

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA



**PROBLEMÁTICA Y ALTERNATIVAS DE MEJORA DEL
PROCESAMIENTO DE MINERALES ARCILLOSOS DE COBRE
EN CERRO CORONA**

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO METALURGISTA**

PRESENTADO POR:
DEL AGUILA LLANOS, HERNÁN EDUARDO

LIMA – PERU

2011

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado a mi familia por el apoyo constante en los momentos difíciles.

RESUMEN

El presente informe de suficiencia contiene el estudio de la problemática y alternativas de mejora del procesamiento de minerales arcillosos de cobre y oro de Cerro Corona, mina en la cual se realiza la concentración de minerales mediante el proceso de flotación convencional.

En el primer capítulo de este informe, se detallan los aspectos generales de Cerro Corona, así como la caracterización geológica y mineralógica del mineral arcilloso de esta zona.

Los parámetros operativos de mayor influencia en el procesamiento de mineral arcilloso de Cerro Corona, como son el valor del pH y el porcentaje de sólidos en la flotación, son descritos y analizados en el segundo capítulo.

Este informe de suficiencia contiene además el detalle y la aplicación de dos procesos complementarios a la flotación convencional para el tratamiento del mineral arcilloso, presentándose en el tercer capítulo, el uso de deslamado del mineral y la aplicación de floc-flotación, como alternativas de solución.

La asesoría para la aplicación de estos dos últimos procesos fue dada gracias a Golder Associates y Molycop Adesur, en un trabajo conjunto con personal de Gold Fields La Cima.

ABSTRACT

The current sufficiency report contains the study of the problems and improvement alternatives for the processing of clay minerals of copper and gold from Cerro Corona mine, where ore concentration is made by conventional flotation process.

In the first chapter of this report, it is detailed general aspects of Cerro Corona, as well as geological and mineralogical characterization of clay mineral from this zone.

The operational parameters with more influence on clay mineral processing in Cerro Corona, such as pH value and the solids percentage in the flotation, are described and analyzed in the second chapter.

This sufficiency report also contains the details and the application of two complementary processes to the conventional flotation for treatment of clay ores, described in the third chapter, the use of ore desludging and application of flocculation, as solution alternatives.

The consultancy on the implementation of these two alternative processes was given by Golder Associates and Molycop Adesur, working in conjunction with staff from Gold Fields La Cima.

ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	10
Capítulo I : ASPECTOS GENERALES	12
1.1 Objetivos	12
1.2 Generalidades de Minera Gold Fields La Cima S.A.A.	13
1.2.1 Reseña de Hechos Destacados	13
1.2.2 Breve Descripción de la Operación	14
1.2.3 Diagrama de flujo de la Planta Concentradora de Cerro Corona	15
1.3 Caracterización geológica y mineralógica del mineral arcilloso	16
1.3.1 Caracterización por prospección geológica	16
1.3.2 Caracterización por microscopía óptica	19
1.3.3 Caracterización por análisis Mineral Liberation Analyzer (MLA)	24
Capítulo II : ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS OPERATIVOS INFLUYENTES EN EL PROCESAMIENTO DEL MINERAL ARCILLOSO	26

2.1 Influencia del pH en mineral arcilloso	29
2.1.1 Evaluación en pruebas de laboratorio	29
2.1.2 Evaluación a nivel industrial	31
2.2 Influencia del porcentaje de sólidos en mineral arcilloso	32
2.2.1 Evaluación en pruebas de laboratorio	32
2.2.2 Evaluación a nivel industrial	34
Capítulo III : PROCESOS COMPLEMENTARIOS A LA FLOTACIÓN CONVENCIONAL DE CERRO CORONA	36
3.1 Deslamado del mineral por ciclones previo a la flotación	36
3.1.1 Breve descripción del proceso de deslamado	36
3.1.2 Parámetros de pruebas de deslamado a nivel laboratorio	39
3.1.3 Análisis de resultados	40
3.2 Proceso Floc-flotación	45
3.2.1 Definición de Tecnología Floc-Flotación	45
3.2.2 Procedimiento experimental y parámetros de prueba en laboratorio	49
3.2.3 Análisis de resultados	53
CONCLUSIONES	57

BIBLIOGRAFÍA	60
ANEXOS	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Caracterización mineralógica del mineral por análisis MLA	24
Tabla 1.2 Distribución del cobre en los diferentes minerales de cobre presentes en el mineral de Cerro Corona	25
Tabla 2.1 Parámetros de prueba de flotación estándar variando el pH	29
Tabla 2.2 Resultados de pruebas de flotación rougher variando el pH	30
Tabla 2.3 Parámetros de prueba de flotación estándar variando % de sólidos	33
Tabla 2.4 Resultados de pruebas de flotación rougher variando el % de sólidos	33
Tabla 3.1 Parámetros y condiciones de pruebas de deslamado	39
Tabla 3.2 Procedimiento estándar de flotación rougher empleado.	39
Tabla 3.3 Resultados de pruebas de deslamado antes de flotación.	41
Tabla 3.4 Pérdida de finos en pruebas de deslamado	42
Tabla 3.5 Resultados de flotaciones realizadas tras pruebas de deslamado	43
Tabla 3.6 Recuperaciones rougher totales de Deslamado + Flotación	44
Tabla 3.7 Comparativo de recuperaciones rougher en función al Estándar.	45
Tabla 3.8 Moliendabilidad del mineral arcilloso	50
Tabla 3.9 Parámetros de prueba de molienda y flotación	51
Tabla 3.10 Pruebas realizadas para la evaluación de variables de floc-flotación	52
Tabla 3.11 Pruebas de Flotación Estándar	53
Tabla 3.12 Efecto de la adición de dispersante	54
Tabla 3.13 Efecto de la adición de aceite no polar	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama de Flujo completo del circuito de flotación de Cerro Corona	15
Figura 1.2 Muestra de cabeza. Fracción +200M.	20
Figura 1.3 Muestra de relave rougher. Fracción +200M	22
Figura 2.1 Circuito de Flotación Rougher	28
Figura 2.2 Recuperaciones en las pruebas de flotación variando el pH	31
Figura 2.3 Evaluación industrial pH versus Recuperación de cobre en rougher	32
Figura 2.4 Recuperaciones en las pruebas de flotación variando el pH	34
Figura 2.5 Evaluación industrial % Sólidos versus Recuperación de cobre en rougher	35
Figura 3.1 Mecanismo de acción de un hidrociclón	38
Figura 3.2 Esquema del procedimiento seguido para las pruebas de deslamado + flotación	40
Figura 3.3 Porcentaje de pérdida de finos por porcentaje de deslamado	42
Figura 3.4 Recuperación rougher total de pruebas realizadas	44
Figura 3.5 Representación esquemática de la tecnología de Floc-Flotación	47
Figura 3.6 Mecanismo de reacción del proceso hidrofóbico de floc-flotación	47
Figura 3.7 Curva de moliendabilidad del mineral arcilloso	50
Figura 3.8 Evaluación de la adición de dispersante	55
Figura 3.9 Evaluación de Aceite no Polar	56

NOMENCLATURA

MLA, Mineral Liberation Analyzer

hm, Hematita

mt, Magnetita

cp, Calcopirita

py, Pirita

py-c, Pirita tipo C con contenido de calcopirita

GGs, Gangas

Wt, %, Porcentaje en peso

Cl-Scv, Cleaner-Scavenger

g/t, Gramos/tonelada

Mov. Avg, Moving Average

Ro Feed, Rogher Feed o Alimento Rougher

%, Porcentaje

% S, Porcentaje de Sólidos

Des + Flot, Deslamado + Flotación

INTRODUCCIÓN

La intención y objetivo del presente informe de suficiencia es la de detallar las soluciones que se vienen aplicando en la mina Cerro Corona para el procesamiento de mineral arcilloso mediante flotación convencional.

Arcillas de tipo montmorillonita y esmectita son componentes inherentes al mineral de Cerro Corona, alcanzando valores de hasta 70% en el mineral alimentado a planta, lo cual genera grandes problemas al momento de flotar el mineral.

Todos sabemos que la presencia de arcillas es perjudicial para un proceso de concentración por flotación y las bajas recuperaciones que se tienen al tratar este tipo de minerales, conllevando a un consumo excesivo de reactivos con el fin de recuperar los productos principales.

En este informe se muestra el manejo de las variables operativas, tanto a nivel de laboratorio como a nivel industrial, para el procesamiento de mineral de cobre con alto contenido de arcillas, muy característico del yacimiento de Cerro Corona.

Asimismo, se da especial énfasis en la aplicación de dos tecnologías complementarias a la flotación convencional para procesar estos materiales, como son el deslamado por hidrociclones y la aplicación de la teoría de floc-flotación.

Estos procesos se han probado en laboratorio con la finalidad de analizar su posible aplicación a nivel industrial.

Cabe indicar, que todas las pruebas de laboratorio y evaluaciones industriales fueron aplicadas para la etapa rougher del circuito de flotación de Cerro Corona.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 Objetivos

A continuación se exponen los principales objetivos que persigue el presente informe de suficiencia:

- A) Detallar los procesos de mejora continua que se realizan en Cerro Corona con la finalidad de incrementar las recuperaciones ante el procesamiento de mineral de cobre con alto contenido de arcillas.

- B) Evaluar los parámetros operativos óptimos en planta a emplearse cuando se procese este tipo de mineral arcilloso.

- C) Analizar nuevas tecnologías complementarias a la flotación convencional para observar la factibilidad de aplicación en Cerro Corona como son el deslamado y el proceso floc-flotación.

1.2 Generalidades de Minera Gold Fields La Cima S.A.A.

1.2.1 Reseña de Hechos Destacados

A continuación se señalan algunos de los hechos más relevantes referidos a la Minera Goldfields La Cima :

- **2003** : Gold Fields Ltd. suscribió un acuerdo de opción de compra con Sociedad Minera Corona S.A. por el yacimiento Cerro Corona, así como por las concesiones mineras colindantes.
- **2004-2005** : Gold Fields Ltd. culminó la adquisición de terrenos superficiales, trabajos de ingeniería y diseño del proyecto, estudio de impacto ambiental (EIA), investigaciones sobre desagüe del tajo, remapeo de la geología superficial, relogueo de testigos de perforación previas, investigaciones de los ensayos de verificación y estimados actualizados de los recursos minerales y reservas minerales. En diciembre de 2005 se aprobó el Estudio de Impacto Ambiental de Cerro Corona.
- **2006** : En enero se culminó la operación de compra del proyecto Cerro Corona, iniciándose la construcción de la mina en mayo.
- **2007** : Se inició la construcción de la presa de relaves Las Gordas y la explotación de la cantera Riolita.
- **2008** : La producción de Cerro Corona se inició en el mes de agosto.
- **2009** : Se cumplió el primer año de operación y la planta de beneficio alcanzó su máxima capacidad de diseño. La Cima obtuvo la certificación ISO 14001:2004.

- **2010** : La Cima obtuvo la re-certificación ISO 14001:2004. Asimismo, La Cima obtuvo la certificación OHSAS 18001:2007.

1.2.2 Breve Descripción de la Operación

Cerro Corona se ubica a 80 kilómetros al norte de la capital de la región Cajamarca, en el norte del Perú, a 3.600 metros de altitud. Su Área de Influencia Directa está constituida por la comunidad campesina de El Tingo, los caseríos de Pilancones y Coymolache, y el centro urbano del distrito de Hualgayoc.

Cerro Corona es una operación a tajo abierto donde se proyecta movilizar 94 millones de toneladas de material con contenido mineral por los próximos 14 años, hasta el año 2024. Con la finalidad de producir 1,9 millones de onzas de oro y 369 K-ton de cobre a través de una planta de concentrados.

Métodos convencionales de explotación a tajo abierto y tratamiento de minerales de sulfuros mediante la extracción por flotación de concentrado de cobre y oro son empleados en Cerro Corona. Desde julio de 2010 se viene procesando sostenidamente 775 Toneladas secas por hora, llegando en algunos meses a más de 800 Toneladas, siendo esta cifra superior al de la capacidad de diseño de la planta.

El concentrado de cobre y oro es transportado en camiones, aproximadamente unos 380 kilómetros, hasta el terminal portuario de Salaverry, para ser enviado a las fundiciones de Asia y Europa vía marítima.

1.2.3 Diagrama de flujo o flowsheet general de la Planta Concentradora de Cerro Corona

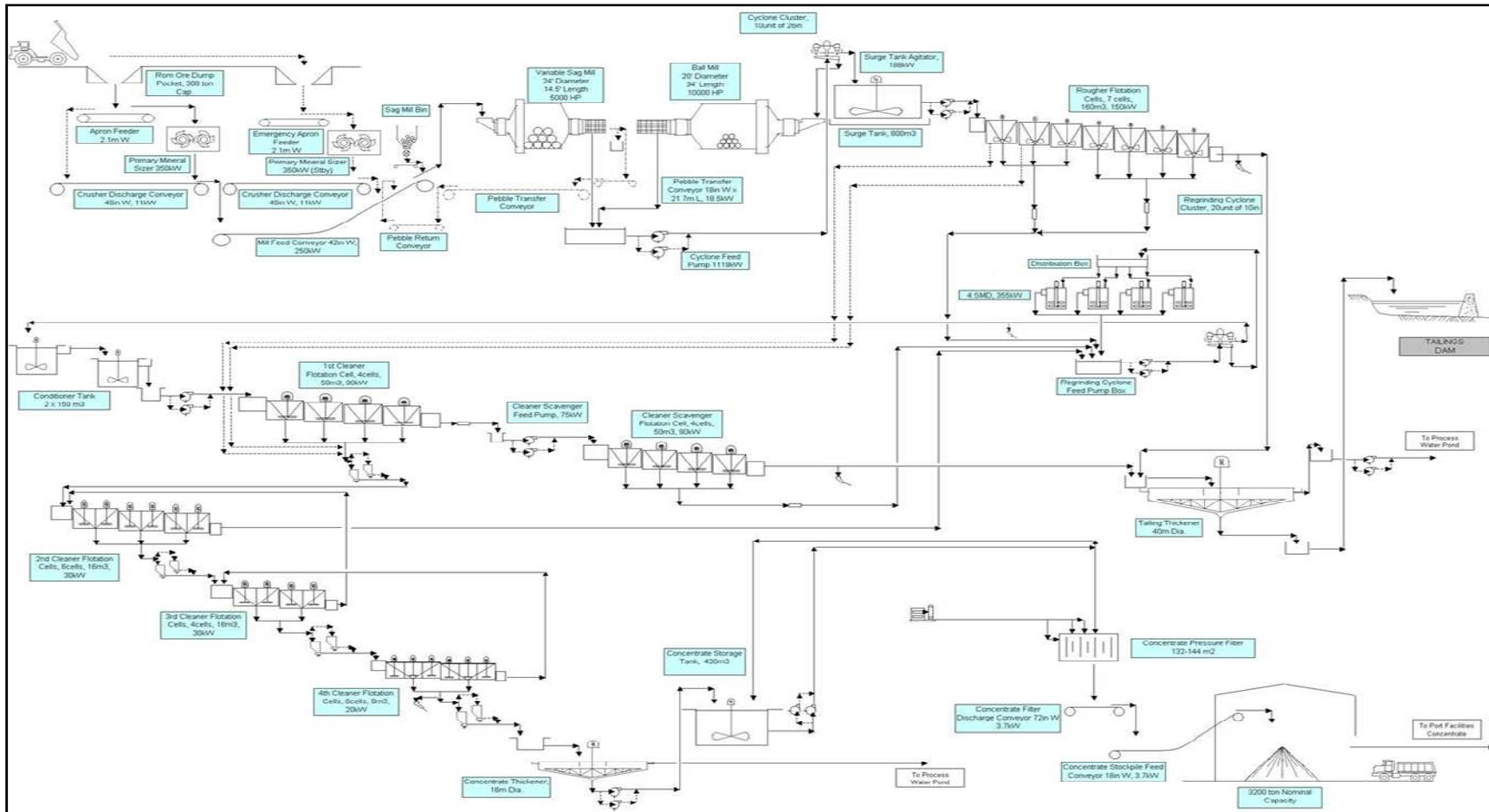


Figura 1.1 Diagrama de Flujo completo del circuito de flotación de Cerro Corona

1.3 Caracterización geológica y mineralógica del mineral arcilloso de Cerro Corona

1.3.1 Caracterización por prospección geológica

La presente descripción constituye la caracterización geológica del mineral en función a la recuperación metalúrgica de cobre en diferentes sectores del tajo de Cerro Corona.

El análisis para la caracterización, se basó en las observaciones de campo, el cartografiado y el muestreo geológico de los sectores geo-metalúrgicos determinados por nivel de recuperación de cobre, así como también de las descripciones mineralógicas de los polígonos enviados a la planta de procesos.

Para identificar los sectores según la recuperación de cobre en el Tajo Cerro Corona, se utilizó la siguiente clasificación:

- Alta recuperación de cobre $> 85\%$
- Buena recuperación de cobre $75\% - 85\%$
- Regular recuperación de cobre $65\% - 75\%$
- Baja recuperación de cobre $< 65\%$

A) Buena a Alta Recuperación (>75%)

- Zona Mixta: La presencia de óxidos versus sulfuros es de 60% – 40%, se observan venillas de cuarzo tipo B y D con minerales de pirita, calcopirita, calcosina, covelita, goethita y hematita. Además se incluye la presencia de esmectita y montmorillonita en la matriz de la diorita. Existen algunos polígonos en el banco 3840 donde la diorita se encuentra silicificada y presenta buena recuperación de cobre.
- Zona Supérgena: Presencia de fracturas rellenas con sulfuros de Cu como la calcosina, covelita y bornita. Se observan venillas de cuarzo tipo D con calcosina, covelita, bornita y con aureolas de sericita. La matriz de la diorita está compuesta principalmente por sericita. En algunos sectores se aprecia esmectita con coloración verde claro.
- Zona Hipógena: Se observan venillas de cuarzo tipo D con sulfuros como la calcopirita, covelita, bornita, pirita y aureolas de sericita. La matriz de la diorita está compuesta principalmente por sericita.

B) Regular recuperación (65% a 75%)

- Zona Mixta: La presencia de óxidos es equitativa a la de los sulfuros (50% - 50% aprox.). Se observan venillas de cuarzo tipo B y D con diseminación de sulfuros de pirita, calcopirita y óxidos de hierro como jarosita, goethita y

hematita.

- Zona Supérgena: Se aprecia una débil presencia de venillas de cuarzo tipo B y D, con diseminación de sulfuros de pirita y calcosina. La matriz se presenta principalmente con abundante montmorillonita (arcillas).
- Zona Hipógena: Se observan venillas de cuarzo tipo D con sulfuros de calcopirita, covelita, pirita y aureolas de clorita. La matriz de la diorita está compuesta mayormente por minerales de esmectita y clorita.

C) Baja Recuperación (< 65%)

- Zona Mixta: La presencia de óxidos versus los sulfuros es de 70% - 30% (en algunos casos). Se observan venillas de cuarzo tipo B y D con sulfuros de pirita, calcosina, calcopirita y con óxidos de jarosita y goethita. Esta ocurrencia geológica se ubicó hacia el Sur del banco y actualmente en sector Norte del tajo de Cerro Corona.
- Zona Supérgena: La diorita que se identificó en el polígono SSL – 385003908 está en contacto con las calizas del Pit Oeste. Presenta abundante montmorillonita con coloración típica verdosa, producto de la disolución de los sulfatos de hierro provenientes de la alteración de las venillas de pirita.

- Zona Hipógena: Zonas identificadas con baja ley de Cu dentro del Core Barren del Nor Este. La mineralización ocurre en venillas de cuarzo tardías con diseminación de sulfuros como la calcopirita, bornita y pirita. Presencia de abundante montmorillonita de coloración típica verdosa, producto de la disolución de los sulfatos de hierro provenientes de la alteración de las venillas de pirita.

1.3.2 Caracterización por microscopía óptica

A) Microscopía óptica de cabeza

Los minerales opacos observados son: Calcopirita, sulfuros secundarios de cobre, óxidos de Fe y pirita.

La calcopirita ocurre ocasionalmente libre y en variedad de tamaños; la mayor parte de las veces, se presenta total o parcialmente reemplazada por sulfuros secundarios de cobre. Mayormente en tamaños finos.

Los sulfuros secundarios de cobre (que consisten principalmente de covelita y digenita, con menor proporción de bornita) son bastante abundantes; generalmente se presentan reemplazando a calcopirita o, con menor frecuencia, a pirita (alrededor de la cual suelen formar coronas de variado espesor). Algunos amarres con pirita son geométricamente muy complicados.

La magnetita es algo abundante y se presenta en variedad de tamaños; generalmente ocurre parcial hasta totalmente reemplazada por hematita. Ocurre asociada a los sulfuros (a veces como finas disseminaciones dentro de pirita) y/o a las gangas.

La pirita es el sulfuro más abundante; se presenta en granos de variados tamaños y formas. Forma amarres de variada complejidad con los otros sulfuros (especialmente con calcopirita o con sulfuros secundarios de cobre) y ocurre frecuentemente como finas disseminaciones dentro de las gangas.

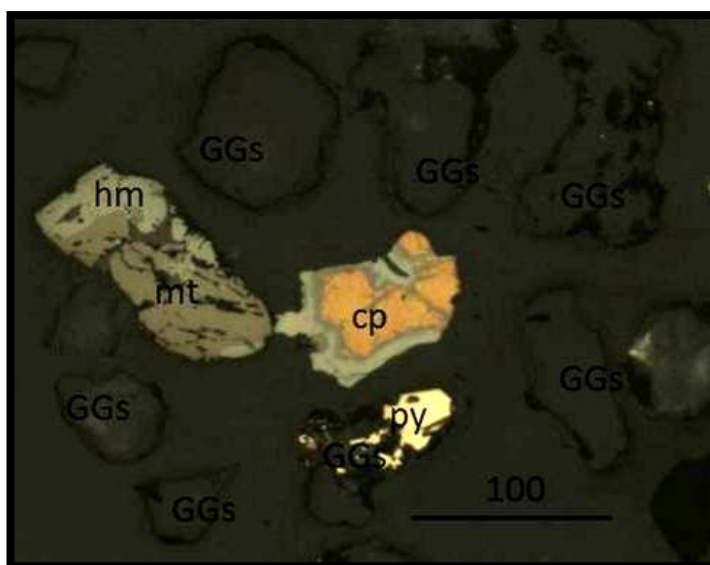


Figura 1.2 Muestra de cabeza. Fracción +200M.

En la Figura 1.2, se aprecia Magnetita parcialmente reemplazada por hematita, calcopirita parcialmente reemplazada por sulfuros secundarios de cobre y gangas como partículas libres. Partícula mixta pirita/gangas.

Bajo la forma de partículas libres, los minerales opacos registrables son: calcopirita, óxidos de Fe, sulfuros secundarios de cobre y pirita. Los porcentajes de todos estos minerales aumentan constantemente desde las fracciones gruesas hacia las finas.

Las partículas mixtas son algo variadas pero el porcentaje total de ellas en ambas fracciones mantiene un valor casi invariable, del orden del 2%, lo que revela que se trata de amarres que, aunque representan una porción pequeña de la muestra, son de difícil liberación. El amarre más importante, que además es el más refractario a la liberación, es el tipo sulfuros secundarios de cobre/pirita.

B) Microscopía óptica de relave rougher

Los minerales opacos observados son: calcopirita, sulfuros secundarios de cobre, molibdenita, óxidos de Fe y pirita.

Como es lógico, tanto la composición mineralógica como las características morfológicas de los minerales presentes en esta muestra son muy similares a las de la muestra Cabeza; la diferencia más importante es que en esta muestra de Relave se ha observado la ocurrencia de molibdenita. Dicha molibdenita es extremadamente escasa y se presenta como partículas libres compuestas de laminillas superpuestas, ligeramente corrugadas.

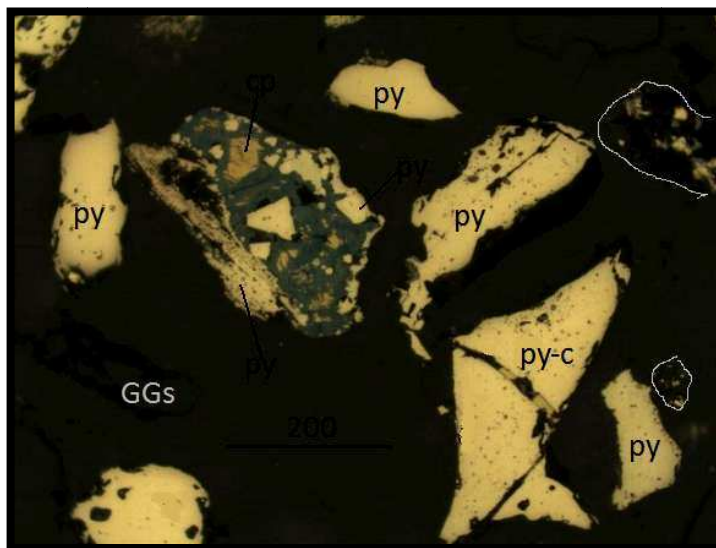


Figura 1.3 Muestra de relave rougher. Fracción +200M.

En la Figura 1.3 se muestran partículas de pirita y de gangas libres; una de las piritas (py-c) presenta delgada venilla de calcopirita. Partícula mixta compuesta de calcopirita y pirita relícticas, invadidas por sulfuros secundarios de cobre (color azul). Grupos de variado tamaño (contorneados con gris)

Bajo la forma de partículas libres, los minerales opacos registrables son: calcopirita, óxidos de Fe, sulfuros secundarios de cobre y pirita. Los porcentajes de calcopirita, de óxidos de Fe y de sulfuros secundarios de cobre aumentan claramente de la fracción +200 a la +270M y luego descienden en la fracción +500M, al respecto es importante recalcar que los porcentajes de sulfuros secundarios de cobre, en las 3 fracciones, son casi siempre el doble de los porcentajes de calcopirita. Por su parte, los porcentajes de pirita aumentan constantemente desde las fracciones gruesas hacia las finas.

Las partículas mixtas son algo variadas y el porcentaje total de ellas alcanza algo más del 4% en la fracción +200 y luego disminuye hacia las fracciones más finas. El amarre más importante, que además es el más refractario a la liberación, es el tipo sulfuros secundarios de cobre/pirita.

Los grumos observados en la muestra se forman también como resultado de dos factores: Elevada presencia de partículas ultra-finas en la alimentación, y a que los finos no han sido eficientemente retenidos en el circuito de flotación. Tales grumos engloban partículas de sulfuros y gangas y posibilitan que las menas no sean retenidas en las celdas de flotación; adicionalmente distorsionan los resultados de los análisis granulométricos y químicos.

De acuerdo con los resultados del estudio microscópico, se puede concluir que la pérdida de valores en el Relave se da mayormente bajo dos formas : Como partículas de menas libres y mixtas, especialmente en las fracciones +200 y +270M, y como partículas ultra-finas que coagulan junto con las gangas y son englobados por estas al formarse los grumos.

Es indispensable tomar las medidas del caso para disminuir la formación de grumos; una medida lógica sería controlar adecuadamente la relación floculantes : dispersantes.

1.3.3 Caracterización por análisis Mineral Liberation Analyzer (MLA)

Se detalla en la Tabla 1.1 la caracterización mineralógica del mineral de Cerro Corona realizada por análisis MLA. Se puede apreciar la gran cantidad de arcillas contenidas en el mineral alimentado a planta, lo cual es objeto de estudio en el presente informe.

Tabla 1.1 Caracterización mineralógica del mineral por análisis MLA.

Mineral	Cabeza - Wt%	Conc_Final - Wt%	Conc_Rougher - Wt%	Relave_CI_Scv - Wt%	Relave_Rougher - Wt%
Covellite	0.05	3.16	0.32	0.08	0.00
Chalcocite		0.03	0.00		0.00
Digenite	0.04	0.67	0.36	0.01	0.01
Bornite	0.01	1.98	0.19	0.06	0.00
Chalcopyrite	1.00	42.88	12.41	2.07	0.26
Enargite	0.00	0.24	0.04	0.02	0.00
Pyrite	5.46	45.18	61.08	57.88	3.67
Others Sulphides	0.01	0.46	0.04	0.03	0.00
Fe_Ti_Oxides	1.61	0.25	0.96	1.24	1.01
Clays_Micas	22.03	0.63	6.88	6.86	20.52
Carbonates	0.06	2.65	0.09	10.73	0.20
Quartz	58.79	0.24	12.55	12.22	58.12
Silicates	10.68	0.44	4.70	7.33	16.04
Others	0.27	1.19	0.39	1.47	0.17
Total	100	100	100	100	100

Fuente : Reporte MLA - GFLC

En la Tabla 1.1, se observa que en la cabeza el 59% del total de minerales es representado por el cuarzo, el 22% por arcillas y micas; solo el 1% son minerales de cobre.

En el concentrado Final, tanto la calcopirita como la pirita se encuentran en proporciones similares. Pero en el concentrado Rougher se observa que alrededor del 60% está representado por la pirita y solo el 12% por calcopirita.

El relave Cleaner-Scavenger, está representado por el 58% por pirita, seguida por cuarzo (12%) y carbonatos (10.7%). Sin embargo en el relave rougher, el principal mineral que se encontró en esta muestra es el cuarzo con el 58%, seguida por las arcillas y micas (20%) y silicatos (16%).

Asimismo, se muestra en la Tabla 1.2, la distribución del cobre como elemento en los diversos minerales de cobre característicos de Cerro Corona.

Tabla 1.2 Distribución del cobre en los diferentes minerales de cobre presentes en el mineral de Cerro Corona.

Mineral	Cu (%) Distribution				
	Cabeza - Wt%	Conc_Final - Wt%	Conc_Rougher - Wt%	Relave_Cl_Scv - Wt%	Relave_Rougher - Wt%
Covellite	2.53	7.38	11.12	4.34	6.62
Chalcosite	0.56	0.00	0.72	0.00	0.00
Digenite	6.40	7.65	2.62	5.43	0.64
Bornite	1.70	1.03	6.59	2.40	4.74
Chalcopyrite	88.43	83.43	78.32	87.45	86.78
Enargite	0.37	0.50	0.61	0.35	1.22
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Fuente : Reporte MLA - GFLC

CAPÍTULO II

ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS OPERATIVOS INFLUYENTES EN EL PROCESAMIENTO DEL MINERAL ARCILLOSO

En todo proceso de flotación las variables operativas de mayor importancia son:

- A) *Granulometría:* Adquiere gran importancia dado que la flotación requiere que las especies minerales útiles tengan un grado de liberación adecuado para su concentración.

- B) *Tipos de Reactivos:* Los reactivos pueden clasificarse en colectores, espumantes y modificadores. La eficiencia del proceso dependerá de la selección de la mejor fórmula de reactivos.

- C) *Dosis de Reactivo:* La cantidad de reactivos requerida en el proceso dependerá de las pruebas metalúrgicas preliminares y del balance económico desprendido de la evaluación de los consumos.

- D) Densidad de Pulpa:* Existe un porcentaje de sólidos óptimo para el proceso que tiene influencia en el tiempo de residencia del mineral en los circuitos.
- E) Aireación:* La aireación permitirá aumentar o retardar la flotación en beneficio de la recuperación o de la ley, respectivamente. El aire es uno de los tres elementos imprescindibles en el proceso de flotación, junto con el mineral y el agua.
- F) Regulación del pH:* La flotación es sumamente sensible al pH, especialmente cuando se trata de flotación selectiva. Cada fórmula de reactivos tiene un pH óptimo ambiente en el cual se obtendría el mejor resultado operacional.
- G) Tiempo de Residencia:* El tiempo de residencia dependerá de la cinética de flotación de los minerales de la cinética de acción de reactivos, del volumen de las celdas, del porcentaje de sólidos de las pulpas en las celdas y de las cargas circulantes.
- H) Calidad del Agua:* En las Plantas la disponibilidad de agua es un problema. Normalmente se utiliza el agua de recirculación de espesadores que contiene cantidades residuales de reactivos y sólidos en suspensión, con las consecuencias respectivas derivadas por este flujo de recirculación.

Los parámetros operativos de mayor relevancia y practicidad en el procesamiento de mineral arcilloso en Cerro Corona son el pH y el porcentaje de sólidos de la flotación Rougher.

A continuación se detallan pruebas de flotación de laboratorio, así como evaluaciones industriales de ambos parámetros, donde se aprecia la influencia de estos en las recuperaciones de cobre, oro y fierro.

Cabe indicar que las evaluaciones de estos parámetros operativos fueron hechas para la etapa de flotación rougher, circuito que se muestra en la Figura 2.1

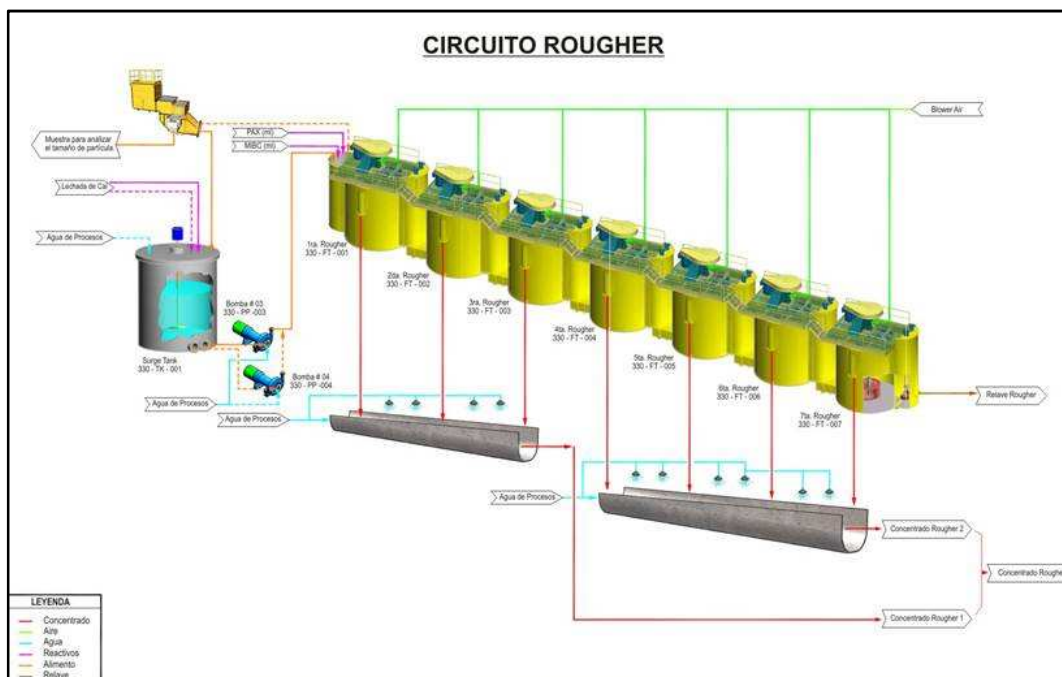


Figura 2.1 Circuito de Flotación Rougher

2.1 Influencia del pH en mineral arcilloso

2.1.1 Evaluación en pruebas de laboratorio

La realización de pruebas de laboratorio es fundamental en toda operación minera. Cerro Corona no es la excepción, así que para el procesamiento del mineral arcilloso se establecieron una serie de pruebas variando el valor del pH en la flotación Rougher con la finalidad de obtener el pH óptimo para el procesamiento de este tipo de mineral.

Para llevar a cabo las pruebas de flotación rougher, se siguió el siguiente estándar de flotación mostrado en la Tabla 2.1, en el cual se detallan los pesos de mineral inicial, las condiciones de flotación y los tiempos de flotación, así como los reactivos empleados.

Tabla 2.1 Parámetros de prueba de flotación estándar variando el pH

Etapas	Sólidos			Pulpa	Agua		Granulometría		Tiempo
	Kg	GE	%	Densidad g/l	kg	ml	.-malla 100	k80 (um)	min.
Molienda	2.759	2.6	65	1667	1.486	1486	17	140	16
Flotación	2.759	2.6	30	1226	6.438	6438	17	140	6
Etapas	pH	Reactivos g/t				Acond.	Tiempo	RPM	
		CaO	PAX	AP-3926	*MIX	min.	min.		
Molienda	8, 9 ,10 y 11	Adic.					16		
Cinética Flotación			Conc. 1	52.50	10.00	5.00	0.75	1.5	1200 (8 lt/min)
			Conc. 2				0.25	1.5	1200 (8 lt/min)
			Conc. 3	17.50		5.00	0.25	1.5	1200 (8 lt/min)
			Conc. 4				0.25	1.5	1200 (8 lt/min)
Total	10	Adic.	70.00	10.00	10.00	1.50	22.00	1200 (8 lt/min)	

* MIX (MIBC+D250+ACEITE DE PINO = 1+1+1)

Se realizaron 4 pruebas de flotación rougher con mineral arcilloso de Cerro Corona, variando el pH en los valores de 8, 9, 10 y 11, con la finalidad de observar la influencia de este parámetro, obteniéndose los siguientes resultados mostrados en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Resultados de pruebas de flotación rougher variando el pH

PRUEBA	CONDICIONES		CABEZA			CONCENTRADO ROUGHER			RECUPERACION ROUGHER			Ratio	Ratio
	pH	% Sólidos	% Cu	Au g/t	% Fe	% Cu	Au g/t	% Fe	% Cu	% Au	% Fe	Fe/Cu	Conc.
1	8	30	0.77	1.20	6.93	8.26	11.08	33.10	70.92	52.95	27.46	3.30	17.41
2	9	30	0.80	1.24	7.01	10.04	10.15	36.18	74.45	56.37	35.46	4.38	14.55
3	10	30	0.79	1.20	6.92	7.30	9.01	35.27	79.26	64.85	43.88	4.83	11.62
4	11	30	0.80	1.20	7.00	7.31	9.09	35.45	78.26	64.90	43.32	4.85	11.69
	Cabeza ensayada		0.79	1.16	6.98								

Se puede apreciar claramente que la máxima recuperación de cobre para este mineral arcilloso se obtiene a un pH de 10 en la flotación rougher. Además, en cuanto a las recuperaciones de oro y fierro, alcanzan también una mayor recuperación al valor de 10 en el pH, manteniéndose casi invariables al aumentarse el pH a 11.

Las tendencias de las variaciones de recuperación en las diferentes pruebas realizadas se presentan en la Figura 2.2.

Cabe indicar que conforme el pH se va incrementando en las diferentes pruebas, se nota visualmente el aumento de la viscosidad de la pulpa ya que ante el mineral arcillo, el efecto del pH también muestra una gran influencia en la reología de la pulpa.

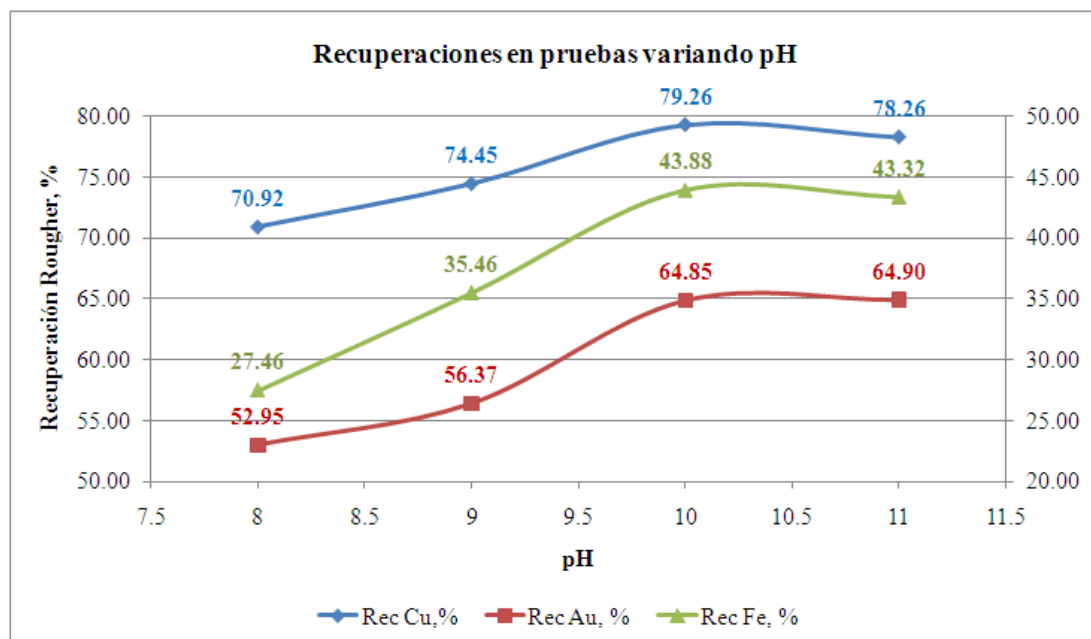


Figura 2.2 Recuperaciones en las pruebas de flotación variando el pH

2.1.2 Evaluación a nivel industrial

La evaluación industrial de la influencia del valor del pH en la flotación rougher del circuito de Cerro Corona, se realizó monitoreando las recuperaciones diariamente anotándose el pH de flotación para observar la tendencia.

Los resultados del monitoreo de la recuperación rougher en función al pH en rougher se presentan a continuación en la Figura 2.3.

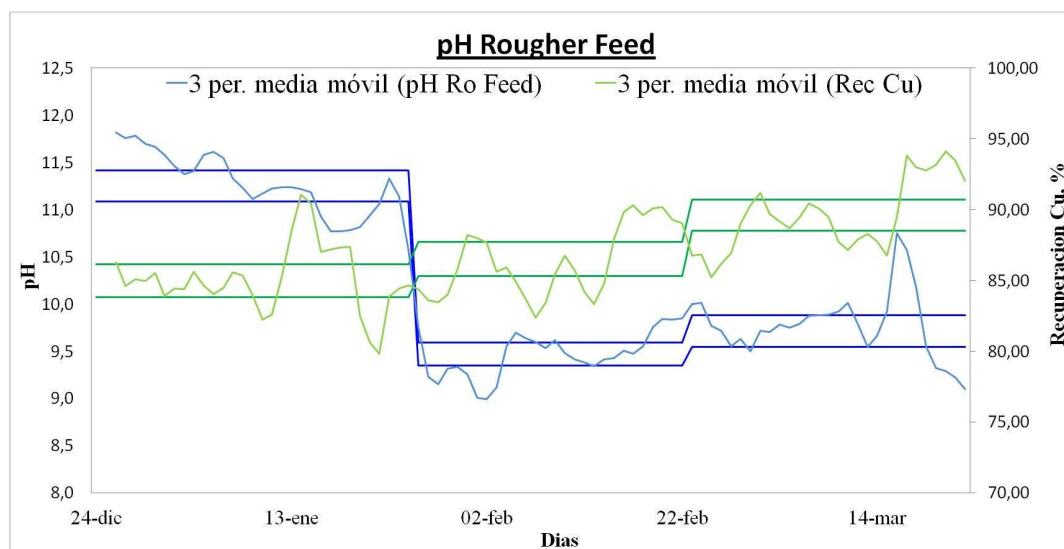


Figura 2.3 Evaluación industrial pH versus Recuperación de cobre en rougher

En esta gráfica se puede observar notablemente la influencia de trabajar a un menor valor de pH cuando se procesa el mineral arcilloso, en el rango de 9.5 a 10.0, lo que se refleja en el incremento de la recuperación rougher de hasta 5 puntos porcentuales.

Queda demostrado que para el procesamiento de mineral de cobre con alto contenido de arcillas en Cerro Corona, se debe trabajar a un pH en el rango de 9.5 a 10.0 con la finalidad de evitar incrementar la viscosidad de la pulpa de mineral arcilloso y poder incrementar las recuperaciones de cobre en la etapa rougher.

2.2 Influencia del porcentaje de sólidos en mineral arcilloso

2.2.1 Evaluación en pruebas de laboratorio

Para la evaluación del porcentaje de sólidos en laboratorio se siguió el mismo procedimiento estándar mostrado en la Tabla 2.1, con la diferencia de que el pH se

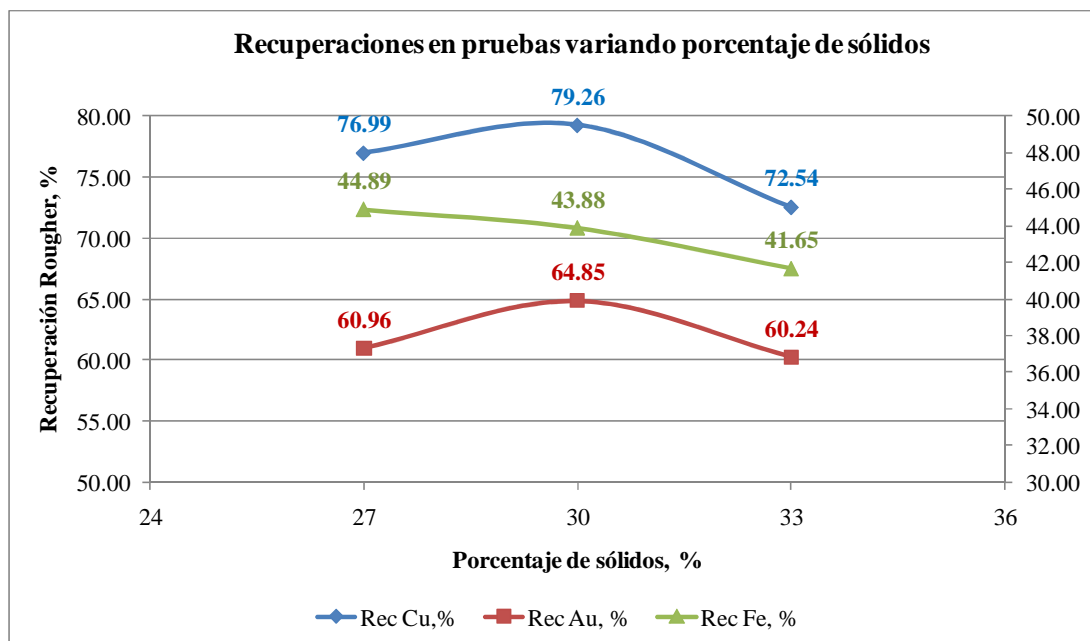


Figura 2.4 Recuperaciones en las pruebas de flotación variando el pH

2.2.2 Evaluación a nivel industrial

La evaluación industrial de la influencia del valor del porcentaje de sólidos en la flotación rougher del circuito de Cerro Corona, se realizó de forma similar al monitoreo del pH, registrando las recuperaciones diariamente anotándose el porcentaje de sólidos de flotación para observar la tendencia.

Los resultados del monitoreo de la recuperación rougher en función al porcentaje de sólidos en rougher se presentan a continuación en la Figura 2.5.

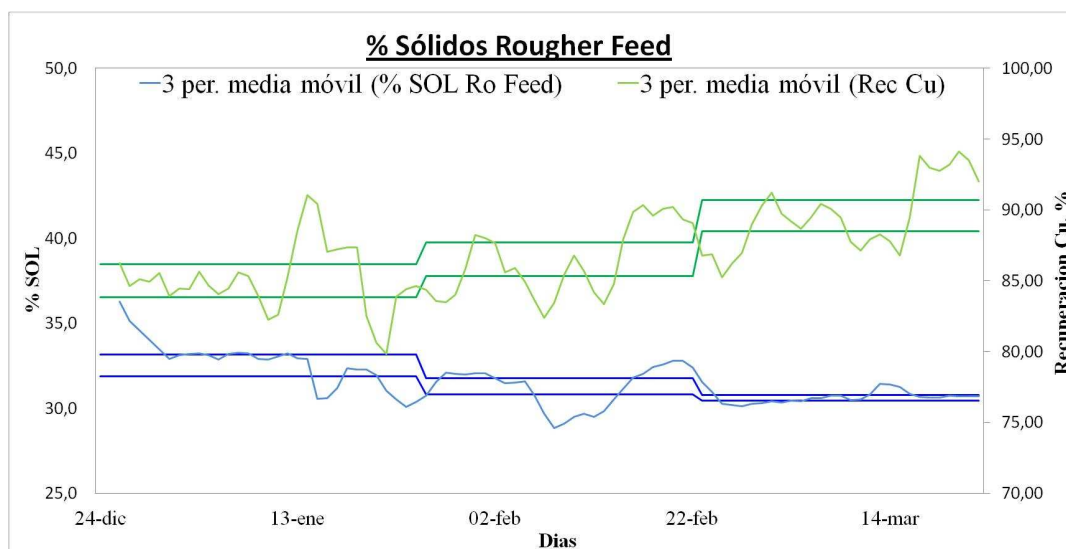


Figura 2.5 Evaluación industrial % Sólidos versus Recuperación de cobre en rougher

La recuperación aumenta a medida que el porcentaje de sólidos disminuye gradualmente hasta llegar a valores entre 30 a 31% de sólidos, lo cual es el rango óptimo operacionalmente para trabajar con mineral arcilloso.

Queda demostrado que para el procesamiento de mineral de cobre con alto contenido de arcillas en Cerro Corona, se debe trabajar a un porcentaje de sólidos alrededor del 30%, ya que a un porcentaje más alto, disminuyen las recuperaciones obtenidas en flotación. Asimismo, si reducimos mucho el porcentaje de sólidos es perjudicial operacionalmente ya que el tonelaje de procesamiento se vería afectado.

CAPÍTULO III

PROCESOS COMPLEMENTARIOS A LA FLOTACIÓN CONVENCIONAL DE CERRO CORONA

Debido a las dificultades y bajas recuperaciones obtenidas durante el procesamiento del mineral arcilloso en Cerro Corona, se vienen buscando alternativas de solución ante este problema, realizándose pruebas de laboratorio tanto en mina como por asesores externos. Es por ello que se detallan a continuación dos tecnologías que se están evaluando para ser aplicadas en Cerro Corona, en forma complementaria a la flotación convencional.

3.1 Deslamado del mineral por ciclones previo a la flotación

3.1.1 Breve descripción del proceso de deslamado

El hidrociclón es un dispositivo mecánico muy simple que no incluye partes móviles. Consiste de un recipiente de forma cónica, abierto en su ápice o descarga que está unido a una sección cilíndrica, la cual tiene una entrada de alimentación tangencial. La parte superior de la sección cilíndrica está cubierta con una placa a través de la

cual pasa un tubo de derrame axialmente montado. El tubo se extiende hacia el interior del cuerpo del hidrociclón por medio de una sección corta, conocido como buscador de remolino, el cual evita que la alimentación entre directamente hacia el derrame. El diámetro del hidrociclón puede variar desde una pulgada hasta diámetros que pueden alcanzar en ocasiones las 70 pulgadas.

La alimentación es introducida bajo presión, producido por la energía del fluido, a través de la entrada tangencial, lo cual imparte un movimiento rotacional a la pulpa. Debido a este movimiento se genera una zona de muy baja presión a lo largo del eje vertical del equipo, por lo que se desarrolla un núcleo de aire en ese lugar, que generalmente se conecta a la atmósfera a través del vortex de salida. De acuerdo a la teoría clásica de la acción del hidrociclón, las partículas en el fluido se ven afectadas en el sentido radial, por dos fuerzas opuestas: una, hacia la periferia del equipo debido a la aceleración centrífuga y la otra, hacia el interior debido al arrastre del fluido que se mueve a través del hidrociclón. Consecuentemente, la mayor parte de las partículas finas abandonarán el equipo a través del orificio vortex, localizada en la parte superior de la parte cilíndrica del equipo. El resto de las partículas, mayoritariamente los gruesos, saldrán a través del orificio de descarga o ápex ubicada en el extremo inferior de la sección cónica. El mecanismo de acción de un hidrociclón es mostrado en la Figura 3.1.

Es por este principio de separación de finos, es que un ciclón o hidrociclón tiene aplicaciones en la industria minera. El deslamado es una de ellas, donde el objetivo principal es remover las partículas finas a través del rebose del hidrociclón para

lograr una mayor eficiencia en los siguientes procesos como la flotación o separación magnética en húmedo.

En este caso en particular, se aplica para el deslamado de la arcillas ya que estas tienen una granulometría muy fina, y el planteamiento es retirarlas del mineral antes de ingresar al proceso de flotación donde su comportamiento es perjudicial y reduce la performance metalúrgica.

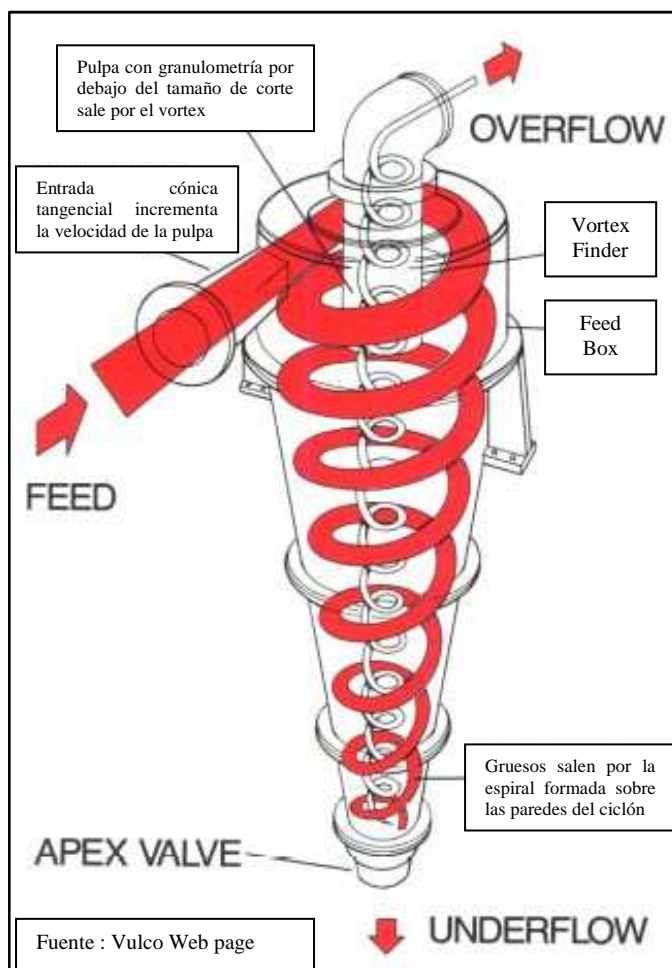


Figura 3.1 Mecanismo de acción de un hidrociclón

3.1.2 Parámetros de pruebas de deslamado a nivel laboratorio

Para el estudio de la aplicación de deslamado del mineral arcilloso de Cerro Corona, se han realizado pruebas de laboratorio de cicloneo a diferentes condiciones que se detallan en la Tabla 3.1. El ciclón empleado en estas pruebas fue un ciclón de marca Eral.

Tabla 3.1 Parámetros y condiciones de pruebas de deslamado

PARAMETROS Y CONDICIONES DE PRUEBA							
DIMENSIONES DEL CICLON				PRESION (psi)		TIEMPO (seg)	
Diámetro	Inlet	Apex	Vortex	Mínima	Máxima	Mínimo	Máximo
2"	1"	0.5"	1"	0	2	20	150

Tras el paso del mineral por el ciclón a diferentes porcentajes de deslamado, los productos (underflow) fueron flotados siguiendo el procedimiento estándar de Cerro Corona que se muestra en la Tabla 3.2, calculándose la recuperación total de ambos procesos en serie y evaluándose los resultados frente a una flotación rougher estándar.

Tabla 3.2 Procedimiento estándar de flotación rougher empleado.

Etapas	pH	Reactivos g/t				Acond.	Tiempo	RPM	
		CaO	PAX	AP-3926	*MIX	min.	min.		
Molienda	10	Adic.					---		
Cinética Flotación			Conc. 1	52.50	10.00	5.00	5	1	1200 (8 lt/min)
			Conc. 2				2	2	1200 (8 lt/min)
			Conc. 3	17.50		5.00	1	4	1200 (8 lt/min)
			Conc. 4				1	8	1200 (8 lt/min)
Total	10	Adic.	70.00	10.00	10.00	9.00	15.00	1200 (8 lt/min)	

* MIX (MIBC+D250+ACEITE DE PINO = 1+1+1)

Se realizaron 5 pruebas de deslamado empleándose muestra del Overflow de la batería de ciclones actual de Cerro Corona, pulpa que alimenta al circuito de flotación Rougher.

El esquema del procedimiento experimental seguido para estas pruebas se muestra en la Figura 3.2.

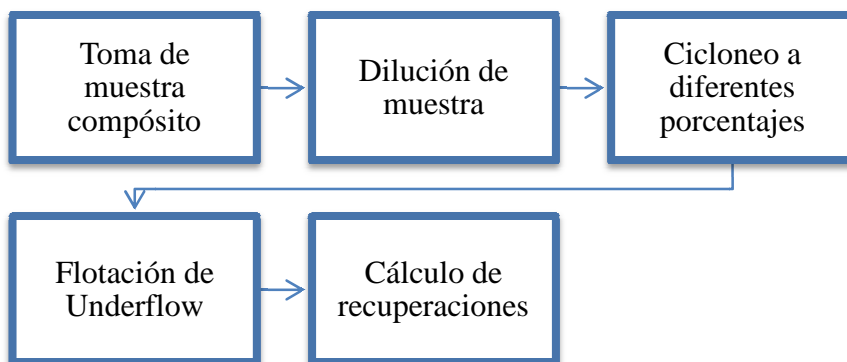


Figura 3.2 Esquema del procedimiento seguido para las pruebas de deslamado + flotación

3.1.3 Análisis de resultados

Los resultados de las pruebas de deslamado en función al porcentaje en peso obtenido se muestran en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Resultados de pruebas de deslamado antes de flotación.

TEST	Fracción en % de peso (Corte)	LEYES		DISTRIBUCION		PARAMETROS	
		Cu (%)	Au (g/t)	Cu (%)	Au (%)	D50 (um)	Efic (%)
DESLAM - 1							
ALIMENTO	100.00	0.71	1.05	100.00	100.00	2.00	13.04
OVERFLOW	3.22	0.83	1.33	3.74	4.06		
UNDERFLOW	96.78	0.71	1.04	96.26	95.94		

TEST	Fracción en % de peso (Corte)	LEYES		DISTRIBUCION		PARAMETROS	
		Cu (%)	Au (g/t)	Cu (%)	Au (%)	D50 (um)	Efic (%)
DESLAM - 2							
ALIMENTO	100.00	0.82	1.19	100.00	100.00	17.00	43.17
OVERFLOW	6.90	0.64	0.77	5.41	4.48		
UNDERFLOW	93.10	0.83	1.22	94.59	95.52		

TEST	Fracción en % de peso (Corte)	LEYES		DISTRIBUCION		PARAMETROS	
		Cu (%)	Au (g/t)	Cu (%)	Au (%)	D50 (um)	Efic (%)
DESLAM - 3							
ALIMENTO	100.00	0.79	1.22	100.00	100.00	35.00	28.47
OVERFLOW	13.34	0.88	1.11	14.80	12.14		
UNDERFLOW	86.66	0.78	1.24	85.20	87.86		

TEST	Fracción en % de peso (Corte)	LEYES		DISTRIBUCION		PARAMETROS	
		Cu (%)	Au (g/t)	Cu (%)	Au (%)	D50 (um)	Efic (%)
DESLAM - 4							
ALIMENTO	100.00	0.80	1.23	100.00	100.00	13.00	22.98
OVERFLOW	16.42	0.76	1.00	15.56	13.33		
UNDERFLOW	83.58	0.81	1.27	84.44	86.67		

TEST	Fracción en % de peso (Corte)	LEYES		DISTRIBUCION		PARAMETROS	
		Cu (%)	Au (g/t)	Cu (%)	Au (%)	D50 (um)	Efic (%)
DESLAM - 5							
ALIMENTO	100.00	0.86	1.26	100.00	100.00	35.00	40.84
OVERFLOW	21.89	0.80	1.14	20.30	19.80		
UNDERFLOW	78.11	0.88	1.29	79.70	80.20		

Un resumen de los resultados de las pruebas de deslamado se presentan en la Tabla 3.4 y en la Figura 3.3, donde se aprecia claramente la pérdida de finos en el overflow de estas pruebas, notándose que a mayor porcentaje de deslamado, mayor es la pérdida de finos que no entraría al circuito de flotación, por ende la recuperación rougher total se vería afectada.

Tabla 3.4 Pérdida de finos en pruebas de deslamado

TEST	% DE DESLAMADO	PERDIDA DE FINOS	
		Cu (%)	Au (%)
1	3.22	3.74	4.06
2	6.90	5.41	4.48
3	13.34	14.80	12.14
4	16.42	15.56	13.33
5	21.89	20.30	19.80

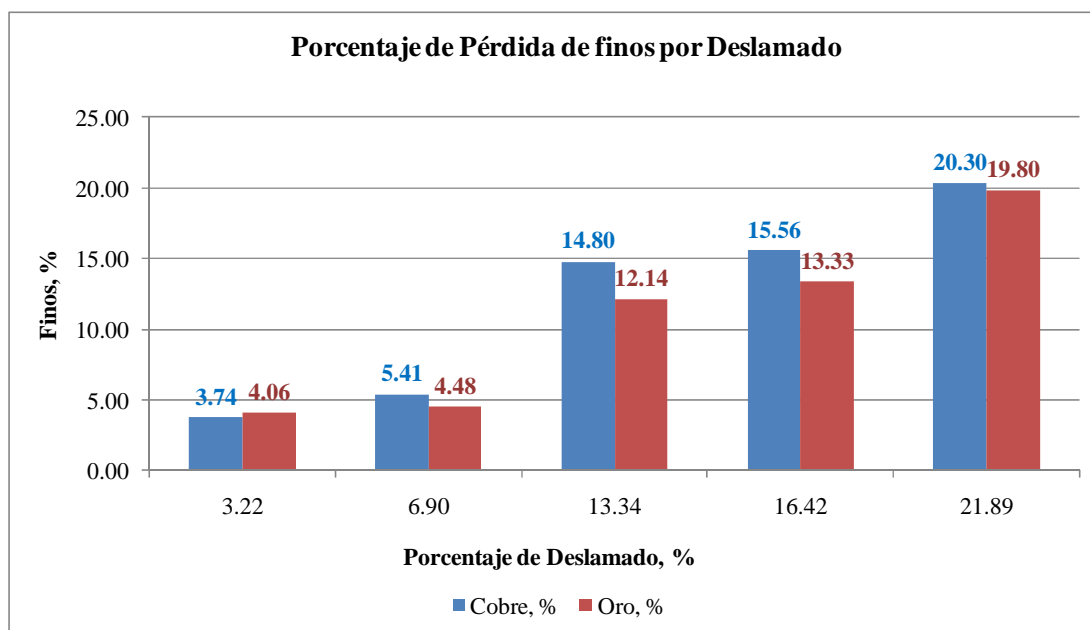


Figura 3.3 Porcentaje de pérdida de finos por porcentaje de deslamado.

Como se indicó anteriormente en el esquema de las pruebas, el producto obtenido del deslamado (underflow) es sometido a flotación siguiendo el estándar de flotación rougher detallado en la Tabla 3.2. Los resultados de las flotaciones se muestran en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Resultados de flotaciones realizadas tras pruebas de deslamado

STD	Fracción en % de peso	LEYES		DISTRIBUCION	
		Cu (%)	Au (g/t)	Cu (%)	Au (%)
Cabeza Calc.	100.00	0.73	0.99	100.00	100.00
Conc. Rougher	14.61	4.59	5.31	91.93	78.63
Relave	85.39	0.07	0.25	8.07	21.37

TEST DES+FLOT - 1	Fracción en % de peso	LEYES		DISTRIBUCION	
		Cu (%)	Au (g/t)	Cu (%)	Au (%)
Cabeza Calc.	100.00	0.71	1.07	100.00	100.00
Conc. Rougher	11.48	5.76	7.67	93.14	82.64
Relave	88.52	0.06	0.21	6.86	17.36

TEST DES+FLOT - 2	Fracción en % de peso	LEYES		DISTRIBUCION	
		Cu (%)	Au (g/t)	Cu (%)	Au (%)
Cabeza Calc.	100.00	0.83	1.29	100.00	100.00
Conc. Rougher	13.54	5.83	7.99	94.81	83.57
Relave	86.46	0.05	0.25	5.19	16.43

TEST DES+FLOT - 3	Fracción en % de peso	LEYES		DISTRIBUCION	
		Cu (%)	Au (g/t)	Cu (%)	Au (%)
Cabeza Calc.	100.00	0.76	1.10	100.00	100.00
Conc. Rougher	13.89	5.13	6.62	94.31	83.82
Relave	86.11	0.05	0.21	5.69	16.18

TEST DES+FLOT - 4	Fracción en % de peso	LEYES		DISTRIBUCION	
		Cu (%)	Au (g/t)	Cu (%)	Au (%)
Cabeza Calc.	100.00	0.80	1.20	100.00	100.00
Conc. Rougher	13.05	5.77	7.61	94.13	82.46
Relave	86.95	0.05	0.24	5.87	17.54

TEST DES+FLOT - 5	Fracción en % de peso	LEYES		DISTRIBUCION	
		Cu (%)	Au (g/t)	Cu (%)	Au (%)
Cabeza Calc.	100.00	0.86	1.25	100.00	100.00
Conc. Rougher	12.23	6.67	8.71	95.19	85.13
Relave	87.77	0.05	0.21	4.81	14.87

Las recuperaciones de estas pruebas de flotación conjuntamente con las recuperaciones en las pruebas de deslamado, nos permiten calcular las

recuperaciones rougher totales de cada serie de pruebas, obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla 3.6 Recuperaciones rougher totales de Deslamado + Flotación

TEST	% DE DESLAMADO	RECUPERACION DE FINOS					
		POR DESLAMADO		POR FLOTACION		TOTAL	
		Cu (%)	Au (%)	Cu (%)	Au (%)	Cu (%)	Au (%)
STD	0.00	100.00	100.00	91.93	78.63	91.93	78.63
1	3.22	96.26	95.94	93.14	82.64	89.66	79.29
2	6.90	94.59	95.52	94.81	83.57	89.68	79.83
3	13.34	85.20	87.86	94.31	83.82	80.35	73.64
4	16.42	84.44	86.67	94.13	82.46	79.48	71.47
5	21.89	79.70	80.20	95.19	85.13	75.86	68.27

En la Figura 3.4, se muestra el resumen de las recuperaciones obtenidas, notándose que el efecto del deslamado seguido de flotación es negativo, por la gran pérdida de finos que se produce en el deslamado.

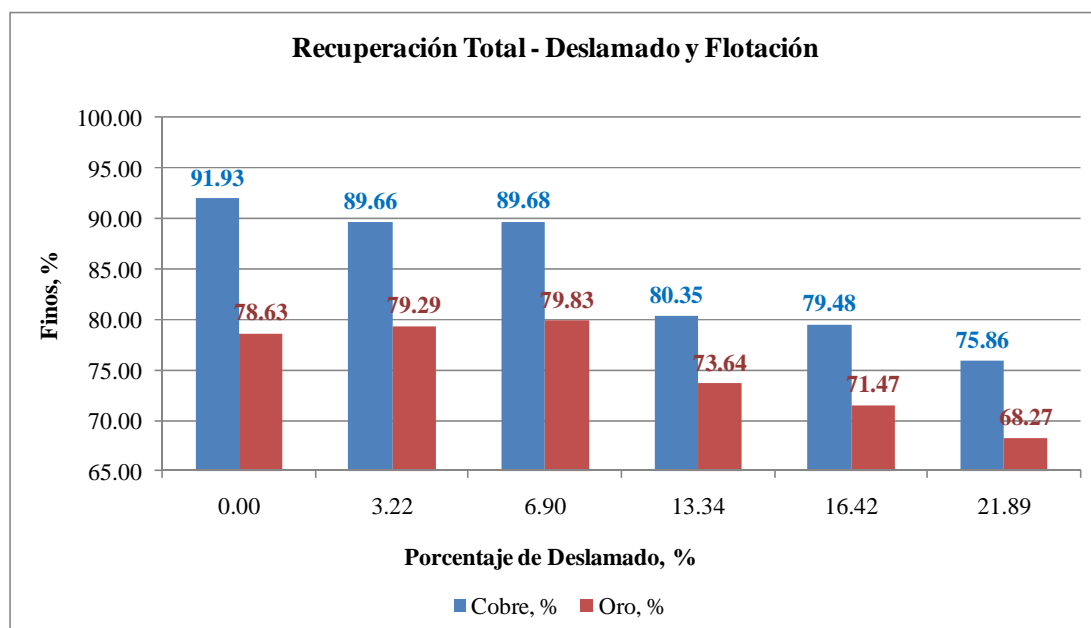


Figura 3.4 Recuperación rougher total de pruebas realizadas

En la Tabla 3.7, se muestran los incrementos (ganancias) y decrementos (pérdidas) en las recuperaciones rougher comparadas en función a las obtenidas con la prueba estándar, prueba en la cual no se aplicó deslamado.

Se afirma que la prueba Estándar (STD) muestra resultados superiores a las pruebas con deslamado, por lo que la aplicación de deslamado del mineral arcilloso quedaría descartada.

Tabla 3.7 Comparativo de recuperaciones rougher en función al Estándar.

COMPARATIVO DE RECUPERACIONES CON STD			
TEST	% DE DESLAMADO	VARIACION	
		Cu (%)	Au (%)
STD	0.00	91.93	78.63
1	3.22	-2.27	0.66
2	6.90	-2.25	1.20
3	13.34	-11.58	-4.99
4	16.42	-12.45	-7.17
5	21.89	-16.07	-10.36

3.2 Proceso Floc-flotación

3.2.1 Definición de Tecnología Floc-Flotación

El proceso de Floc-Flotación está basado primero en una dispersión completa de las partículas minerales de la pulpa, seguido de una colección selectiva de las partículas de valor y su posterior flotación en celdas convencionales tipo columna ó de agitación. La dispersión de las partículas se logra con la adición de reactivos específicos para lograr un aumento de la carga eléctrica en la interfase mineral/agua.

La colección selectiva se logra a través del uso de colectores específicos con la superficie del mineral, la cual es asistida con aditivos aglomerantes y el acondicionamiento de la pulpa a una alta velocidad.

El aditivo aglomerante se adhiere sobre la superficie hidrofóbica del mineral y la alta velocidad de agitación promueve la adherencia de los aditivos sobre la superficie hidrofobizada y la agregación entre las partículas hidrofobizadas para la formación de coágulos, que alcanzan un tamaño varias veces mayor que el de la partícula mineral.

De esta manera, la cinética de flotación de las partículas finas aumenta notablemente; consecuentemente, se mejora su recuperación y la calidad del concentrado producido por las celdas de flotación.

La tecnología de floculación hidrofóbicas aplicadas al beneficio de minerales finos es esquemáticamente representada en la Figura 3.5.

Los mecanismos de reacción del proceso floc – flotación, resaltando la floculación hidrofóbica, están basados en las fuerzas intermoleculares que son fuerzas físicas que no forman enlaces químicos dando como resultado por lo general en fisisorción (adsorción física de reactivos). Estas fuerzas mencionadas son las siguientes:

- Fuerzas electrostáticas (Coulomb), que dan lugar a la adsorción de poli-electrolitos sobre cualquier superficie con la carga opuesta, independientemente de su naturaleza química.

- Fuerzas London o de Van der Waals, en el cual las moléculas o átomos neutros constituyen sistemas de cargas oscilantes produciendo dipolos sincronizados que se atraen unos a otros.
- Las fuerzas de atracción dipolo, las cuales explican la floculación de cristales tipo iónico por un floculante no-iónico.

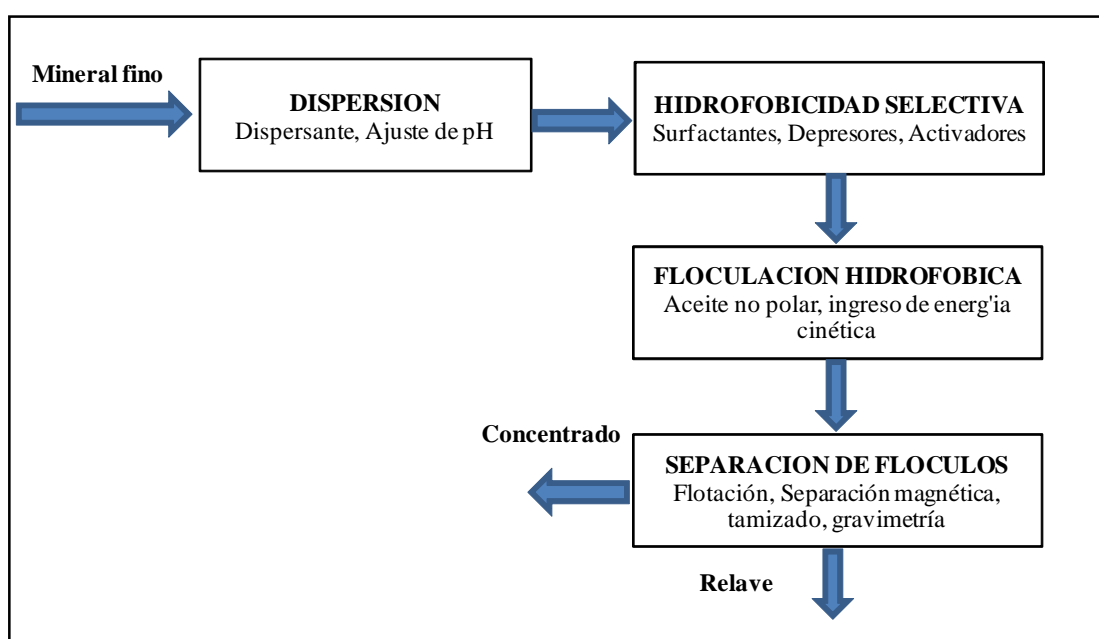


Figura 3.5 Representación esquemática de la tecnología de Floc-Flotación.

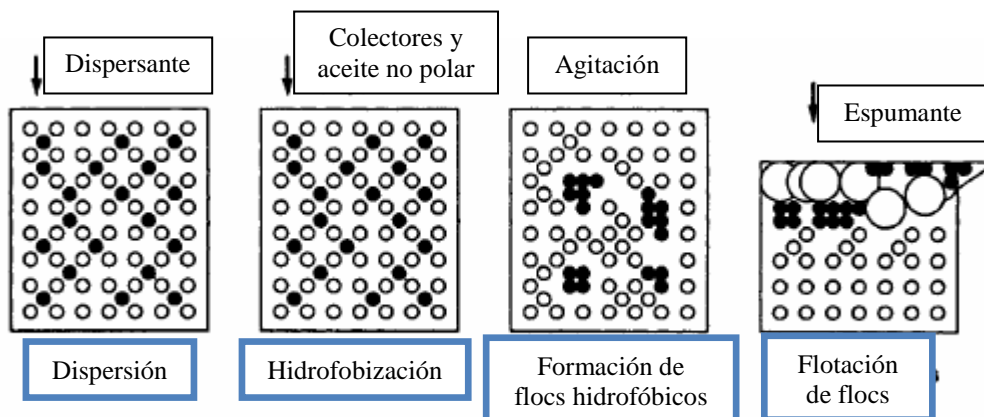


Figura 3.6 Mecanismo de reacción del proceso hidrofóbico de floc-flotación

El mineral finamente molido o las lamas son primeramente tratados mediante un proceso de dispersión para eliminar la heterocoagulación de materiales finos. Posteriormente, la pulpa pasa a través de una etapa de hidrofobización selectiva en el cual los minerales finos deseados son hidrofobizados selectivamente mediante la adición de reactivos químicos específicos. Después, la pulpa es acondicionada mecánicamente junto con el aceite no polar, formando flóculos hidrofóbicos, mientras el mineral fino hidrofílico permanece en dispersión. Finalmente, los flóculos hidrofóbicos son separados de los minerales finos dispersados mediante la flotación convencional.

Está claro que la parte central de la tecnología de la Floc-Flotación es la floculación hidrofóbica selectiva, la cual es necesaria no solo para producir los flóculos de tamaño y estructura correctos para la siguiente etapa del proceso de separación, sino también espera mantener a los minerales finos hidrofílicos fuera de los flóculos formados. El éxito de esta tecnología reside en la optimización de varios parámetros de la floculación hidrofóbica selectiva. Los parámetros principales son la dispersión de pulpa, la hidrofobicidad de las partículas, las cuales dependen de una buena selección de los reactivos colectores, depresores y activadores, así como de las condiciones de operación (% de sólidos, velocidad de agitación, etc.).

El beneficio y recuperación de valores minerales finamente diseminados y colas de relave, ha incrementado recientemente su atención debido a lo siguiente:

- Muchos recursos minerales que la industria minera afronta existe en forma finamente diseminada, que requiere una molienda muy fina para liberar el mineral valioso antes de obtener algún beneficio.
- La mayor parte de pérdidas de mineral valioso en una planta concentradora es debido a las lamas, que son generadas en los circuitos de molienda o producto del material debido a una profunda oxidación en la naturaleza o un alto contenido de arcillas.

3.2.2 Procedimiento experimental y parámetros de prueba a nivel laboratorio

A continuación se detalla el procedimiento experimental seguido para la evaluación del proceso Floc-Flotación en el mineral arcilloso de Cerro Corona, indicándose las pruebas metalúrgicas realizadas en laboratorio.

A) Pruebas de Molienda

Se realizaron pruebas de molienda con la muestra compósito preparada a 100% menos malla Tyler 10 a fin de determinar el tiempo que permite obtener la granulometría adecuada en las pruebas metalúrgicas.

En la ejecución de estas pruebas se utilizó 1545 gramos del compósito y 832 ml. de agua, empleando tiempos de 0, 5, 10, 15, y 20 minutos. Se empleó un molino de bolas de laboratorio de 21 cm. x 24 cm. trabajando con una carga de bolas de 16.58

kg. Los productos obtenidos se tamizaron en las mallas 65 y 100, de la serie Tyler. En la Tabla 3.8 se muestran a modo de resumen los resultados obtenidos.

Tabla 3.8 Moliendabilidad del mineral arcilloso

Tiempo (min)	5	10	15	20
-100M	69.88	86.50	91.48	91.74

Los resultados de las pruebas de molienda permitieron determinar el tiempo requerido de molienda para alcanzar un P80 de 150 micrones, el tiempo de molienda quedo establecido en 7.88 min, tal como se puede apreciar en la Figura 3.7.

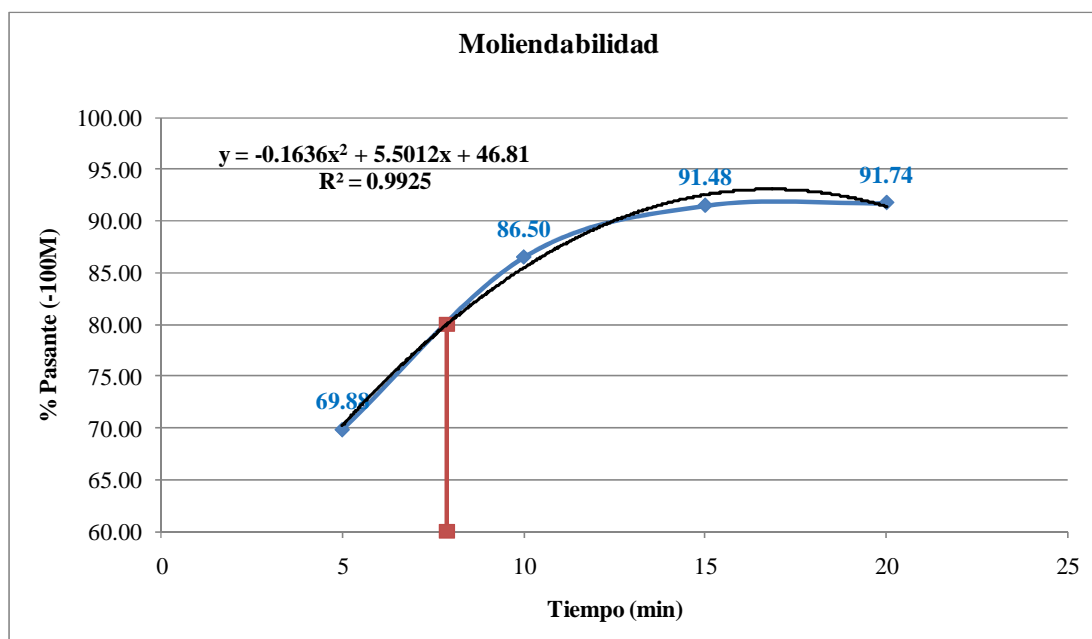


Figura 3.7 Curva de moliendabilidad del mineral arcilloso

B) Pruebas de Flotación

Se estableció que se evaluaría la etapa de flotación Rougher bajo un esquema de flotación Batch; realizándose pruebas por triplicado para cada una de las pruebas realizadas.

Las pruebas de flotación fueron realizadas en una maquina de flotación de laboratorio Denver D-12. Las pruebas se realizaron considerando 1.545 Kg de mineral, el K80 para todas las pruebas fue el mismo considerando el tiempo de molienda determinado.

La cal se utilizo para elevar el pH hasta un valor de 10.0 ya que la muestra presenta características acidas (pH inicial 4.2). Los reactivos base empleados en las pruebas fueron los siguientes: Xantato Amílico de Potasio (PAX), D262E, MIX y Cal, las dosificaciones empleadas fueron establecidas según el procedimiento estándar de Gold Fields la Cima, tal como se puede apreciar en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9 Parámetros de prueba de molienda y flotación

Etapas	Sólidos			Pulpa	Agua		Granulometria		Tiempo
	Kg	GE	%	Densidad g/l	kg	ml	+malla 100	k80 (um)	min.
Molienda	1.545	2.6	65	1668	0.830	830	20	150	7.88
Flotación	1.545	2.6	30	1226	3.606	3606	20	150	15

Etapas	pH	Reactivos g/t				Acond.	Tiempo	RPM	
		CaO	PAX	D-262	*MIX	min.	min.		
Molienda	10	Adic.			10.00		7.88		
Cinética Flotación			Conc. 1	52.50		5.00	5	1	1500
			Conc. 2				2	2	1500
			Conc. 3	17.50		5.00	1	4	1500
			Conc. 4				1	8	1500
Total	10	Adic.	70.00	10.00	10.00	9.00	22.88	1500	

* MIX (MIBC+D250+ACEITE DE PINO = 1+1+1)

Los parámetros mostrados en la Tabla 3.9 son las condiciones que se utilizaron en pruebas estándar, la cual nos servirá como punto comparativo para optimizar el proceso, aplicando la tecnología de Floc-Flotación.

De igual manera se estableció evaluar una variable por vez con la finalidad de determinar el efecto de cada una de ellas. Las pruebas se realizaron por triplicado para minimizar su variabilidad.

En la Tabla 3.10 adjunta se muestran las variaciones realizadas en cada una de las etapas realizadas.

Tabla 3.10 Pruebas realizadas para la evaluación de variables de floc-flotación

PRUEBAS	Agente	Biodiesel	Kerosene	Diesel 2
	dispersante (g/t)	(g/t)	(g/t)	(g/t)
STD - 1er Grupo				
2do Grupo	10			
2do Grupo	20			
2do Grupo	40			
2do Grupo	80			
2do Grupo	160			
2do Grupo	320			
3er Grupo	10	10		
3er Grupo	10	20		
3er Grupo	10	40		
3er Grupo	10		10	
3er Grupo	10		20	
3er Grupo	10		30	
3er Grupo	10		40	
3er Grupo	10			10
3er Grupo	10			20
3er Grupo	10			30

3.2.3 Análisis de resultados

A continuación se presenta el análisis de los resultados obtenidos durante la ejecución del trabajo de investigación metalúrgica, referente a Floc-Flotación.

A) Pruebas de Flotación Estándar

Se realizaron 6 pruebas de flotación Rougher Estándar con el fin de tener un punto de referencia comparativo con la implementación de la tecnología de la floc-flotación.

En la Tabla 3.11 se muestra un resumen de las pruebas realizadas.

Tabla 3.11 Pruebas de Flotación Estándar

PRUEBA	CONDICIONES		CABEZA CALC.		CONC. ROUGHER		RELAVE ROUGHER		RECUP. ROUGHER	
	Dispersante	Hidrocarburo	% Cu	% Fe	% Cu	% Fe	% Cu	% Fe	% Cu	% Fe
STD-1	0	0	0.39	5.35	2.70	15.86	0.16	4.29	63.44	27.31
STD-2	0	0	0.42	5.51	2.89	16.50	0.18	4.42	62.03	27.12
STD-3	0	0	0.41	5.94	2.84	18.63	0.17	4.67	62.92	28.58
STD-4	0	0	0.37	5.25	2.58	15.06	0.15	4.26	64.13	26.21
STD-5	0	0	0.39	5.38	2.92	16.79	0.14	4.28	66.72	27.57
STD-6	0	0	0.39	5.56	2.74	15.86	0.15	4.51	64.74	26.41
	Cabeza promedio		0.39	5.50			Promedio		64.00	27.20
	Cabeza ensayada		0.41	5.48						

Los resultados obtenidos en las pruebas de flotación estándar, mostraron una recuperación promedio de 64.00% de Cu, con una ley de concentrado promedio de 2.78% Cu. Así mismo la recuperación de Fe fue de 27.20%.

B) Efecto del dispersante

Una segunda etapa de flotación consistió en evaluar el efecto del dispersante, para lo cual se utilizó el producto “Acrylic Dispersing Agent” (Rohmin 4272 de Dow

Chemical). Este reactivo fue adicionado en la etapa de molienda para un mejor efecto. Las dosificaciones fueron: 10, 20, 40, 80, 160, 320 g/t., los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.12 adjunta y en la Figura 3.8.

Tabla 3.12 Efecto de la adición de dispersante

PRUEBA	CONDICIONES		CONC. ROUGHER		RELAVE ROUGHER		RECUP. ROUGHER		Ratio	Ratio
	Dispersante	Hidrocarburo	% Cu	% Fe	% Cu	% Fe	% Cu	% Fe	Fe/Cu	Conc.
STD	0	0	2.78	16.45	0.16	4.40	64.00	27.20	5.92	10.99
DIS-1	10	0	3.52	20.58	0.12	4.35	72.20	29.50	5.85	12.35
DIS-2	20	0	3.43	19.85	0.12	4.37	71.59	28.60	5.79	12.35
DIS-3	40	0	3.33	19.79	0.13	4.57	70.98	26.90	5.94	12.82
DIS-4	80	0	3.85	22.59	0.12	4.35	71.31	28.60	5.87	13.89
DIS-5	160	0	3.88	23.14	0.14	4.31	68.38	29.50	5.96	13.89
DIS-6	320	0	3.64	22.68	0.18	4.59	60.83	27.40	6.23	14.08

Los resultados obtenidos nos muestran que la adición del reactivo dispersante tiene un efecto positivo sobre la respuesta metalúrgica sobre el mineral evaluado. Las recuperaciones se incrementan de 64% a 72% de cobre, así mismo las leyes de concentrado rougher se incrementan de 2.78% a 3.5% de cobre. Cabe indicar que se determinó un óptimo entre 10-20 gr/ton de dosificación de dispersante; donde se maximiza la recuperación de cobre, mayores dosificaciones tienen un efecto inverso con la recuperación de cobre, es decir a mayor dosis de dispersante la recuperación disminuye.

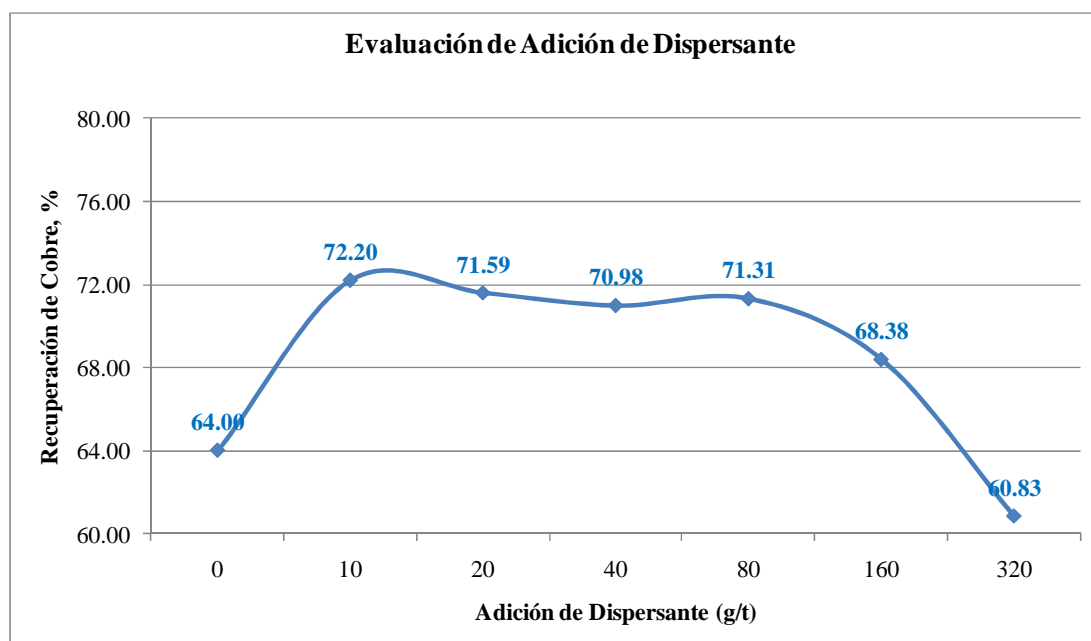


Figura 3.8 Evaluación de la adición de dispersante

Habiéndose establecido el efecto positivo de la adición de reactivo dispersante, se determinó establecer como condición estándar la dosificación de 10 gr/ton para las etapas posteriores de evaluación.

C) Efecto del Aceite no Polar

Una tercera etapa de flotación consistió en evaluar el efecto de la adición de aceite no polar en la floculación hidrofóbica de minerales finos. Para la evaluación de Aceite no Polar se consideraron 3 reactivos (Biodiesel, Kerosene, Diesel-2), los cuales se dosificaron al acondicionamiento en diferentes cantidades. Las pruebas realizadas por triplicado se resumen en la Tabla 3.13 y Figura 3.9.

Tabla 3.13 Efecto de la adición de aceite no polar.

PRUEBA	CONDICIONES		CONC. ROUGHER		RELAVE ROUGHER		RECUP. ROUGHER		Ratio	Ratio
	Dispersante	Hidrocarburo	% Cu	% Fe	% Cu	% Fe	% Cu	% Fe	Fe/Cu	Conc.
STD	0	0	2.78	16.45	0.16	4.40	64.00	27.20	5.92	10.99
BIO-1	10	10	2.96	17.19	0.14	4.47	69.40	28.58	5.81	10.53
BIO-2	10	20	3.48	19.08	0.13	4.39	70.51	27.82	5.48	12.35
BIO-3	10	40	2.17	13.68	0.16	4.46	64.80	28.80	6.30	8.55
KER-1	10	10	3.23	17.55	0.14	4.37	69.21	27.81	5.43	11.36
KER-2	10	20	3.21	18.42	0.12	4.32	73.13	30.39	5.74	10.75
KER-3	10	30	2.72	16.16	0.14	4.48	67.01	27.43	5.94	10.53
KER-4	10	40	1.95	12.77	0.19	4.62	56.68	26.44	6.55	8.70
DIE-1	10	10	2.47	15.05	0.18	3.38	57.46	30.49	6.09	11.11
DIE-2	10	20	2.69	15.89	0.12	4.30	72.09	29.92	5.91	9.71
DIE-3	10	30	3.02	17.04	0.12	4.23	73.22	29.71	5.64	10.53

Los Resultados de la Tabla 3.13 y Figura 3.9 muestran que es factible incrementar la recuperación en función de la dosis de aceite no polar. Se puede observar que el punto óptimo de adición está entorno de los 20-30 gr/ton tanto para el kerosene como para el Diesel 2. En el caso del biodiesel los resultados no fueron concluyentes.

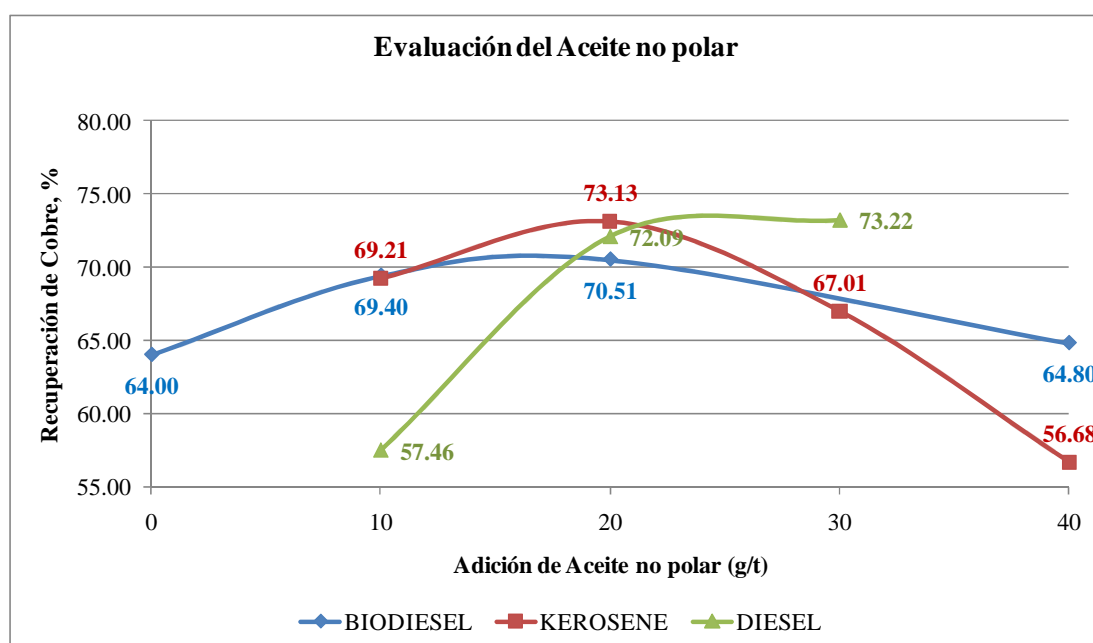


Figura 3.9 Evaluación de Aceite no Polar

CONCLUSIONES

El desarrollo del presente informe de suficiencia referente al procesamiento de mineral arcilloso en Cerro Corona, permite señalar las siguientes conclusiones y recomendaciones.

1. Para el procesamiento de mineral de cobre con alto contenido de arcillas en Cerro Corona, se debe trabajar en un rango de pH entre 9.5 a 10.0 con la finalidad de evitar incrementar la viscosidad de la pulpa de mineral arcilloso y poder incrementar las recuperaciones de cobre en la etapa rougher.
2. También quedó demostrado que para el procesamiento de mineral de cobre con alto contenido de arcillas en Cerro Corona, se debe trabajar a un porcentaje de sólidos alrededor del 30%, ya que a un porcentaje más alto, disminuyen las recuperaciones obtenidas en flotación. Asimismo, si reducimos mucho el porcentaje de sólidos es perjudicial operacionalmente ya que el tonelaje de procesamiento se vería afectado.

3. El uso de deslamado por hidrociclones para el procesamiento de mineral arcilloso queda descartado debido a los resultados negativos por excesiva pérdidas de finos de cobre y oro, los cuales quedarían fuera del circuito de flotación. Una alternativa es recircular este producto pero demandaría inversión en infraestructura.
4. Si bien es cierto que las pruebas de flotación rougher tras las pruebas de deslamado, muestran buenas recuperaciones tanto para el cobre como para el oro, la pérdida de finos mostrada en el deslamado es perjudicial para la recuperación global.
5. Este incremento en la recuperación en la flotación no contrarresta la gran pérdida de finos que es proporcional al mayor porcentaje de deslamado del mineral arcilloso. Por ende el proceso de deslamado en complemento a la flotación muestran resultados negativos.
6. Una de las razones por la gran pérdidas de finos en el deslamado puede atribuirse a la baja eficiencia del ciclón calculada para estas pruebas, lo cual ocasiona un arrastre de gruesos en el rebose del hidrociclón y por ende una pérdida en las recuperaciones.
7. La implementación de la tecnología de Floc-Flotación es totalmente factible de implementar en el mineral de Gold Fields La Cima. Los resultados obtenidos muestran que permite mejorar la recuperación de partículas finas en forma de

flóculos y por ende mejorar la recuperación global del mineral de cobre, la cual muestra aumentos en aproximadamente 6-8%.

8. Se ha determinado que la variable que tiene mayor incidencia en el proceso de Floc-Flotación para el mineral de Cerro Corona es la aplicación del agente dispersante acrílico, por lo que se recomienda su evaluación a nivel industrial, complementado con el incremento de la velocidad de flotación y uso de un aceite no polar, en este caso Diesel-2 o Kerosene.
9. Se iniciarán las pruebas con diversos dispersantes a fin de establecer el mejor reactivo costo-beneficio para el procesamiento del mineral arcilloso de Cerro Corona.

BIBLIOGRAFÍA

1. S. SONG, A. LOPEZ-VALDIVIESO, J. L. REYES-BAHENA, C. LARA-VALENZUELA. Flocc Flotation of Galena and Sphalerite Fines – *Minerals Engineering*, Vol. 14, No. 1, pp. 87-98, 2001, Elsevier Science Ltd.
2. S. SONG, A. LOPEZ-VALDIVIESO. Hydrophobic Flocculation Flotation for Beneficiating Fine Coal and Minerals – *Separation Science and Technology*, 33(8), pp. 1195-1212, 1998.
3. JAILTON J. DA ROSA, JORGE RUBIO. The FF (flocculation–flotation) Process – *Minerals Engineering*, Vol. 18, pp. 701–707, 2005, Elsevier Science Ltd.
4. S. ATA, P.D. YATES. Stability and Flotation Behavior of Silica in the Presence of a Non-Polar Oil and Cationic Surfactant – *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 277, pp. 1–7, 2006, Elsevier Science Ltd.

5. S. SONG, A. LOPEZ-VALDIVIESO, J. REYES-BAHENA, H. BERMEJO-PEREZ, O. TRASS. Hydrophobic Flocculation of Galena Fines in Aqueous Suspensions – *Journal of Colloid and Interface Science*, 227, pp. 272–281, 2000, Ideal Academic Press.
6. J. RUBIO. Unconventional Flocculation and Flotation Techniques – *Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil*, 99/512, 90035-190.
7. S. SONG, A. LOPEZ-VALDIVIESO, J. REYES-BAHENA. Hydrophobic Flocculation Applied to Fine Mineral and Coal Processing – *XXIII Convención AIMMGM '99*, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
8. S.C. LU, S. X. SONG, Z. F. DAI. Dispersion of Fine Mineral Particles in Water – *Advanced Powder Technology*, Vol. 3, No. 2, pp. 89-96, 1992, VSP and Society of Powder Technology.
9. S. M. BULATOVIC. Chemistry, Theory and Practice: Flotation of Sulfide Ores – *Elsevier Science & Technology Books*, ISBN: 0444530290, Abril 2007.
10. C. LAOYZA, E. PORNILLOS. Deslamado de mineral de cabeza – *Informe Final*, Proyecto N° 099-4154020, Golder Associates.

ANEXOS

Anexo N° 01: Empresas que aplican Floc-Flotación

1. Mina Naica en Chihuahua, México. Flotación de galena y esfalerita.
2. Mina Camdag en Turquía. Procesamiento de óxidos de hierro.
3. Mina Tilden Mining Company en Cleveland, Ohio, USA. Procesamiento de mineral de hierro.
4. Mina Shenmu en Shannxi, China. Mina de carbón bituminoso.