla XXIII: Rentabilidad del proyecto considerando distintos precios para el molibdeno				
		Precio de Mo (US\$/lb)		
Incremento del grado		11,1	12,5	15,0
%Cobre	% Molibdeno	TIR		
-0,240	0,086	-11%	261%	714%

8. Conclusiones

El análisis de las principales variables asociadas a la baja recuperación rougher de molibdeno indicó que la variable que mostró relación corresponde al porcentaje de sólidos de operación. El aumento sostenido del porcentaje de sólido en la operación en el circuito rougher durante los últimos 3 años ha impactado en los resultados de recuperación colectiva, tanto para el cobre y especialmente para el Molibdeno. El periodo evaluado indicó que la variación de recuperación colectiva de cobre es de 3,3 puntos asociada a la disminución del porcentaje de sólidos de un 2,5%. Este se traduce para las tórtolas un incremento en su producción anual de 5.750 tmf de cobre. En tanto la variación de recuperación colectiva de Molibdeno, se observó un incremento en la recuperación colectiva de Molibdeno de 7,3% ante la disminución de 2,5 puntos porcentuales de porcentaje de sólidos, el efecto neto en la producción anual de Molibdeno de la Planta I, Las Tórtolas, corresponde a un incremento de 159 tmf anuales de molibdeno en concentrado.

La información obtenida de las microscopias indica que la Fase Donoso 1 (la cual se alimentara en mayor proporción los periodos próximos) permitió dar un perfil en cuanto a la distribución y la baja liberación de molibdeno, lo que provoca pérdidas en la etapa rougher. Las pérdidas de molibdeno se deben a que se encuentran los cristales ocluidos en ganga (Gn) cuyo tamaño es mayor a lo habitual, por lo tanto, es una causa de las pérdidas en el circuito rougher.

En cuanto a las pruebas sin adición del colector Xantato Isobutílico, si bien el diseño del proceso presentó que se obtenían resultados óptimos con el uso del colector, la evaluación sin la adición de éste, indicó bajo la restricción de una ley de cobre de alimentación inferior a 0,76%, que es posible aumentar la recuperación de molibdeno en el concentrado mixto, esto es, un aumento de alrededor de 5 puntos porcentuales.

Los resultados obtenidos de los muestreos realizados a distintos niveles de espuma, permiten determinar un punto óptimo de la localización de la interface, es decir determinar la zona de colección donde se obtenga una recuperación óptima tanto de cobre como de molibdeno y una cama o profundidad de espuma que permite determina la capacidad de limpieza de la columna y la cual está estrechamente relacionada con el grado. Por lo tanto trabajar con un bajo nivel de espuma bajo permitiría mineralizar la burbuja con un mayor contenido de molibdeno, lo que nos permite decir que es más selectivo.

Si bien un aumento en la profundidad de la espuma reduce la flotación por arrastre, es decir partículas no adheridas a burbujas son arrastradas a la fase espuma/concentrado, los resultados indican que si bien hay una disminución del grado de cobre en el concentrado mixto, este no se ve mayormente afectado y se compensaría económicamente con el aumento del grado de molibdeno. Para tener un control del efecto en las leyes de cobre y molibdeno en el concentrado mixto según el nivel de espuma, se analizó económicamente la incorporación de un equipo analizador de leyes en línea Curier para optimizar el grado de MoT en el concentrado mixto. La evaluación económica indicó que la rentabilidad del proyecto es sensible a la variación de precio del molibdeno, en especial si se alcanza el valor histórico de 11,1[USD/lb]. Por lo tanto la incorporación de un analizador en línea Curier es rentable siempre y cuando el precio del Molibdeno no alcance 11,1 US\$/lb o un valor inferior.

La evaluación del concentrado scavenger presenta un gran potencial ya que el fino de molibdeno corresponde a un 20% del fino de molibdeno en el concentrado mixto, en tanto el fino de cobre en el concentrado scavenger representa un 7,5% del fino de cobre en el concentrado mixto. Si bien los flujos de concentrado scavenger ricos en molibdeno son recirculados a la flotación columnar luego de pasar por remolienda, son casi despreciables si lo comparamos con el flujo de concentrado rougher, el paso nuevamente por la flotación columnar, es decir, la recirculación de la cola de limpieza al circuito scavenger eventualmente conduciría a pérdidas de molibdenita en la cola.

Con respecto a la granulometría que presenta el concentrado scavenger en cuanto al contenido de molibdeno, este se presenta en partículas de tamaños superiores a 26 [μm], por lo tanto sería necesario evaluar en otro estudio el efecto del tamaño en la flotación selectiva.

9 Recomendaciones

- Una disminución del porcentaje de sólidos en la alimentación rougher de alrededor de dos puntos permite un aumento de la recuperación colectiva de cobre y molibdeno de 3,32 y 7,31 puntos respectivamente. Si bien actualmente se está operando con un porcentaje de sólidos de alrededor de 27%, se recomienda tener en cuenta los efectos de pérdidas que producen volver a trabajar con valores de porcentaje de sólidos sobre un 30%.
- La información obtenida de las microscopias indican que la Fase Donoso 1 (la cual se alimentara en mayor proporción los periodos próximos) permitió dar un perfil en cuanto a la distribución y la baja liberación de molibdeno, lo que provoca pérdidas en la etapa rougher. Se recomienda mejorar la granulometría de alimentación, llegando a valores más finos, ya sea por control de la clasificación o cambios en las variables de molienda.
- Se recomienda como estrategia operacional no adicionar el colector Xanxato Isobutílico cuando la ley de alimentación de cobre es inferior a 0,76%, ya que es posible aumentar la recuperación de molibdeno en el concentrado mixto, esto es, un aumento de alrededor de 5 puntos porcentuales.
- Como estrategia operacional se recomienda trabajar con un nivel bajo de espuma (< 75 cm), ya se aumenta el grado de molibdeno en el concentrado mixto y se justifica económicamente la disminución de ley de cobre. Se sugiere invertir en un analizador en línea Curier ya que permitiría tomar decisiones en tiempo óptimos (con qué nivel de espuma trabajar). Los resultados de la evaluación económica de la incorporación del analizador, mostraron que invertir en el analizador en línea es rentable siempre cuando el precio del molibdeno sea mayor que 11,1 (US\$/lb).
- Se recomienda evaluar el efecto del tamaño en la flotación selectiva del concentrado scavenger ya que éste presenta un gran potencial para considerarlo como concentrado mixto, ya que representa un 20% de Molibdeno fino en concentrado mixto que eventualmente se pierde en la cola scavenger.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] **Sutulov, A.** “*Molibdeno*”. Editorial Universitaria S.A. 1992.
- [2] **Cochilco.** “*Mercado Internacional y minería del Molibdeno en Chile*”. Diciembre 2012.
- [3] **Yianatos B., J.** “*Flotación de minerales*” Valparaíso 2005.
- [4] **Castro, S.** “*Flotation of Molybdenite*”, In International Molybdenum Encyclopedia, Processing and Metallurgy, Edited by Alexander Sutulov, Santiago, Chile, Volume II, 1979.
- [5] **Castro, S.** “*Flotación, fundamentos y aplicaciones*”. Departamento Ingeniería Metalúrgica. Universidad de Concepción., 1983.
- [6] “*Apuntes de Flotación*”, s.l.: Escuela de Ingeniería Química, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. 2006.
- [7] **Pavez, O.** “*Apuntes concentración de minerales*”, Universidad de Atacama. 2004.
- [8] **Kracht, W.** “*Flotación de Minerales*”, Departamento Ingeniería en Minas, Universidad de Chile. 2012.
- [9] **Gomelauri N.G**, Gorno-Obogatitel. Zhur., 1936.
- [10] **Ametov, I.** “*A study of mechanisms affecting molybdenite recovery in a bulk copper_molybdenum flotation circuit*”, s.l. : International Journal of Mineral Processing. 2009.
- [11] **Cedillo, P.** “*Control Mineralógico de Procesos Metalúrgicos, (aplicación de la microscopía de luz reflejada)*”, 2000.
- [12] **Freund, H.** “*Applied Ore Microscopy*”, Colorado School of Mines. 1971.
- [13] **Alfaro, M.** “*Introducción al muestreo minero*”, Instituto de Ingenieros de Minas de Chile, Santiago, Chile., 2002.
- [14] **Tapia, J.** “*Teoría y técnica de muestreo*”, Universidad Arturo Prat. 2005.
- [15] **Arellano, S. y Reyes, G.** “*Recuperación de Molibdeno en Enami Taltal Planta José Antonio Moreno*”, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Metalúrgico, Universidad Católica del Norte. 2007.
- [16] **Rubinsten, J.** “*Flotación en Columnas Procesos, Diseño y Prácticas*”, Editorial Rocas y Minerales, Madrid. 1997.
- [17] **Peters, M. y Timmerhaus, K.** “*Plant design and economic for chemical engineer*”. 1991.
- [18] **Schubbert, H.** “*On the turbulence-controlled micro-processes in flotation machine*”. International Journal of Mineral Processing. 1999.

ANEXO A
Procedimiento preparación mecánica de minerales
Evaluación de riesgos

A.1 Evaluación de riesgos muestreros

Existen muchos riesgos en la tarea de muestreo en la planta concentradora, por lo tanto se debe tomar medidas de control de acuerdo con la actividad, el terreno o las condiciones climáticas ente otros.

En la Tabla XXIV se realiza un análisis de seguro de trabajo (AST):

Tabla XXIV: Análisis de seguro de trabajo (AST)	
Riesgo	Medida de control
Caída mismo nivel, salpicaduras de pulpa, caídas de materiales.	Concentración y atentos a condiciones de piso. Uso de lentes y guantes. Uso de arnes, barbiquejo. Verificar estado de bandas. Uso de pasamanos.
Pérdida de muestra	Concentración al realizar la tarea de modo de asegurar representatividad.
Mal registro de la muestra	Mantener control claro del tipo de muestra.
En planta de cobre se debe contar con todo el equipo de protección personal (EPP)	Casco, lentes, guantes de goma, buzo, zapatos de seguridad.

A.2 Evaluación de riesgos filtrado, secado y preparación mecánica de muestras para análisis químico

Todo operador que realice procedimiento de Filtrado de Muestras deberá usar obligatoriamente todos sus elementos de protección personal, los cuales consisten en el uso de zapatos de seguridad, lentes de seguridad, guantes de nitrilo, cotona y/o ropa de trabajo industrial y protectores auditivos. Al inicio del procedimiento de Filtrado de Muestras, cada operador deberá verificar el óptimo estado de los equipos, sean éstos, filtros, líneas de aire, mangueras, válvulas de acople y piolas de seguridad.

Los principales peligros, eventos no deseados y medidas de control asociado a la tarea de Filtrado de Muestras se detallan en la Tabla XXV.

Tabla XXV: Análisis de seguro de trabajo (AST), filtrado, secado y preparación mecánica

Energías	Riesgo	Medidas de control
Potencial-Gravedad	Tropezos y Caídas a mismo nivel	Mantener área limpia, piso seco y despejado. Área de trabajo debidamente delimitada. Uso de zapatos de Seguridad. Uso de piso con goma antideslizante.
Mecánica	Daño a persona por golpes de mangueras desacopladas. Daño en ojos por contacto directo de aire a presión (~80 psi).	-Verificar antes cumplimiento de pautas y programas de Mantenimiento de Filtros. -Uso de piola de seguridad que sujeta tirantes y manguera. -Revisar el equipo antes de utilizar para asegurar condiciones óptimas de tirantes, piolas, válvula de alivio y abrazaderas. -Uso de lentes de seguridad.
	Daño a personas por golpes con partes de filtros.	-Precaución en el proceso de armado y desarmado de filtros.
	Atrición de dedos y golpeado por tapa de cilindro.	-Precaución en cierre de las tapas de los filtros e instalación del cilindro en la base.
	Daño a persona por golpe de piola retráctil.	-Verificar condiciones óptimas de pistola de impacto mediante revisión visual del operador y el cumplimiento de pauta de mantenimiento del equipo.
Hidráulica	Daño ocular y pérdida de material (calidad de la muestra)	-Uso de lentes de seguridad, precaución en el vaciado de la muestra para asegurar la calidad de la muestra. Cierre adecuado de tapas de filtros. Uso de guantes de nitrilo y cotona.
Acústica-Vibracional	Exposición al ruido.	-Uso obligatorio de Protectores Auditivos, Uso señalética de advertencia exposición a ruido.

A.3 Procedimiento de preparación de muestras para análisis químico

Las muestras se preparan en el laboratorio metalúrgico para ser enviadas a análisis químico al laboratorio SGS, el análisis.

A.3.1 Descripción de filtrado de muestras

Los equipos y materiales utilizados para realizar el proceso de Filtrado de Muestras son:

- a) Filtros de presión
 - b) Pistola impacto neumática
 - c) Baldes o recipientes contenedores de pulpa
 - d) Bandejas
 - e) Papel filtro
 - f) Celdas
 - g) Espátulas
 - h) Aire a presión
 - i) Agua
 - j) Tela filtro
-
- a) Verificar condiciones óptimas para el uso seguro de los filtros y la limpieza adecuada de éstos.
 - b) Instalar en la base de los filtros y en el orden indicado, malla de acero, tela filtrante y papel filtro.
 - c) Colocar sobre papel, de manera vertical el cilindro del filtro y asegurar que éste quede debidamente empotrado en la base del filtro.
 - d) Agitar la muestra contenida en baldes o recipientes contenedores de pulpa para asegurar el vaciado total de sólidos hacia el filtro. En caso de ser necesario, agregar agua al balde o recipiente contenedor de pulpa hasta el vaciado total de residuos sólidos.
 - e) Instalar la tapa del filtro sobre el cilindro de manera tal que las gomas de sello queden perfectamente centradas.
 - f) Asegurar el cierre adecuado de tapa de filtros para evitar escape de muestra, utilizando Pistola de Impacto Neumática.

- g) Dar paso de aire lentamente para evitar que la muestra se proyecte en el interior del filtro. Mantener válvula de presión de aire abierta hasta verificar que ha evacuado toda el agua desde el interior del filtro.
- h) Cerrar válvula de aire, y abrir válvula de alivio (3) lentamente para eliminar presión de aire al interior del filtro. Mantener válvula de alivio abierta hasta eliminar todo aire del interior.
- i) Desmontar tapa de filtro utilizando Pistola de Impacto Neumática.
- j) Desmontar cilindro del filtro lentamente para evitar pérdida de muestra.
- k) Extraer muestra húmeda contenida en papel filtro y depositarla en una bandeja debidamente identificada con el flujo de la planta u origen correspondiente. Si así correspondiere, posteriormente la muestra pasa al proceso de secado en hornos (ver procedimiento de Secado de Muestra).

A.3.2 Descripción de secado de muestras

- a) Verificar condiciones óptimas de funcionamiento de los hornos de secado.
- b) Verificar con equipo medidor de temperatura, la temperatura al interior de los hornos en sus partes superior, media e inferior. Este procedimiento se realizará al inicio de cada Turno B y se llevará registro diario de las Temperaturas por Horno en sus distintos niveles. Las temperaturas deberán ser tomadas con el medidor de temperatura (Ej: Termocupla) y deben quedar registradas en planillas Excel o en el sistema automatizado de manejo de bases de datos que se utilice en el laboratorio metalúrgico y/o muestreras (Ej. JobSam).
- c) En el caso de que algún horno no sea utilizado de manera sistemática, de igual manera se realizará pruebas de funcionamiento de hornos para verificar temperaturas en su interior y se llevará un registro de temperaturas como lo indicado en el punto anterior. En este caso se realizará mediciones dos veces a la semana.
- d) La temperatura de secado de las muestras debe ser estable y no exceder los 105°C, de lo contrario las muestras pueden ser calcinadas o es posible perder la concentración de algunos elementos volátiles.
- e) Introducir dentro de Hornos de Secado, muestras en bandejas de acero inoxidable reutilizables o de aluminio desechables, debidamente identificadas con los rótulos de muestras (ej., Flujos plantas, números de muestras, etc.). Las muestras pueden ser divididas en varias bandejas. Sin embargo, en este caso, cada bandeja debe ser identificada con el mismo número de muestra.

- f) El tiempo de secado dependerá de la cantidad de muestra existente en cada bandeja y debe ser determinado de manera experimental hasta obtener, en un período de tiempo, un peso de muestra constante que considera el peso de la bandeja+muestra. Para ello, las bandejas con muestras deben ser extraídas desde los hornos después de un tiempo estimado y determinado experimentalmente de manera que la muestra aún contenga algún grado de humedad (Ej. 1 hora).
- g) Antes de pesar las bandejas y su muestra, éstas deben haber alcanzado una temperatura ambiente.
- h) Pesar las muestras, registrar medidas e introducirlas en los hornos sistemáticamente hasta lograr un peso de muestra constante. Para verificar el secado total de las muestras es necesario tener al menos 3 medidas de peso iguales. Esta información debe ser registrada en planillas de Registro de Peso Constante de las Muestras.

A.3.3 Preparación mecánica de minerales

Los equipos y materiales utilizados para realizar el proceso de Filtrado de Muestras son:

- a) Bolsas Plásticas
- b) Balanzas
- c) Harnero Vibratorio (#14Ty)
- d) Chancador de Mandíbula
- e) Chancador de Rodillos
- f) Bandejas de Acero Inoxidables y/o balde
- g) Divisor rotatorio
- h) Pulverizador LM2
- i) Sistemas de aire a presión (Pistolas de aire a presión)
- j) Hidroaspiradoras
- k) Sistemas de Extracción de polvo (Campanas de extracción).
- l) Brochas, corcheteras y etiquetas de muestras.
- m) Deslamador (#150Ty)

A continuación se detalla el procedimiento de preparación mecánica de muestras para aquellas provenientes de los flujos de las plantas de Cu y Mo.

Las muestras provenientes de la planta de Mo requieren de una etapa inicial de disgregado después del secado de las muestras. La razón de esto es que la superficie de las partículas presenta un contenido variable de petróleo el cual se adiciona para el proceso de flotación de Mo. Esta característica evidentemente permite la adherencia de partículas unas con otras. El total de la muestra seca con petróleo es vaciada sobre la # 50Ty. Debido a que las partículas de adhieren, éstas suelen quedar como muestra retenida sobre la malla indicada. La acción de un movimiento circular de la mano en combinación con un leve aprisionamiento sobre la superficie de la malla, permite que las partículas pasen a través de los orificios y sean recepcionadas en una bandeja debidamente identificada con el número de muestra.

Adicionalmente, es importante mencionar que en el caso de las muestras de la Planta de Mo, sólo las muestras de la alimentación a la planta de Mo y que corresponde al flujo de Concentrado final de la planta de Cu, pasan por el proceso de pulverizado que se detalla más adelante. El resto de las muestras provenientes de esta planta, pasan sólo por las dos etapas de homogeneización en equipo Divisor Rotatorio.

A continuación se detalla el procedimiento generalizado de homogeneización y pulverizado de muestras.

- HOMOGENEIZACIÓN PRIMARIA DE LA MUESTRA

El total de la muestra debe ser homogeneizada en equipo Divisor Rotatorio apropiado para la cantidad de muestra original. La cantidad de muestra que puede contener cada recipiente o porción dividida, no debe ser menor al 5% del total de la masa de la muestra original.

El contenido de muestra seca generada en los flujos de las plantas puede variar. Las muestras cuyos pesos varíen entre 0-1 kg, deberán ser homogeneizadas en Divisor Rotatorio cuya capacidad de tolva de recepción de muestra sea de hasta 1 kg. Las muestras entre 1-3 kg, deben ser homogeneizadas en Divisor Rotatorio de capacidad de tolva de hasta 3 kg.

La cantidad de masa requerida para la etapa de pulverizado de la muestra debe ser tomada a partir del contenido total de los recipientes o de alguna combinación del contenido total de ellos. En ningún caso se puede considerar parte del contenido de la muestra de uno de los

recipientes del divisor rotatorio. En el caso de requerirse más de un recipiente para completar la masa requerida, se deben seleccionar recipientes diametralmente opuestos. El divisor rotatorio debe operar con un mínimo de 30 rotaciones para homogeneizar el total de la muestra. El procedimiento de homogeneización primaria de muestras es el siguiente:

- a) Activar el equipo Divisor Rotatorio. Asegurar que las revoluciones establecidas para el equipo sean las adecuadas para operar con un mínimo de 30 rotaciones.
 - b) Activar sistema de extracción de polvo ubicado sobre equipo divisor rotatorio. Dicho equipo de extracción debe estar regulado para evitar la succión de la muestra.
 - c) Vaciar lentamente el contenido de la muestra en la tolva del Divisor rotatorio. Realizar dicho procedimiento hasta completar vaciado total de la muestra.
-
- a) Una vez distribuida la totalidad de la muestra en los recipientes del divisor rotatorio, apagar funcionamiento del equipo y mantener en funcionamiento el sistema de extracción de polvo por aproximadamente 20 minutos posteriores a la homogeneización de la muestra.
 - b) Vaciar el contenido de muestra de cada recipiente en una bandeja de acero inoxidable con el número de identificación de la muestra hasta, completar una masa aproximada de 750 g. El material remanente debe ser introducido en un sobre como rechazo. El sobre de llevar la identificación de la muestra.
 - c) Realizar limpieza al Divisor rotatorio para evitar contaminación de muestras. Para ello se utiliza sistema de aire a presión. Simultáneamente debe estar activo el sistema de extracción de aire (Campanas de Extracción de Aire).

- PULVERIZADO DE MUESTRA

Las muestras destinadas para análisis químico (común y para QA/QC) deben ser pulverizadas en equipo LM2 para obtener el tamaño de partícula adecuado (95% < 106 µm). El procedimiento para el pulverizado es el siguiente:

- a) Asegurar que en la cápsula de recepción de muestras del pulverizador no existan residuos de otras muestras.

- b) Vaciar el contenido completo de muestra (750g aproximadamente) en la cápsula del pulverizador destinada para tratamiento de muestras de flujos de las plantas.
- c) Antes de realizar el pulverizado de la muestra, poner en funcionamiento el pulverizador con cápsula vacía y verificar el funcionamiento efectivo del sistema de bloqueo (detención de equipo) al levantar la tapa del pulverizador.
- d) Desactivar el funcionamiento del pulverizador. Verificar que el equipo esté absolutamente detenido (sin movimiento) e instalar la cápsula con contenido de muestra en plataforma vibratoria. Bajar tapa protectora de pulverizador, asegurar el sellado de la tapa y activar el funcionamiento del equipo.
- e) El tiempo de pulverizado de la muestra es programado y ha sido determinado experimentalmente, de manera tal de asegurar la reducción del tamaño de las partículas a menor a 104 μm (-#150).
- f) Al apagarse automáticamente el pulverizador, levantar la tapa un tiempo después de la detención del equipo para asegurar que éste se encuentre sin movimiento residual. Extraer cápsula desde su interior y vaciar el total de la muestra en la bandeja de recepción previamente identificada con el número de la muestra. Barrer cápsula con una brocha para asegurar que la totalidad de la muestra se encuentre en la bandeja. El vaciado de la muestra se debe realizar en el sector de campana extractora de polvo.
- g) Realizar la limpieza de la cápsula utilizada agregando cuarzo molido en el interior de ella. Instalar nuevamente la cápsula en plataforma vibratoria y activar el funcionamiento del Pulverizador por un período de 0,5 a 1 minuto. Extraer el contenido de cuarzo y eliminar con rechazos de muestras de muestrera. Limpiar la cápsula con sistema de aire a presión en el sector de la campana extractora bajo el funcionamiento del sistema de extracción de polvo.

- HOMOGENEIZACIÓN SECUNDARIA DE LA MUESTRA

La porción de muestra proveniente de la etapa de pulverización (aproximadamente 750 g) debe ser homogeneizada en equipo Divisor rotatorio para generar los distintos sobres de muestras para análisis químico, duplicados y QA/QC. El procedimiento de homogeneización secundaria es el siguiente:

Activar el equipo Divisor Rotatorio. Asegurar que las revoluciones establecidas para el equipo sean las adecuadas para operar con un mínimo de 30 rotaciones.

- b) Activar sistema de extracción de polvo ubicado sobre equipo divisor rotatorio. Dicho equipo de extracción debe estar regulado para evitar la succión de la muestra.
- c) Vaciar lentamente el contenido de la muestra en la tolva del Divisor rotatorio. Realizar dicho procedimiento hasta completar el vaciado total de la muestra.
- d) Una vez distribuida la totalidad de la muestra en los recipientes del divisor rotatorio, apagar funcionamiento de equipo y mantener en funcionamiento el sistema de extracción de polvo por aproximadamente 10 minutos posteriores a la homogeneización de la muestra.
- e) Vaciar el contenido de muestras de cada recipiente en sobres independientes. Los sobres deben ser identificados con el número de muestra. Al 5 % de las muestras preparadas (1 de cada 20 muestras) se les deberá realizar Control de Calidad. Esto implica que las muestras independientes de cada capacho deben ser pesadas. El peso de cada muestra debe ser registrado en Planillas de control de peso de muestras de QA/QC o en el sistema automatizado de manejo de bases de datos que se utilice en el laboratorio metalúrgico y/o muestreras (Ej. JobSam).
- f) Una vez pesadas las muestras obtenidas del divisor rotatorio, una submuestra debe ser destinada para análisis químico de duplicado de muestra y esta misma para determinación de tamaño de partícula (QA/QC de pulverizador). El análisis químico de muestras de duplicados serán enviados como duplicados ciegos al Laboratorio Químico que corresponda, de acuerdo al Procedimiento de Envío de Duplicados para Control de Calidad/Aseguramiento de la Calidad de Análisis químico de Muestras de Procesos, Planta Las Tórtolas.
- g) De manera general, se deben destinar muestras para: análisis químico, pulpa duplicado al 5% de las muestras (QA/QC), chequeo laboratorio secundario al 5% de las muestras (QA/QC), determinación de tamaño de partícula (QA/QC de pulverizador) y archivo de pulpa.
- h) Las muestras contenidas en el resto de los recipientes del divisor rotatorio no destinadas para QA/QC deben ser introducidas en un sobre, como rechazo. El sobre debe llevar identificación de la muestra. Este rechazo de muestra debe ser guardado en archivo de pulpas por el tiempo establecido en protocolo de administración de muestras.

- i) Realizar limpieza al Divisor rotatorio para evitar contaminación de muestras. Para ello se utiliza sistema de aire a presión. Simultáneamente debe activarse el sistema de extracción de aire (Campanas de Extracción de Aire).
- j) Finalmente, realizar análisis granulométrico de Control de Granulometría de #150 utilizando equipo Deslamador. Esta parte del procedimiento permite llevar control de calidad (QA/QC) del Pulverizador. Para ello se requiere Tarar la balanza por peso de la bandeja receptora y vaciar el contenido de muestra destinado para QA/QC (Ej: Flujos de Alimentación planta Cu y Concentrado Final Planta de Cu). Registrar peso de dicha muestra. Poner en funcionamiento equipo Deslamador. Vaciar el contenido de la muestra en malla (#150) del deslamador. Abrir llave de paso de agua para que la muestra sólida pase a través de dicha malla y así verificar la existencia o no de material retenido en #150.
- k) De existir material retenido, vaciar su contenido en una bandeja debidamente identificada con el número de muestra. Realizar lavado de malla con agua para asegurar que el sólido retenido quede depositado en la bandeja receptora. Dejar decantar los sólidos, eliminar contenido de agua superficial e introducir la bandeja en horno para secado de muestra según procedimiento de Secado de Muestras.
- l) Extraer bandeja con muestra seca desde Horno de Secado, vaciar el contenido de muestra en la bandeja original utilizada para el pesaje de ésta. Pesar nuevamente la muestra asegurando la tara de la balanza. Calcular y registrar porcentaje de material retenido en malla. Si el porcentaje de material retenido es mayor al 5%, dejar fuera de funcionamiento el equipo pulverizador por no cumplir con estándares de calidad y coordinar revisión y/o mantención de equipo por los especialistas.

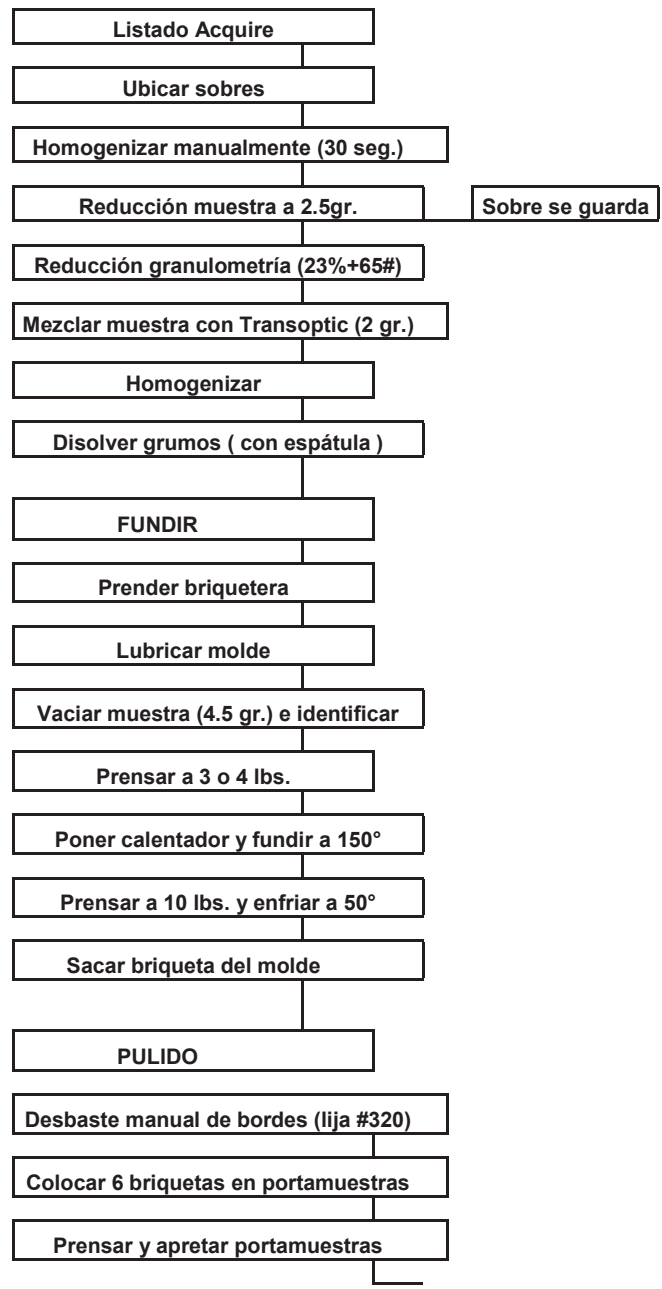
A.3.4 Análisis químicos

Los análisis químicos fueron realizados por el laboratorio SGS y son los siguientes:

- Hierro: es el hierro total, ya sea en forma de sulfuro u oxido en el mineral (FeT)
- Cobre Total: Corresponde a la cantidad de cobre sulfurado y oxidado presente en el mineral (CuT).
- Cobre Soluble: Corresponde al Cobre Oxidado presente en el mineral (CuS).
- Molibdeno Total: es el molibdeno total presente en el mineral, que se encuentra como molibdenita (MoT).

- Arsénico total: es el arsénico total presente en el mineral (AsT).
- Insoluble: es una parte de la ganga, para identificar las fluctuaciones de la ganga (mas insoluble implica que el mineral viene con más ganga). La ganga insoluble está formada por sílice y es el resultado de una digestión de la muestra que se realiza en el laboratorio.

A.4 Esquema de procedimiento de preparación de briqueta para análisis por microscopía



Colocar portamuestras en brazo pulidora			
Programar Pulido			
Lijas	Minutos	RPM	Presión
320	6	200	20
400	6	200	20
600	6	200	20
Pasta Diam.	Minutos	RPM	Presión
#6	6	200	35
#3	6	200	35
#1	6	200	40

Nota: en cada paso se saca el portamuestras y se lava.
Finalmente en forma manual se pasa en alúmina de 0.05 mic.

ANEXO B
Data Operacional Planta I Las Tórtolas

B.1 Tonelaje, porcentaje de cobre y molibdeno, alimentación Rougher

Mes/ Año	Ton. Alim. LT 1	%CuT Alim. Rougher	%MoT Alim. Rougher
ene 04	1800870,9	1,179	0,009
feb 04	1513682,4	1,062	0,007
mar 04	1804751,6	1,060	0,007
abr 04	1678532,0	1,126	0,009
may 04	1599014,8	1,070	0,009
jun 04	1755390,3	1,092	0,013
jul 04	1816678,9	1,181	0,013
ago 04	1723549,8	1,033	0,011
sep 04	1683292,3	0,988	0,009
oct 04	1565235,3	1,101	0,014
nov 04	1740885,0	1,043	0,012
dic 04	1809206,7	1,083	0,014
ene 05	1741816,6	1,045	0,012
feb 05	1607079,1	1,006	0,018
mar 05	1762450,5	1,035	0,011
abr 05	1684015,1	1,010	0,011
may 05	1801515,8	0,998	0,011
jun 05	1698499,3	0,948	0,013
jul 05	1639613,1	0,991	0,014
ago 05	1705063,9	1,076	0,011
sep 05	1835873,5	0,978	0,013
oct 05	1819102,5	0,971	0,017
nov 05	1818541,0	1,043	0,019
dic 05	1820119,3	1,080	0,014
ene 06	1750425,7	1,007	0,016
feb 06	1778114,7	0,996	0,014
mar 06	1730052,4	1,013	0,012
abr 06	1710000,6	0,941	0,010
may 06	1763497,8	0,939	0,010
jun 06	1748829,3	1,028	0,015
Jul 06	1748754,9	0,975	0,025

Anexo B **Data operacional Planta I Las Tórtolas**

ago 06	1806315,0	1,034	0,016
sep 06	1800560,5	1,040	0,017
oct 06	1782901,9	1,018	0,044
nov 06	1770440,9	1,067	0,032
dic 06	1817500,5	1,115	0,022
ene 07	1733349,6	0,962	0,018
feb 07	1699821,4	1,003	0,015
mar 07	1799472,4	0,938	0,019
abr 07	1800058,1	0,854	0,018
may 07	1721923,4	1,050	0,021
jun 07	1827462,1	0,913	0,020
jul 07	1670790,6	1,061	0,029
ago 07	1632771,5	1,027	0,034
oct 07	1716587,0	1,087	0,015
nov 07	1809950,6	1,059	0,018
dic 07	1801700,5	1,037	0,015
ene 08	1589515,3	1,091	0,026
feb 08	1554084,6	1,077	0,024
mar 08	1545366,4	1,117	0,034
abr 08	1723856,0	1,199	0,027
may 08	1649771,5	1,120	0,035
jun 08	1682812,4	1,156	0,031
jul 08	1608120,2	1,180	0,038
ago 08	1511947,2	1,112	0,034
sep 08	1632035,9	1,016	0,021
oct 08	1811859,4	1,148	0,029
nov 08	1722122,9	1,074	0,036
dic 08	1653235,8	1,045	0,030
ene 09	1536928,6	0,996	0,038
feb 09	1648513,2	0,994	0,026
mar 09	1797289,1	0,997	0,035
abr 09	1659581,1	1,154	0,024
may 09	1764610,7	1,050	0,030
jun 09	1740796,2	1,030	0,021

Anexo B Data operacional Planta I Las Tórtolas

jul 09	1747760,7	1,094	0,009
ago 09	1815976,7	0,986	0,006
sep 09	1733574,6	1,131	0,015
oct 09	1751255,2	1,169	0,021
nov 09	1645531,7	1,220	0,026
dic 09	1512718,3	1,188	0,023
ene 10	1536278,8	1,106	0,020
feb 10	1515325,3	1,073	0,022
mar 10	1649034,9	0,986	0,023
abr 10	1693003,8	1,036	0,012
may 10	1524352,2	1,056	0,017
jun 10	1503939,4	1,072	0,021
jul 10	1522307,7	1,061	0,016
ago 10	1619071,2	1,006	0,021
sep 10	1465098,2	0,957	0,014
oct 10	1531528,1	1,096	0,013
nov 10	1581836,0	1,114	0,005
dic 10	1763115,0	1,034	0,008
ene 11	1672806,0	0,938	0,007
feb 11	1628737,0	0,842	0,009
mar 11	1462355,0	0,938	0,009
abr 11	1814609,0	0,928	0,011
may 11	1832555,0	0,919	0,013
jun 11	1829581,0	0,857	0,010
jul 11	1732657,0	0,833	0,009
ago 11	1547340,0	0,932	0,008
sep 11	1547340,0	0,873	0,008
oct 11	1817208,2	0,884	0,008
nov 11	1653211,4	0,999	0,007
dic 11	1715918,3	0,880	0,011
ene 12	1361821,2	0,923	0,012
Feb 12	1553689,7	0,884	0,010
mar 12	1804962,1	0,886	0,010
abr 12	1554813,4	0,864	0,010

may 12	1512260,4	0,860	0,008
jun 12	1451102,0	0,791	0,013
jul 12	1372547,1	0,798	0,006
ago 12	1555944,4	0,725	0,013
sep 12	1312354,6	0,857	0,014
oct 12	1358320,0	0,899	0,011
nov 12	1304002,0	0,844	0,013
dic 12	1376154,0	0,809	0,011

B.2 Recuperación global de cobre y molibdeno, Planta I Las Tórtolas.

Mes/ Año	%Recup. Global Cu Pta 1 LT	%Recup. Global Mo Pta 1 LT
ene 04	88,26	87,27
feb 04	89,66	70,95
mar 04	89,44	85,91
abr 04	90,84	77,84
may 04	90,43	86,60
jun 04	89,05	78,87
jul 04	90,65	79,44
ago 04	89,03	69,66
sep 04	89,11	87,26
oct 04	89,42	68,97
nov 04	89,43	69,26
dic 04	88,89	77,38
ene 05	88,23	77,25
feb 05	90,50	63,87
mar 05	90,31	71,19
abr 05	89,50	67,77
may 05	88,85	71,63
jun 05	88,18	76,06
jul 05	90,37	65,15

ago 05	90,16	85,14
sep 05	87,18	87,28
oct 05	85,89	79,94
nov 05	85,78	75,73
dic 05	84,97	61,51
ene 06	88,80	82,73
feb 06	87,90	74,72
mar 06	87,85	75,03
abr 06	88,09	63,28
may 06	86,68	73,63
jun 06	89,17	65,19
jul 06	88,18	70,61
ago 06	87,23	75,36
sep 06	88,35	69,58
oct 06	89,09	60,74
nov 06	87,13	56,36
dic 06	87,67	59,34
ene 07	85,58	59,65
feb 07	87,55	61,49
mar 07	85,50	62,88
abr 07	83,90	51,45
may 07	87,87	52,07
jun 07	87,27	56,46
jul 07	87,67	52,07
ago 07	87,07	48,18
sep 07	83,05	64,29
oct 07	86,44	63,02
nov 07	81,80	65,25
dic 07	86,51	67,20
ene 08	88,11	58,08
feb 08	87,60	58,51
mar 08	88,72	57,64
abr 08	88,77	58,43
may 08	85,13	59,41

jun 08	85,36	60,21
jul 08	82,25	46,76
ago 08	83,59	50,90
sep 08	82,38	49,37
oct 08	84,54	58,74
nov 08	81,65	58,49
dic 08	83,79	55,56
ene 09	82,13	48,11
feb 09	82,41	62,63
mar 09	84,04	60,43
abr 09	85,73	66,24
may 09	85,78	48,50
jun 09	82,58	63,64
jul 09	87,85	52,41
ago 09	87,10	61,63
sep 09	87,58	57,30
oct 09	87,75	66,85
nov 09	88,08	71,05
dic 09	88,82	74,69
ene 10	88,14	84,00
feb 10	87,91	66,00
mar 10	87,22	61,45
abr 10	87,18	76,26
may 10	87,72	68,33
jun 10	88,12	68,34
jul 10	88,44	65,16
ago 10	89,33	56,66
sep 10	87,75	74,51
oct 10	87,74	64,62
nov 10	89,05	58,61
dic 10	89,27	44,06
ene 11	88,27	48,38
feb 11	85,45	57,46

mar 11	86,02	58,31
abr 11	85,74	53,35
may 11	85,68	55,80
jun 11	84,44	41,63
jul 11	83,44	59,28
ago 11	86,95	57,69
sep 11	85,12	50,43
oct 11	86,64	48,38
nov 11	86,85	63,17
dic 11	85,19	59,63
ene 12	85,72	39,40
feb 12	83,23	56,03
mar 12	83,17	38,81
abr 12	81,56	38,75
may 12	81,25	36,85
jun 12	73,79	35,28
jul 12	83,41	40,33
ago 12	79,96	36,90
sep 12	84,70	40,95
oct 12	85,33	44,60
nov 12	83,42	41,80
dic 12	79,90	38,80

B.3 Recuperación colectiva de Cobre y Molibdeno, Planta I Las Tórtolas.

Mes/ Año	%Recup. Colectivade Cu	%Recup. Colectivade Mo
ene 04	89,96	81,63
feb 04	90,88	83,05
mar 04	90,46	89,38
abr 04	91,70	81,18
may 04	90,80	93,03
jun 04	90,68	89,61
jul 04	91,85	94,15
ago 04	89,80	87,83
sep 04	90,24	88,48
oct 04	90,65	77,00
nov 04	91,01	78,79
dic 04	90,46	89,88
ene 05	91,48	83,51
feb 05	91,69	74,33
mar 05	91,11	84,63
abr 05	90,53	82,65
may 05	89,94	90,17
jun 05	88,62	87,99
jul 05	91,24	85,77
ago 05	91,19	90,08
sep 05	88,91	92,65
oct 05	87,44	84,14
nov 05	87,99	80,97
dic 05	87,09	79,53
ene 06	92,64	78,55
feb 06	89,65	76,19
mar 06	88,85	80,87
abr 06	89,00	80,51
may 06	85,80	84,77
jun 06	89,24	73,99

jul 06	88,34	79,40
ago 06	86,66	87,50
sep 06	88,48	83,70
oct 06	89,46	71,82
nov 06	87,54	70,26
dic 06	87,78	66,28
ene 07	86,05	67,39
feb 07	87,61	80,51
mar 07	84,26	75,70
abr 07	82,90	78,36
may 07	87,67	80,22
jun 07	86,33	77,22
jul 07	87,18	75,87
ago 07	86,48	77,94
sep 07	82,23	77,00
oct 07	85,95	81,54
nov 07	81,99	75,49
dic 07	86,59	78,15
ene 08	88,28	75,87
feb 08	88,42	77,61
mar 08	88,43	78,83
abr 08	89,53	62,00
may 08	84,24	68,12
jun 08	85,22	71,17
jul 08	81,75	66,31
ago 08	82,98	75,16
sep 08	84,98	73,00
oct 08	86,24	72,15
nov 08	83,27	70,83
dic 08	83,92	74,91
ene 09	81,14	70,76
feb 09	82,62	74,96
mar 09	84,41	64,01
abr 09	85,61	66,00

may 09	85,30	73,41
jun 09	81,63	76,59
jul 09	86,96	72,86
ago 09	87,06	67,29
sep 09	86,62	71,46
oct 09	87,71	69,59
nov 09	87,99	78,21
dic 09	89,51	80,02
ene 10	89,16	77,76
feb 10	88,05	81,97
mar 10	87,37	80,55
abr 10	87,01	83,63
may 10	88,19	76,09
jun 10	87,82	82,33
jul 10	87,98	79,84
ago 10	89,18	69,90
sep 10	87,44	76,65
oct 10	88,17	72,52
nov 10	88,70	61,70
dic 10	89,03	64,50
ene 11	88,21	60,85
feb 11	86,18	62,77
mar 11	85,84	67,99
abr 11	85,28	65,15
may 11	84,99	65,09
jun 11	85,02	70,19
jul 11	83,37	69,62
ago 11	86,25	75,77
sep 11	84,07	73,23
oct 11	85,75	70,33
nov 11	86,20	47,34
dic 11	84,80	68,07
ene 12	85,25	69,42

feb 12	81,98	63,08
mar 12	82,39	48,53
abr 12	80,24	49,40
may 12	80,50	48,64
jun 12	75,22	46,50
jul 12	85,02	50,87
ago 12	82,05	49,62
sep 12	87,34	58,52
oct 12	85,26	62,66
nov 12	82,62	60,46
dic 12	82,55	58,97

B.4 Recuperación rougher de Cobre y Molibdeno, Planta I Las Tórtolas.

Mes/ Año	%Recup. Rougher de Cu	%Recup. Rougher de Mo
ene 04	89,91	83,89
feb 04	91,07	84,50
mar 04	90,99	90,40
abr 04	92,05	83,63
may 04	92,16	94,41
jun 04	90,58	95,49
jul 04	91,78	96,06
ago 04	90,91	94,80
sep 04	90,66	90,53
oct 04	91,19	79,52
nov 04	90,84	82,97
dic 04	90,69	91,53
ene 05	89,83	85,73
feb 05	92,23	76,23
mar 05	92,23	85,94
abr 05	91,10	83,57
may 05	90,72	91,45
jun 05	90,62	91,48

jul 05	92,43	89,75
ago 05	92,09	91,86
sep 05	89,50	94,81
oct 05	88,25	86,21
nov 05	88,19	86,19
dic 05	88,07	81,57
ene 06	89,61	82,89
feb 06	90,15	83,13
mar 06	90,49	94,08
abr 06	90,65	88,00
may 06	90,04	89,77
jun 06	91,70	89,83
jul 06	91,17	85,51
ago 06	90,04	90,96
sep 06	90,39	96,36
oct 06	91,32	87,30
nov 06	90,07	85,07
dic 06	90,61	77,85
ene 07	88,55	71,66
feb 07	90,18	90,94
mar 07	89,42	79,96
abr 07	88,02	82,05
may 07	90,50	85,29
jun 07	90,60	85,60
jul 07	91,20	90,33
ago 07	90,70	87,25
sep 07	87,41	88,97
oct 07	90,05	86,80
nov 07	85,72	81,10
dic 07	89,53	82,01
ene 08	90,77	77,83
feb 08	90,38	80,10
mar 08	92,73	82,78
abr 08	91,97	77,77

may 08	90,19	77,78
jun 08	89,65	79,36
jul 08	87,50	72,18
ago 08	88,50	80,27
sep 08	86,08	80,91
oct 08	88,00	86,49
nov 08	85,91	84,96
dic 08	88,53	90,65
ene 09	88,36	91,87
feb 09	87,15	90,34
mar 09	88,67	91,73
abr 09	89,65	90,59
may 09	89,50	92,16
jun 09	87,10	93,90
jul 09	91,07	91,12
ago 09	89,60	90,84
sep 09	90,83	92,05
oct 09	90,89	90,30
nov 09	90,98	92,91
dic 09	91,13	90,18
ene 10	90,67	80,14
feb 10	90,74	83,39
mar 10	90,22	82,42
abr 10	90,35	87,78
may 10	90,48	81,78
jun 10	90,96	84,06
jul 10	90,97	81,98
ago 10	91,89	80,40
sep 10	90,71	81,45
oct 10	89,69	81,17
nov 10	91,26	69,48
dic 10	91,61	76,01
ene 11	91,07	74,70
feb 11	88,03	70,58

mar 11	88,97	78,68
abr 11	88,94	77,17
may 11	88,63	71,34
jun 11	86,90	73,52
jul 11	86,07	75,91
ago 11	89,76	78,48
sep 11	88,41	79,68
oct 11	89,99	77,01
nov 11	90,11	64,90
dic 11	88,43	77,17
ene 12	89,10	70,15
feb 12	87,51	69,87
mar 12	86,72	60,74
abr 12	85,80	57,96
may 12	85,16	59,72
jun 12	83,86	56,68
jul 12	87,39	56,75
ago 12	84,12	56,57
sep 12	86,10	67,65
oct 12	81,12	65,20
nov 12	84,95	64,94
dic 12	84,60	67,57

B.5 Recuperación de Limpieza de Cobre y Molibdeno, Planta I Las Tórtolas.

Mes/ Año	%Recup. Limpieza de Cu	%Recup. Limpieza de Mo
ene 04	98,16	97,30
feb 04	98,46	98,29
mar 04	98,29	98,87
abr 04	98,68	97,07
may 04	98,12	98,54
jun 04	98,31	93,84

jul 04	98,76	98,02
ago 04	97,93	92,65
sep 04	98,30	97,73
oct 04	98,06	96,83
nov 04	98,44	94,96
dic 04	98,02	98,20
ene 05	98,21	97,40
feb 05	98,12	97,51
mar 05	97,91	98,47
abr 05	98,25	98,90
may 05	97,94	98,60
jun 05	97,30	96,19
jul 05	97,78	95,57
ago 05	97,89	98,06
sep 05	97,41	97,73
oct 05	97,32	97,60
nov 05	97,26	93,94
dic 05	96,47	97,50
ene 06	99,09	94,76
feb 06	97,50	91,65
mar 06	97,08	85,96
abr 06	97,17	91,48
may 06	96,27	94,44
jun 06	97,23	82,37
jul 06	96,72	92,86
ago 06	96,89	96,20
sep 06	97,75	86,87
oct 06	97,57	82,26
nov 06	96,73	82,59
dic 06	96,75	85,14
ene 07	96,64	94,04
feb 07	97,09	88,53

mar 07	95,61	94,66
abr 07	95,32	95,50
may 07	97,10	94,06
jun 07	96,32	90,21
jul 07	96,12	83,99
ago 07	96,00	89,33
sep 07	95,02	86,55
oct 07	95,99	93,95
nov 07	95,42	93,08
dic 07	96,63	95,30
ene 08	97,07	97,48
feb 08	96,92	96,89
mar 08	95,68	95,23
abr 08	96,53	79,72
may 08	94,39	87,58
jun 08	95,22	89,67
jul 08	94,00	91,87
ago 08	94,45	93,63
sep 08	95,70	90,23
oct 08	96,06	83,42
nov 08	95,04	83,38
dic 08	94,65	82,64
ene 09	92,95	77,03
feb 09	94,56	82,98
mar 09	94,78	69,78
abr 09	95,63	72,86
may 09	95,84	79,65
jun 09	94,81	81,56
jul 09	96,47	79,97
ago 09	97,21	74,08
sep 09	96,43	77,63
oct 09	96,54	77,06
nov 09	96,81	84,18

dic 09	97,47	88,74
ene 10	97,20	97,04
feb 10	96,88	98,30
mar 10	96,68	97,73
abr 10	96,50	95,28
may 10	96,95	93,05
jun 10	96,88	97,94
jul 10	97,22	97,39
ago 10	97,22	86,94
sep 10	96,73	94,11
oct 10	97,83	89,34
nov 10	97,58	88,80
dic 10	97,44	84,86
ene 11	96,93	81,46
feb 11	97,07	88,93
mar 11	96,68	86,42
abr 11	96,40	84,42
may 11	96,67	91,24
jun 11	97,17	95,47
jul 11	96,94	91,72
ago 11	96,87	96,55
sep 11	96,28	91,91
oct 11	96,28	91,32
nov 11	96,38	72,94
dic 11	96,34	88,21
ene 12	96,21	98,97
feb 12	95,11	90,29
mar 12	95,90	79,90
abr 12	95,06	85,24
may 12	95,41	81,44
jun 12	98,26	82,03
jul 12	98,44	89,64

ago 12	98,05	87,72
sep 12	98,38	86,49
oct 12	98,40	96,10
nov 12	98,20	93,10
dic 12	94,44	87,27

B.6 Porcentaje de Cobre y Molibdeno en el concentrado mixto, Planta I Las Tórtolas.

Mes/ Año	%Cu Conc. Mixto	%Mo Conc. Mixto
ene 04	37,70	0,288
feb 04	35,33	0,229
mar 04	35,88	0,253
abr 04	37,20	0,275
may 04	35,16	0,320
jun 04	38,42	0,475
jul 04	37,54	0,448
ago 04	36,42	0,375
sep 04	31,54	0,272
oct 04	37,93	0,414
nov 04	36,72	0,383
dic 04	40,37	0,515
ene 05	39,05	0,428
feb 05	35,33	0,538
mar 05	39,01	0,393
abr 05	36,72	0,380
may 05	34,35	0,399
jun 05	34,26	0,459
jul 05	37,80	0,521
ago 05	39,19	0,417
sep 05	36,44	0,517
oct 05	36,07	0,651
nov 07	31,84	0,508
dic 07	32,17	0,434

ene 08	31,72	0,649
feb 08	28,22	0,677
mar 08	29,60	0,813
abr 08	29,41	0,456
may 08	27,39	0,693
jun 08	27,92	0,631
jul 08	27,06	0,698
ago 08	29,26	0,799
sep 08	26,23	0,488
oct 08	30,09	0,653
nov 08	29,99	0,879
dic 08	28,01	0,709
ene 09	26,82	0,888
feb 09	24,15	0,636
mar 09	24,18	0,772
abr 09	27,41	0,520
may 09	25,81	0,711
jun 09	24,24	0,462
jul 09	29,19	0,229
ago 09	28,99	0,144
sep 09	29,96	0,321
oct 09	30,65	0,520
nov 09	29,67	0,599
dic 09	28,64	0,510
ene 10	29,61	0,486
feb 10	28,20	0,585
mar 10	27,30	0,627
abr 10	29,60	0,342
may 10	28,56	0,387
jun 10	28,15	0,541
jul 10	27,63	0,375
ago 10	28,08	0,468
sep 10	27,62	0,354
oct 10	27,81	0,275

nov 10	30,60	0,098
dic 10	30,54	0,164
ene 11	28,83	0,138
feb 11	27,65	0,217
mar 11	26,40	0,194
abr 11	27,63	0,258
may 11	27,16	0,283
jun 11	26,11	0,257
jul 11	24,38	0,215
ago 11	27,05	0,207
sep 11	27,34	0,225
oct 11	27,12	0,193
nov 11	28,80	0,108
dic 11	26,98	0,262
ene 12	27,26	0,283
feb 12	29,04	0,252
mar 12	31,12	0,208
abr 12	30,59	0,212
may 12	30,13	0,175
jun 12	24,32	0,246
jul 12	23,31	0,107
ago 12	23,96	0,257
sep 12	29,92	0,336
oct 12	29,80	0,251
nov 12	27,67	0,283
dic 12	29,02	0,286

B.7 Data pH, porcentaje de sólidos, circuito rougher, Planta I Las Tórtolas.

Mes/ Año	Ph Rougher	%Sólidos Rougher
ene 08	10,30	22,63
feb 08	10,39	23,80

mar 08	10,25	24,65
abr 08	10,28	25,14
may 08	10,06	22,72
jun 08	10,41	20,46
jul 08	10,41	26,51
ago 08	10,30	20,54
sep 08	10,37	20,65
oct 08	10,32	20,75
nov 08	10,22	20,77
dic 08	10,38	19,56
ene 09	10,17	22,63
feb 09	10,18	23,80
mar 09	10,23	24,65
abr 09	10,34	25,14
may 09	10,16	22,72
jun 09	10,48	23,27
jul 09	10,59	23,74
ago 09	10,78	22,94
sep 09	10,67	22,99
oct 09	10,55	21,63
nov 09	10,49	21,41
dic 09	10,40	22,37
ene 10	10,40	22,38
feb 10	10,19	23,50
mar 10	10,23	22,60
abr 10	10,30	21,25
may 10	10,14	20,68
jun 10	10,41	22,94
jul 10	10,48	18,31
ago 10	10,48	14,72
sep 10	10,29	23,92

oct 10	10,11	25,13
nov 10	10,24	29,04
dic 10	10,39	29,26
ene 11	10,45	28,30
feb 11	10,29	28,90
mar 11	10,00	24,92
abr 11	10,25	33,40
may 11	10,30	33,42
jun 11	10,27	33,99
jul 11	10,31	30,93
ago 11	10,20	29,66
sep 11	10,14	29,34
oct 11	10,37	33,72
nov 11	10,32	31,90
dic 11	10,27	35,08
ene 12	9,82	26,14
feb 12	10,30	36,30
mar 12	10,20	37,54
abr 12	10,27	31,96
may 12	10,22	33,55
jun 12	10,01	25,26
jul 12	10,09	26,40
ago 12	10,10	28,32
sep 12	10,10	27,47
oct 12	10,10	26,32
nov 12	10,20	27,67
dic 12	10,10	26,8

B.8 Data grado de molienda [%+#65], %CuOx/CuT, circuito rougher, Planta I Las Tórtolas.

Mes/ Año	%CuOx/CuT	%+#65
ene 04	6,76	21,48
feb 04	5,92	20,23
mar 04	5,76	21,64
abr 04	4,68	18,41
may 04	5,10	19,06
jun 04	5,77	18,80
jul 04	5,13	18,36
ago 04	5,43	17,44
sep 04	6,01	17,35
oct 04	5,63	20,56
nov 04	5,82	19,81
dic 04	6,08	21,09
ene 05	7,93	20,04
feb 05	6,13	18,73
mar 05	5,66	20,13
abr 05	5,45	19,51
may 05	5,91	19,83
jun 05	5,98	18,19
jul 05	6,01	18,41
ago 05	5,45	17,26
sep 05	7,27	19,35
oct 05	7,24	22,10
nov 05	7,82	22,66
dic 05	8,22	18,88
ene 06	7,25	18,08
feb 06	7,12	16,90
mar 06	6,80	20,04
abr 06	6,84	19,07
may 06	6,02	19,48

jun 06	6,07	20,98
jul 06	6,05	19,54
ago 06	4,81	23,06
sep 06	4,86	23,05
oct 06	5,52	21,91
nov 06	6,36	22,68
dic 06	6,19	23,33
ene 07	7,06	23,38
feb 07	5,95	24,09
mar 07	5,87	24,32
abr 07	6,31	25,53
may 07	5,78	24,19
jun 07	5,66	22,52
jul 07	6,46	20,41
ago 07	6,48	20,68
sep 07	6,76	21,03
oct 07	6,39	20,39
nov 07	7,57	21,89
dic 07	6,49	21,13
ene 08	6,05	21,74
feb 08	7,07	19,90
mar 08	7,04	16,01
abr 08	7,04	17,45
may 08	7,33	18,27
jun 08	7,01	18,10
jul 08	7,84	19,10
ago 08	7,26	18,67
sep 08	9,66	18,96
oct 08	7,91	20,97
nov 08	8,80	20,29
dic 08	7,49	20,10
ene 09	8,03	21,45
feb 09	7,99	23,20

mar 09	7,66	22,30
abr 09	6,30	22,02
may 09	5,52	22,10
jun 09	6,39	20,70
jul 09	4,21	22,17
ago 09	4,22	23,33
sep 09	3,83	21,94
oct 09	5,05	21,88
nov 09	4,66	21,62
dic 09	4,66	23,80
ene 10	5,47	18,09
feb 10	4,67	18,43
mar 10	4,77	19,20
abr 10	4,62	18,90
may 10	5,34	18,51
jun 10	4,16	16,79
jul 10	3,43	18,96
ago 10	3,95	19,01
sep 10	4,48	18,21
oct 10	4,27	20,65
nov 10	2,80	19,58
dic 10	3,35	20,07
ene 11	4,71	19,97
feb 11	5,91	24,24
mar 11	5,12	22,45
abr 11	5,55	20,31
may 11	4,36	20,41
jun 11	6,53	20,98
jul 11	6,12	20,78
ago 11	4,49	20,46
sep 11	4,75	20,46
oct 11	4,80	19,71
nov 11	4,64	19,81

dic 11	5,82	21,24
ene 12	5,49	20,27
feb 12	6,11	22,39
mar 12	5,02	22,87
abr 12	5,49	22,44
may 12	5,77	22,29
jun 12	6,36	21,72
jul 12	5,91	21,73
ago 12	7,41	20,87
sep 12	6,87	19,64
oct 12	5,18	19,01
nov 12	5,48	18,40
dic 12	4,46	17,30

B.9 Data porcentaje de sólidos, circuito rougher

Día/mes/año	%Sólidos Rougher	Día/mes/año	%Sólidos Rougher
01-abr-12	35,58	24-jul-12	29,14
02-abr-12	36,76	25-jul-12	28,80
03-abr-12	32,48	26-jul-12	28,76
04-abr-12	33,56	27-jul-12	30,31
05-abr-12	33,61	28-jul-12	26,23
06-abr-12	32,83	29-jul-12	22,90
07-abr-12	35,19	30-jul-12	29,49
08-abr-12	20,59	31-jul-12	29,63
09-abr-12	21,47	01-ago-12	29,01
10-abr-12	35,46	02-ago-12	27,66
11-abr-12	35,18	03-ago-12	28,22
12-abr-12	32,11	04-ago-12	27,92
13-abr-12	38,97	05-ago-12	14,67
14-abr-12	33,32	06-ago-12	27,89
15-abr-12	34,43	07-ago-12	28,66

16-abr-12	32,10	08-ago-12	27,53
17-abr-12	33,12	09-ago-12	16,78
18-abr-12	33,79	10-ago-12	30,22
19-abr-12	26,93	11-ago-12	32,64
20-abr-12	33,37	12-ago-12	31,57
21-abr-12	33,21	13-ago-12	30,85
22-abr-12	29,00	14-ago-12	30,48
23-abr-12	34,29	15-ago-12	29,97
24-abr-12	35,39	16-ago-12	28,53
25-abr-12	32,95	17-ago-12	27,70
26-abr-12	35,63	18-ago-12	31,01
27-abr-12	27,45	19-ago-12	29,56
28-abr-12	30,80	20-ago-12	31,33
29-abr-12	33,38	21-ago-12	31,77
30-abr-12	33,56	22-ago-12	29,76
01-may-12	31,88	11-sep-12	22,25
02-may-12	34,40	12-sep-12	22,42
03-may-12	30,14	13-sep-12	17,67
04-may-12	32,58	14-sep-12	30,84
05-may-12	34,66	15-sep-12	31,18
06-may-12	36,26	16-sep-12	28,51
07-may-12	35,86	17-sep-12	29,63
08-may-12	35,96	18-sep-12	31,86
09-may-12	33,89	19-sep-12	29,91
10-may-12	34,33	20-sep-12	30,30
11-may-12	32,93	21-sep-12	29,26
12-may-12	32,60	22-sep-12	28,18
13-may-12	35,75	23-sep-12	28,24
14-may-12	34,19	24-sep-12	23,46
15-may-12	35,45	25-sep-12	19,21
16-may-12	33,55	26-sep-12	22,04
17-may-12	33,25	27-sep-12	28,09

18-may-12	34,44	28-sep-12	31,17
19-may-12	33,61	29-sep-12	32,52
20-may-12	35,00	30-sep-12	31,61
21-may-12	36,12	01-oct-12	18,37
22-may-12	32,41	02-oct-12	12,52
23-may-12	32,63	03-oct-12	14,71
24-may-12	34,04	04-oct-12	18,57
03-jun-12	13,71	14-oct-12	23,56
06-jun-12	3,69	15-oct-12	28,96
07-jun-12	32,82	16-oct-12	28,77
08-jun-12	34,38	17-oct-12	28,53
09-jun-12	32,19	18-oct-12	26,77
10-jun-12	33,52	20-oct-12	31,23
11-jun-12	32,32	21-oct-12	33,48
12-jun-12	28,37	22-oct-12	36,27
15-jun-12	23,61	23-oct-12	2,68
16-jun-12	31,13	24-oct-12	28,01
17-jun-12	32,50	25-oct-12	33,54
18-jun-12	31,08	26-oct-12	33,77
19-jun-12	29,76	27-oct-12	32,46
20-jun-12	31,94	28-oct-12	33,45
21-jun-12	29,95	29-oct-12	14,95
22-jun-12	30,72	30-oct-12	33,22
23-jun-12	32,35	31-oct-12	33,16
24-jun-12	31,80	01-nov-12	32,58
25-jun-12	32,61	02-nov-12	31,81
26-jun-12	28,10	03-nov-12	32,07
27-jun-12	31,10	04-nov-12	26,99
28-jun-12	29,32	05-nov-12	32,96
30-jun-12	28,31	06-nov-12	31,50
01-jul-12	27,95	07-nov-12	32,19
02-jul-12	26,61	08-nov-12	31,29

03-jul-12	26,33	09-nov-12	31,66
05-jul-12	4,67	10-nov-12	31,31
06-jul-12	24,08	11-nov-12	29,59
07-jul-12	28,73	12-nov-12	21,46
08-jul-12	27,79	13-nov-12	29,46
09-jul-12	26,49	14-nov-12	30,85
10-jul-12	28,11	15-nov-12	11,14
11-jul-12	28,60	17-nov-12	2,32
12-jul-12	28,87	18-nov-12	30,67
13-jul-12	28,01	19-nov-12	29,07
14-jul-12	28,82	20-nov-12	31,39
15-jul-12	29,36	21-nov-12	31,42
16-jul-12	33,27	22-nov-12	30,37
17-jul-12	31,94	23-nov-12	28,72
18-jul-12	28,66	24-nov-12	29,73
19-jul-12	27,59	25-nov-12	32,08
20-jul-12	27,60	26-nov-12	31,73
21-jul-12	26,80	27-nov-12	29,50
22-jul-12	27,50	28-nov-12	28,37
23-jul-12	28,56	29-nov-12	30,24
		30-nov-12	28,73

B.10 Data Toneladas de fases alimentas a Planta I Las Tórtolas

Fase	DONOSO 1	DONOSO ESTE	INFIERNILLO	STOCK	MIRADOR	CASINO	TOTAL
Mes/ Año	[ton]	[ton]	[ton]	[ton]	[ton]	[ton]	[ton]
ene 09	184,91	363,63	3,44	286,55	964,03	0,00	1802,56
feb 09	79,03	138,27	0,00	271,20	1310,27	0,00	1798,76
mar 09	298,04	607,21	9,67	404,76	534,21	0,00	1853,89
abr 09	209,04	1095,99	509,98	234,70	89,44	0,00	2139,15

Anexo B **Data operacional Planta I Las Tórtolas**

may 09	307,54	249,79	835,82	477,37	207,34	0,00	2077,87
jun 09	268,86	328,62	788,31	401,54	157,48	0,00	1944,80
jul 09	441,88	0,00	1011,13	418,69	0,00	0,00	1871,69
ago 09	764,72	35,70	967,96	276,22	0,00	0,00	2044,59
sep 09	781,32	238,95	551,91	236,99	0,00	0,00	1809,17
oct 09	584,24	807,60	258,50	183,46	0,00	0,00	1833,80
nov 09	316,41	848,64	290,76	252,17	0,00	0,00	1707,97
dic 09	536,20	612,57	80,20	403,28	0,00	0,00	1632,25
ene 10	434,69	315,74	110,88	644,01	0,00	0,00	1505,32
feb 10	498,13	682,22	227,99	228,20	0,00	0,00	1636,54
mar 10	407,94	715,97	446,30	300,59	0,00	0,00	1870,81
abr 10	612,83	397,41	452,30	238,67	0,00	0,00	1701,21
may 10	310,21	569,65	298,15	469,62	0,00	0,00	1647,63
jun 10	393,01	695,26	214,69	316,38	0,00	0,00	1619,34
jul 10	711,62	445,50	294,49	266,56	0,00	0,00	1718,17
ago 10	495,59	740,16	146,15	444,21	0,00	0,00	1826,10
sep 10	342,17	592,57	361,83	392,02	0,00	0,00	1688,60
oct 10	568,72	156,25	454,80	358,57	0,00	0,00	1538,33
nov 10	1059,77	108,26	159,74	393,53	0,00	0,00	1721,30
dic 10	973,27	0,00	530,05	397,78	0,00	0,00	1901,11
ene 11	699,65	0,00	541,94	612,08	0,00	0,00	1853,67
feb 11	691,46	0,00	683,24	518,68	0,00	0,00	1893,38
mar 11	712,28	76,95	308,15	428,21	0,00	9,25	1534,84
abr 11	566,04	0,00	951,19	451,00	0,00	0,21	1968,44
may 11	493,21	0,00	1143,07	543,09	0,00	0,00	2179,37
jun 11	267,77	0,00	852,22	907,74	0,00	140,78	2168,50
jul 11	138,45	0,00	618,09	630,01	0,00	388,74	1775,28
ago 11	649,64	0,00	322,36	431,86	0,00	419,89	1823,75
sep 11	485,06	0,00	120,52	655,12	0,00	404,63	1665,32
oct 11	770,17	0,00	380,63	792,21	0,00	572,35	2515,36
nov 11	1360,37	0,00	345,68	664,15	0,00	891,36	3261,55
dic 11	1206,66	0,00	1402,28	846,75	0,00	675,23	4130,91
ene 12	1215,11	17,05	1209,96	844,24	0,00	96,67	3383,02

abr 12	1274,81	0,00	1801,34	916,27	0,00	478,43	4470,85
may 12	1918,97	0,00	1556,25	1655,44	0,00	266,18	5396,84
jun 12	2143,82	0,00	57,69	1380,02	0,00	577,43	4158,96
jul 12	1847,31	0,00	248,37	1000,87	0,00	480,31	3576,84
ago 12	1729,39	0,00	202,36	2567,93	0,00	883,19	5382,87
sep 12	2290,76	0,00	247,50	868,17		466,07	3872,50
oct 12	2467,47	0,00	856,74	1261,95	0,00	276,17	4862,33
nov 12	1764,51	0,00	669,98	1159,73	0,00	1082,31	4676,53
dic 12	1840,87	0,00	977,27	2778,55	0,00	197,31	5794,00

B.11 Data Ley de Cobre en las fases alimentas a Planta I Las Tórtolas

	DONOSO 1	DONOSO ESTE	INFIERNILLO	STOCK	MIRADOR	CASINO
Mes/ Año	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
ene 09	1,23	0,90	0,76	0,99	1,00	0,00
feb 09	1,20	0,86	0,00	0,92	0,88	0,00
mar 09	1,24	1,06	0,83	0,91	0,93	0,00
abr 09	1,40	1,28	0,97	0,94	0,92	0,00
may 09	1,02	1,03	1,05	0,90	1,26	0,00
jun 09	1,35	1,14	0,92	1,00	1,24	0,00
jul 09	1,18	0,00	0,99	1,11	0,00	0,00
ago 09	1,01	0,90	0,86	0,95	0,00	0,00
sep 09	1,23	0,97	0,89	0,93	0,00	0,00
oct 09	1,08	1,21	0,90	1,16	0,00	0,00
nov 09	1,54	1,14	1,03	0,95	0,00	0,00
dic 09	1,32	1,13	0,93	1,15	0,00	0,00
ene 10	1,20	1,07	0,79	1,02	0,00	0,00
feb 10	1,24	1,02	0,91	0,89	0,00	0,00
mar 10	1,05	0,94	0,89	0,89	0,00	0,00
abr 10	1,23	0,97	1,08	0,94	0,00	0,00
may 10	1,12	0,99	1,05	0,94	0,00	0,00

jun 10	1,24	0,96	0,93	0,96	0,00	0,00
jul 10	1,31	0,96	0,72	1,07	0,00	0,00
ago 10	1,05	0,96	0,73	0,97	0,00	0,00
sep 10	1,08	0,97	0,87	0,96	0,00	0,00
oct 10	1,25	0,93	0,86	1,11	0,00	0,00
nov 10	1,29	0,95	0,89	0,93	0,00	0,00
dic 10	1,20	0,00	0,83	0,82	0,00	0,00
ene 11	1,07	0,73	0,00	0,83	0,00	0,00
feb 11	1,04	0,00	0,81	0,76	0,00	0,00
mar 11	1,04	0,84	0,84	0,93	0,00	0,90
abr 11	0,97	0,00	0,92	0,85	0,00	0,82
may 11	1,02	0,00	0,92	0,83	0,00	0,00
jun 11	0,93	0,00	0,98	0,73	0,00	0,88
jul 11	0,77	0,00	0,82	0,80	0,00	0,84
ago 11	1,01	0,00	0,81	0,85	0,00	1,00
sep 11	0,94	0,00	0,80	0,79	0,00	1,06
oct 11	1,10	0,00	0,75	0,64	0,00	0,76
nov 11	0,94	0,00	0,58	0,73	0,00	0,75
dic 11	0,93	0,00	0,74	0,67	0,00	0,86
ene 12	1,14	0,80	0,73	0,74	0,00	0,80
feb 12	0,95	0,00	0,78	0,67	0,00	0,96
mar 12	0,94	0,00	0,78	0,79	0,00	0,84
abr 12	0,98	0,00	0,81	0,70	0,00	0,82
may 12	0,93	0,00	0,81	0,71	0,00	0,87
jun 12	0,88	0,00	0,81	0,80	0,00	0,78
jul 12	0,94	0,00	0,70	0,61	0,00	0,61
ago 12	0,78	0,00	0,69	0,63	0,00	0,64
sep 12	0,95	0,00	1,31	0,76	0,00	0,87
oct 12	0,95	0,00	0,83	0,75	0,00	0,77
nov 12	0,91	0,00	0,77	0,79	0,00	0,64
dic 12	0,81	0,00	0,78	0,68	0,00	1,05

B.12 Data Ley de Molibdeno en las fases alimentas a Planta I Las Tórtolas

	DONOSO 1	DONOSO ESTE	INFIERNILLO	STOCK	MIRADOR	CASINO
Mes/ Año	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
ene 09	0,004	0,053	0,006	0,026	0,036	0,000
feb 09	0,003	0,024	0,000	0,013	0,029	0,000
mar 09	0,002	0,068	0,006	0,018	0,032	0,000
abr 09	0,002	0,032	0,014	0,038	0,022	0,000
may 09	0,004	0,073	0,019	0,043	0,037	0,000
jun 09	0,003	0,037	0,017	0,017	0,038	0,000
jul 09	0,004	0,000	0,012	0,009	0,000	0,000
ago 09	0,002	0,017	0,008	0,006	0,000	0,000
sep 09	0,003	0,061	0,011	0,027	0,000	0,000
oct 09	0,003	0,034	0,013	0,041	0,000	0,000
nov 09	0,004	0,037	0,095	0,033	0,000	0,000
dic 09	0,003	0,038	0,184	0,033	0,000	0,000
ene 10	0,003	0,035	0,004	0,034	0,000	0,000
feb 10	0,002	0,041	0,024	0,018	0,000	0,000
mar 10	0,007	0,033	0,031	0,025	0,000	0,000
abr 10	0,002	0,025	0,014	0,016	0,000	0,000
may 10	0,003	0,047	0,011	0,017	0,000	0,000
jun 10	0,002	0,036	0,008	0,023	0,000	0,000
jul 10	0,003	0,046	0,005	0,016	0,000	0,000
ago 10	0,002	0,065	0,040	0,007	0,000	0,000
sep 10	0,002	0,033	0,015	0,020	0,000	0,000
oct 10	0,004	0,016	0,018	0,019	0,000	0,000
nov 10	0,003	0,018	0,008	0,006	0,000	0,000
dic 10	0,003	0,000	0,021	0,009	0,000	0,000
ene 11	0,004	0,017	0,000	0,010	0,000	0,000
feb 11	0,028	0,000	0,057	0,033	0,000	0,000
mar 11	0,005	0,012	0,014	0,012	0,000	0,024
abr 11	0,025	0,000	0,058	0,061	0,000	0,050
may 11	0,002	0,000	0,015	0,011	0,000	0,000

Anexo B **Data operacional Planta I Las Tórtolas**

jun 11	0,101	0,000	0,027	0,041	0,000	0,010
jul 11	0,002	0,000	0,009	0,008	0,000	0,007
ago 11	0,004	0,000	0,013	0,004	0,000	0,016
sep 11	0,008	0,000	0,010	0,008	0,000	0,008
oct 11	0,006	0,000	0,011	0,002	0,000	0,006
nov 11	0,005	0,000	0,006	0,005	0,000	0,007
dic 11	0,009	0,000	0,015	0,015	0,000	0,006
ene 12	0,004	0,010	0,021	0,013	0,000	0,003
feb 12	0,005	0,000	0,013	0,023	0,000	0,010
mar 12	0,006	0,000	0,014	0,004	0,000	0,008
abr 12	0,009	0,000	0,012	0,006	0,000	0,003
may 12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
jun 12	0,016	0,000	0,015	0,011	0,000	0,005
jul 12	0,006	0,000	0,012	0,008	0,000	0,003
ago 12	0,020	0,000	0,010	0,012	0,000	0,004
sep 12	0,010	0,000	0,030	0,010	0,000	0,010
oct 12	0,010	0,000	0,010	0,010	0,000	0,010
nov 12	0,018	0,000	0,000	0,011	0,000	0,004
dic 12	0,011	0,000	0,010	0,013	0,000	0,006

ANEXO C
Resultados

C.1 Resultados sin adición del colector Xantato Isobutílico**Resultados con presencia del colector**

Turno/Día	Ley Mo alim Planta	% Mo Conc	% Mo Relave	Rec Colectiva Mo
TC 20/11	0,014	0,474	0,006	56,09
TA 21/11	0,013	0,412	0,005	62,21
TB 21/11	0,013	0,321	0,006	53,73
TC 21/11	0,013	0,310	0,008	40,52
TA 22/11	0,012	0,380	0,006	49,90
TB 22/11	0,012	0,359	0,005	61,43
TC 22/11	0,012	0,310	0,005	57,56
TA 23/11	0,013	0,371	0,005	59,39
TB 23/11	0,012	0,423	0,005	59,84
TC 23/11	0,015	0,494	0,007	52,69
TA 24/11	0,015	0,494	0,006	60,24
TB 24/11	0,012	0,329	0,004	69,61
TC 24/11	0,010	0,267	0,003	71,44
TA 25/11	0,010	0,312	0,003	66,13
TB 25/11	0,010	0,301	0,004	64,07
TC 25/11	0,008	0,234	0,003	65,05
TA 26/11	0,008	0,211	0,003	59,97
TB 26/11	0,006	0,150	0,004	38,95
TC 26/11	0,006	0,118	0,003	47,45
TA 27/11	0,006	0,154	0,002	60,98
TB 27/11	0,008	0,208	0,003	58,30
TC 27/11	0,011	0,263	0,004	64,56
TA 28/11	0,011	0,250	0,004	66,08
TB 28/11	0,013	0,296	0,005	60,42
TC 28/11	0,013	0,238	0,007	48,32
TA 29/11	0,008	0,116	0,005	40,99
TB 29/11	0,009	0,182	0,004	52,36
TC 29/11	0,011	0,297	0,004	59,49
TA 30/11	0,011	0,328	0,005	60,57

TB 30/11	0,012	0,310	0,006	55,15
<hr/> Resultados sin la presencia del colector <hr/>				
TC 30/11	0,010	0,227	0,005	53,35
TA 01/12	0,010	0,217	0,006	36,61
TB 01/12	0,014	0,342	0,009	34,74
TC 01/12	0,014	0,360	0,007	50,31
TA 02/12	0,012	0,359	0,006	54,89
TB 02/12	0,011	0,354	0,005	55,32
TB 02/12	0,011	0,345	0,005	57,28
TA 03/12	0,013	0,367	0,005	61,76
TB 03/12	0,017	0,321	0,007	59,57
TC 03/12	0,013	0,263	0,006	53,66
TA 04/12	0,012	0,315	0,005	60,18
TB 04/12	0,011	0,214	0,003	70,74
TC 04/12	0,009	0,140	0,002	74,97
TA 05/12	0,010	0,293	0,003	66,55
TB 05/12	0,011	0,332	0,004	69,00
TC 05/12	0,011	0,302	0,003	73,95
TA 06/12	0,010	0,329	0,003	66,91
TB 06/12	0,012	0,440	0,004	70,28
TC 06/12	0,014	0,433	0,003	75,41
TC 07/12	0,012	0,356	0,004	66,47
TC 07/12	0,012	0,352	0,004	69,51
TC 07/12	0,012	0,365	0,003	72,16
TA 08/12	0,011	0,361	0,004	66,20
TB 08/12	0,009	0,291	0,004	56,80
TC 08/12	0,010	0,249	0,005	52,73
TA 09/12	0,009	0,249	0,004	53,23
TB 09/12	0,011	0,304	0,003	68,10
TC 09/12	0,013	0,377	0,004	70,14
TA 10/12	0,013	0,405	0,004	66,79
TB 10/12	0,012	0,438	0,005	59,35

Resultados con presencia de colector

TC 10/12	0,011	0,356	0,005	51,91
TA 11/12	0,010	0,325	0,005	55,34
TB 11/12	0,009	0,385	0,003	69,88
TC 11/12	0,009	0,283	0,003	67,02
TA 12/12	0,009	0,282	0,003	65,99
TB 12/12	0,009	0,283	0,003	65,01
TC 12/12	0,009	0,283	0,003	64,07
TA 13/12	0,010	0,283	0,004	63,15
TB 13/12	0,010	0,284	0,004	62,25
TC 13/12	0,010	0,284	0,004	61,39
TA 14/12	0,010	0,285	0,004	57,67
TB 14/12	0,010	0,277	0,005	52,32
TC 14/12	0,009	0,252	0,005	51,96
TA 15/12	0,012	0,311	0,005	59,27
TB 15/12	0,014	0,399	0,006	57,52
TC 15/12	0,012	0,258	0,007	42,47
TA 16/12	0,013	0,175	0,008	44,89
TB 16/12	0,017	0,284	0,009	50,20
TC 16/12	0,015	0,303	0,007	56,57
TA 17/12	0,013	0,315	0,006	51,98
TB 17/12	0,013	0,329	0,006	53,11
TC 17/12	0,012	0,276	0,005	55,53
TA 18/12	0,010	0,222	0,005	52,83
TB 18/12	0,012	0,241	0,003	73,33
TC 18/12	0,013	0,261	0,004	71,01
TA 19/12	0,009	0,268	0,004	56,67
TB 19/12	0,008	0,220	0,004	52,37
TC 19/12	0,010	0,194	0,004	57,82
TA 20/12	0,013	0,192	0,004	69,07

TB 20/12	0,010	0,219	0,004	59,65
----------	-------	-------	-------	-------

C.2 Data delta recuperación global de cobre

Turno/Día/Mes	%Recuperación global Cu	%Recuperación vaciado Cu	Delta %Recuperación
TC 20/11	0,784	0,812	-2,8
TA 21/11	0,798	0,773	2,5
TB 21/11	0,829	0,798	3,1
TC 21/11	0,708	0,781	-7,3
TA 22/11	0,762	0,84	-7,8
TB 22/11	0,85	0,849	0,1
TC 22/11	0,819	0,821	-0,2
TA 23/11	0,804	0,762	4,2
TB 23/ 11	0,827	0,816	1,1
TC 23/11	0,792	0,821	-2,9
TA 24/11	0,829	0,831	-0,2
TB 24/11	0,864	0,84	2,4
TC 24/11	0,829	0,817	1,2
TA 25/11	0,823	0,835	-1,2
TB 25/11	0,843	0,88	-3,7
TC 25/11	0,847	0,845	0,2
TA 26/11	0,799	0,835	-3,6
TB 26/11	0,872	0,87	0,2
TC 26/11	0,81	0,838	-2,8
TA 27/11	0,83	0,78	5
TB 27/11	0,812	0,799	1,3
TC 27/11	0,847	0,795	5,2
TA 28/11	0,816	0,776	4
TB 28/11	0,797	0,799	-0,2
TC 28/11	0,817	0,795	2,2
TA 29/11	0,863	0,795	6,8
TB 29/11	0,816	0,804	1,2
TC 29/11	0,809	0,841	-3,2

TA 30/11	0,823	0,808	1,5
TB 30/ 11	0,809	0,815	-0,6
TC 30/11	0,832	0,807	2,5
TA 1/12	0,803	0,807	-0,4
TB 1/12	0,897	0,839	5,8
TC 1/12	0,846	0,850	-0,4
TA 2/12	0,827	0,827	0
TB 2/12	0,845	0,806	3,9
TC 2/12	0,848	0,785	6,3
TA 3/12	0,811	0,8	1,1
TB 3/12	0,828	0,81	1,8
TC 3/12	0,812	0,801	1,1
TA 4/12	0,825	0,782	4,3
TB 4/12	0,829	0,758	7,1
TC 4/12	0,843	0,745	9,8
TA 5/12	0,829	0,774	5,5
TB 5/12	0,795	0,783	1,2
TC 5/12	0,802	0,771	3,1
TA 6/12	0,737	0,768	-3,1
TB 6/12	0,759	0,768	-0,9
TC 6/12	0,79	0,787	0,3
TA 7/12	0,768	0,768	0
TB 7/12	0,825	0,768	5,7
TC 7/12	0,816	0,771	4,5
TA 8/12	0,809	0,788	2,1
TB 8/12	0,77	0,795	-2,5
TC 8/12	0,797	0,793	0,4
TA 9/12	0,804	0,803	0,1
TB 9/12	0,756	0,766	-1
TC 9/12	0,745	0,785	-4
TA 10/12	0,761	0,788	-2,7
TB 10/12	0,748	0,816	-6,8
TC 10/12	0,766	0,845	-7,9

TA 11/12	0,773	0,836	-6,3
TB 11/12	0,837	0,826	1,1
TC 11/12	0,814	0,805	0,9
TA 12/12	0,77	0,78	-1
TB 12/12	0,773	0,79	-1,7
TC 12/12	0,752	0,76	-0,8
TA 13/12	0,82	0,84	-2
TB 13/12	0,78	0,81	-3
TC 13/12	0,79	0,79	0
TA 14/12	0,76	0,822	-6,2
TB 14/12	0,702	0,799	-9,7
TC 14/12	0,687	0,813	-12,6
TA 15/12	0,760	0,766	-0,6
TB 15/12	0,839	0,813	2,5
TC 15/12	0,819	0,808	1,1
TA 16/12	0,773	0,833	-6
TB 16/12	0,774	0,859	-8,5
TC 16/12	0,758	0,819	-6,1
TA 17/12	0,762	0,828	-6,6
TB 17/12	0,72	0,829	-10,9
TC 17/12	0,768	0,826	-5,8
TA 18/12	0,729	0,832	-10,3
TB 18/12	0,803	0,823	-2
TC 18/12	0,796	0,827	-3,1
TA 19/12	0,805	0,842	-3,7
TB 19/12	0,77	0,822	-5,2
TC 19/12	0,814	0,789	2,5
TA 20/12	0,819	0,845	-2,6
TB 20/12	0,841	0,849	-0,8

C.3 Porcentaje de Cobre y Molibdeno a distintos niveles de espuma

C.3.1 Muestreo 14-11-2012 TB

				Cu	Mo	Nivel espuma
N°OT	N° de Muestra	Turno	Flujos	%	%	cm
2013- 2379	806278	B	Columna N°1 Muestra N°1 Planta N°1 Turno B 14-11-2012	29,23	0,322	60
2013- 2379	806279	B	Columna N°1 Muestra N°2 Planta N°1 Turno B 14-11-2012	29,51	0,291	72
2013- 2379	806280	B	Columna N°1 Muestra N°3 Planta N°1 Turno B 14-11-2012	29,72	0,283	82
2013- 2379	806281	B	Columna N°1 Muestra N°4 Planta N°1 Turno B 14-11-2012	29,85	0,251	102

C.3.2 Muestreo 29-11-2012 TB

				Cu	Mo	Nivel Espuma
N°OT	N° de Muestra	Turno	Flujos	%	%	cm
2012- 2259	86006	B	Muestreo Planta Columna N°1 Planta N°1 T-B 29-11-2012	28,58	0,119	107
2012- 2259	86007	B	Muestreo Planta Columna N°2 Planta N°1 T-B 29-11-2012	28,55	0,147	90
2012- 2259	86008	B	Muestreo Planta Columna N°3 Planta N°1 T-B 29-11-2012	28,55	0,257	75
2012- 2259	86009	B	Muestreo Planta Columna N°4 Planta N°1 T-B 29-11-2012	28,29	0,284	63

C.3.3 Muestreo 06-12-2012 TB

N°OT	N° de Muestra	Turno	Flujos	Nivel		
				Cu	Mo	espuma
				%	%	cm
2280-2012	806055	B	Columna N°1 Muestra N°1 Planta N°1 Turno B 06-12-2012	39,11	0,455	60
2280-2012	806056	B	Columna N°1 Muestra N°2 Planta N°1 Turno B 06-12-2012	39,30	0,414	74
2280-2012	806057	B	Columna N°1 Muestra N°3 Planta N°1 Turno B 06-12-2012	39,83	0,401	88
2280-2012	806058	B	Columna N°1 Muestra N°4 Planta N°1 Turno B 06-12-2012	39,95	0,363	104

C.3.4 Muestreo 07-12-2012 TB

N°OT	N° de Muestra	Turno	Flujos	Nivel		
				Cu	Mo	Espuma
				%	%	cm
2012-2298	806069	B	Columna N°1 Muestra N°1 Planta N°1 Turno B 07-12-2012	30,17	0,449	58
2012-2298	806070	B	Columna N°1 Muestra N°2 Planta N°1 Turno B 07-12-2012	30,31	0,416	70
2012-2298	806071	B	Columna N°1 Muestra N°3 Planta N°1 Turno B 07-12-2012	30,62	0,406	80
2012-2298	806072	B	Columna N°1 Muestra N°4 Planta N°1 Turno B 07-12-2012	30,85	0,388	100

C.3.5 Muestreo 11-12-2012 TB

N°OT	N° de Muestra	Turno	Flujos	Cu	Mo	Nivel espuma
				%	%	cm
2013-2379	806278	B	Columna N°1 Muestra N°1 Planta N°1 Turno B 11-12-2013	30,43	0,440	55
2013-2379	806279	B	Columna N°1 Muestra N°2 Planta N°1 Turno B 11-12-2013	30,84	0,370	75
2013-2379	806280	B	Columna N°1 Muestra N°3 Planta N°1 Turno B 11-12-2013	30,91	0,350	90
2013-2379	806281	B	Columna N°1 Muestra N°4 Planta N°1 Turno B 11-12-2013	30,98	0,320	101

C.3.6 Muestreo 28-12-2012 TB

N°OT	N° de Muestra	Turno	Flujos	Cu	Mo	Nivel Espuma
				%	%	cm
2012-2259	86006	B	Muestreo Planta Columna N°1 Planta N°1 T-B 28-12-2012	29,58	0,234	101
2012-2259	86007	B	Muestreo Planta Columna N°2 Planta N°1 T-B 28-12-2012	29,55	0,242	92
2012-2259	86008	B	Muestreo Planta Columna N°3 Planta N°1 T-B 28-12-2012	29,43	0,287	72
2012-2259	86009	B	Muestreo Planta Columna N°4 Planta N°1 T-B 28-12-2012	29,29	0,314	61

C.4 Data resultados concentrado scavenger

C.4.1 Muestreo 14-11-2012 TB

Celda	%Mo	%Cu
1	0,507	21,69
2	0,401	13,54
3	0,356	13,08
4	0,309	10,98
5	0,240	8,29
6	0,188	9,50
7	0,221	8,87
8	0,431	20,29
9	0,411	15,51
10	0,431	14,18
11	0,317	12,98
12	0,250	9,45
13	0,184	8,30
14	0,241	7,97
15	0,451	21,14
16	0,412	11,74
17	0,432	11,01
18	0,378	11,58
19	0,236	10,21
20	0,210	9,78
21	0,254	8,65
Banco 1 LN	0,434	16,25
Banco 2 LN	0,312	10,93
Banco 3LN	0,221	8,96
Banco 1 LC	0,422	17,87
Banco 2 LC	0,379	13,61
Banco 3 LC	0,235	8,56
Banco 1LS	0,431	16,51
Banco 2 LS	0,405	11,18
Banco 3 LS	0,221	9,61

C.4.2 Muestreo 29-11-2012 TB

Celda	%Mo	%Cu
1	0,342	19,98
2	0,292	12,54
3	0,224	13,84
4	0,219	14,78
5	0,181	9,87
6	0,167	9,54
7	0,194	8,54
8	0,335	20,10
9	0,201	13,90
10	0,248	15,74
11	0,211	14,87
12	0,164	8,92
13	0,162	9,88
14	0,154	9,01
15	0,339	18,10
16	0,195	11,07
17	0,256	13,91
18	0,212	15,44
19	0,153	9,47
20	0,177	9,87
21	0,182	8,41
Banco 1 LN	0,318	16,23
Banco 2 LN	0,221	13,95
Banco 3LN	0,191	9,35
Banco 1 LC	0,269	16,87
Banco 2 LC	0,220	15,36
Banco 3 LC	0,154	9,31
Banco 1LS	0,253	14,56
Banco 2 LS	0,241	14,87
Banco 3 LS	0,191	9,22

C.4.3 Muestreo 06-12-2012 TB

Celda	%Mo	%Cu
1	0,421	20,24
2	0,354	19,58
3	0,321	15,55
4	0,228	10,88
5	0,221	11,85
6	0,217	10,57
7	0,210	10,03
8	0,423	20,14
9	0,314	19,87
10	0,311	16,01
11	0,231	13,02
12	0,287	14,25
13	0,232	11,22
14	0,213	10,87
15	0,432	19,28
16	0,411	19,69
17	0,321	14,34
18	0,244	9,77
19	0,285	12,38
20	0,272	12,43
21	0,221	11,38
Banco 1 LN	0,336	20,02
Banco 2 LN	0,273	13,01
Banco 3LN	0,213	11,02
Banco 1 LC	0,371	20,05
Banco 2 LC	0,276	14,52
Banco 3 LC	0,248	12,14
Banco 1LS	0,423	19,81
Banco 2 LS	0,281	12,01
Banco 3 LS	0,256	12,08

C.4.4 Muestreo 07-12-2012 TB

Celda	%Mo	%Cu
1	0,398	22,23
2	0,343	20,51
3	0,287	14,51
4	0,232	11,33
5	0,211	11,65
6	0,224	11,63
7	0,171	10,13
8	0,365	21,17
9	0,332	20,84
10	0,262	16,13
11	0,231	15,12
12	0,214	16,45
13	0,223	12,82
14	0,181	10,87
15	0,378	20,44
16	0,363	20,11
17	0,283	13,44
18	0,217	10,22
19	0,267	11,43
20	0,253	11,17
21	0,221	10,54
Banco 1 LN	0,372	21,31
Banco 2 LN	0,261	12,78
Banco 3LN	0,216	11,11
Banco 1 LC	0,351	20,98
Banco 2 LC	0,284	11,76
Banco 3 LC	0,210	11,11
Banco 1LS	0,368	19,81
Banco 2 LS	0,261	12,01
Banco 3 LS	0,245	12,08

C.4.5 Muestreo 11-12-2012 TB

Celda	%Mo	%Cu
1	0,331	20,65
2	0,341	20,18
3	0,228	11,98
4	0,224	10,56
5	0,210	11,87
6	0,213	10,11
7	0,190	9,87
8	0,352	20,33
9	0,341	19,81
10	0,246	16,21
11	0,221	13,11
12	0,218	14,54
13	0,223	11,98
14	0,198	10,77
15	0,345	19,98
16	0,372	19,65
17	0,294	10,47
18	0,214	9,22
19	0,278	12,35
20	0,268	12,54
21	0,235	11,32
Banco 1 LN	0,332	20,31
Banco 2 LN	0,225	11,01
Banco 3LN	0,208	10,65
Banco 1 LC	0,341	20,05
Banco 2 LC	0,231	14,62
Banco 3 LC	0,211	12,42
Banco 1LS	0,361	19,86
Banco 2 LS	0,246	12,01
Banco 3 LS	0,258	12,17

C.4.6 Muestreo 28-12-2012 TB

Celda	%Mo	%Cu
1	0,457	20,97
2	0,376	19,32
3	0,326	15,32
4	0,321	10,12
5	0,244	11,34
6	0,251	10,94
7	0,176	10,12
8	0,463	20,45
9	0,389	19,56
10	0,301	16,2
11	0,301	13,23
12	0,276	14,43
13	0,243	11,21
14	0,111	10,96
15	0,468	19,32
16	0,452	19,45
17	0,398	12,14
18	0,308	9,45
19	0,236	12,32
20	0,271	12,46
21	0,198	11,88
Banco 1 LN	0,418	20,42
Banco 2 LN	0,324	12,76
Banco 3LN	0,213	10,04
Banco 1 LC	0,432	20,05
Banco 2 LC	0,311	14,64
Banco 3 LC	0,211	12,09
Banco 1LS	0,43	19,31
Banco 2 LS	0,351	12,01
Banco 3 LS	0,223	12,21

ANEXO D
Analizador en línea

D.1 Analizador en línea Courier

D.1.1 Analizador de pulpa en línea XRF de alto rendimiento

Modelo: COURIER 6 SL



Figura D-1:Analizador en línea, modelo Cuourier 6 SL..

El analizador Courier 6 SL, como se puede apreciar en la figura D-1 es el modelo de alto rendimiento de la familia de analizadores Courier XRF en línea para análisis elementales de flujos de proceso de pulpa en tiempo real. El sistema analizador de alto poder ofrece la mejor sensibilidad y un tiempo de ciclo reducido para la administración. Monitoreo y control del proceso en plantas procesadoras de mineral de todos los tamaños. Se complementa con los analizadores Courier 3SL para aplicaciones distribuidas y puntos de muestreo remotos.

D.1.2 Especificaciones

Método de análisis: Método de fluorescencia de rayos X por la dispersión de longitud de onda que utiliza irradiación a partir de un tubo de rayos X. Hay canales de dispersión de energía disponibles. No se utilizan fuentes de isótopos radiactivos, minimizándose así los riesgos de contaminación y de disposición de residuos.

Numero de flujos de muestra: Un analizador Courier 6 SL es capaz de medir hasta 24 flujos de muestra. Cada módulo de la unidad de multiplexion maneja hasta 6 flujos de muestra.

Numero de mediciones simultáneas: El analizador Courier 6 SL puede entregar hasta 12 mediciones simultáneas de elementos desde calcio al uranio (números atómicos 20 y 92) y de contenido de sólidos a partir de cada muestra de proceso. Pueden utilizarse modelos múltiples para cálculos de análisis.

Tiempo de medición de muestra: Se puede seleccionar el tiempo de medición para cada muestra. El tiempo típico es de 15-30 seg.

Ciclo de Análisis: El ciclo de análisis normal para 12 muestras de proceso es de 9 a 10 minutos. Siendo de 12 a 15 minutos para 18 flujos, dependiendo del tiempo de medición para cada muestra.

Los Análisis se calculan y actualizan a partir de datos recién medidos en cada ciclo.

Márgenes de concentración medibles: Los márgenes de concentración medibles típicos son de 0,002 a 100% por peso en el caso de pulpas.

Estabilidad: La estabilidad del analizador a corto plazo bajo las condiciones especificadas es mayor a 0,1% relativo.

Las mediciones de referencia internas automáticas compensan la desviación a largo plazo.

Límite de detección mínimo: Para la mayoría de los elementos contenidos en muestras de pulpa, el límite de detección es de 3-30 ppm con el canal de medición WDXRF. Con el canal de medición EDXRF, el límite de detección mínimo es típicamente de 30...500 ppm.

Exactitud: La especificación de exactitud de Outokumpu se basa en la medición de muestras e pulpa en flujo, utilizándose tiempos de medición de aplicaciones reales. La medición de muestras y los tiempos de medición largos entregan resultados poco realistas. La exactitud de medición es una función de los parámetros de la muestra, tales como composición de la matriz, mineralización y tamaño de la partícula.

Bajo condiciones de operación normales, se logra una desviación estándar relativa de 3-6% para concentraciones menores y de 1-4% para concentraciones mayores en mediciones desniveles de concentración de muestras de pulpa individuales, lo que se sitúa bien por encima del límite de detección mínimo.

Calibración:El tomador de muestras de calibración opcional integrado toma una muestra perceptible y representativa para la calibración del analizador. Existe software Outocal disponible para el diseño de modelos de calibración interactivos.

Mantención:El Courier 6 SL está diseñado para requerir un mínimo de mantención. El recambio de la ventana de la sonda del analizador automático con la opción Recambiado de Ventana Automático.

El analizador tiene las capacidades de auto diagnóstico y de diagnóstico remoto integradas.

D.1.3 Requerimientos de instalación

- El analizador Courier 6 SL puede ser instalado en uno (baja altura) o dos niveles, o bien en un gabinete pre-fabricado.

Agua para lavado: Agua cruda filtrada por arena, 2-6 bar, promedio 30 l/min, flujo máximo de 100 l/min.

Aire de instrumentos: Presión 5-10 bar, 16 NI/min de consumo promedio.

Suministro de poder: Monofásico AC, 230 + 10%, -15% a 10 A 50/60 Hz, o 115V +- 10% a 20A 50/60Hz. UPS de conversión doble de 3 Kw, 10 minutos mínimo.

Temperatura de ambiente de operación a nivel del mar: +5 - +45°C

El control de temperatura está basado en un intercambiador de calor enfriado por aire. Hay enfriamiento por agua disponible para condiciones especiales.

Temperatura de almacenamiento: -25° - +60°C

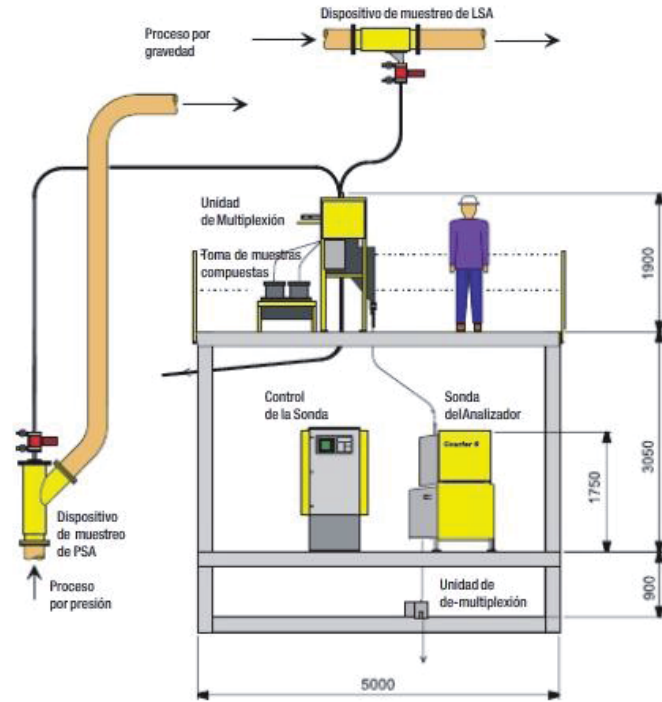


Figura D-2: Trazado de instalación del equipo curier de dos niveles