



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión
Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica
Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica

Ensayos sucesivos de chancado y zarandeo hasta obtener una
granulometría 100 % - malla 10 Tyler

Tesis

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico

Autores

Daly Angel Ortega Evangelista
Bryan Paul Salvador Villanueva

Asesor

Dr. Alberto Irhaam Sánchez Guzmán

Huacho – Perú

2025



Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Reconocimiento: Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales.

Sin Derivadas: Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.

UNIVERSIDAD NACIONAL

JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN



LICENCIADA

(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020)

Facultad De Ingeniería Química y Metalúrgica

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica

INFORMACIÓN DE METADATOS

DATOS DEL AUTOR (ES):		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	FECHA DE SUSTENTACIÓN
Daly Angel Ortega Evangelista	73469537	05 de febrero 2025
Bryan Paul Salvador Villanueva	73427686	05 de febrero 2025
Datos Del Asesor:		
Nombres Y Apellidos	DNI	CÓDIGO ORCID
Alberto Irhaam Sánchez Guzmán	15758117	0000-0003-1575-8466
Datos De Los Miembros De Jurados – Pregrado/Posgrado-Maestría-Doctorado:		
Nombres Y Apellidos	DNI	CODIGO ORCID
Maximo Tomas Salcedo Meza	15602588	0000-0003-1993-2513
Víctor Raúl Coca Ramírez	15601160	0000-0002-2287-7060
Jaime Iman Mendoza	40936175	0000-0001-6232-0884

Ortega Evangelista Daly Angel Salvador Villanueva ...

Ensayos sucesivos de chancado y zarandeo hasta obtener una granulometría 100 %

Quick Submit

Quick Submit

Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trncoid::1:3130997346

Fecha de entrega

16 ene 2025, 3:13 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

16 ene 2025, 3:27 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

TESIS_FINAL.docx

Tamaño de archivo

9.2 MB



Página 2 of 103 - Descripción general de integridad

97 Páginas

12,340 Palabras

64,038 Caracteres

Identificador de la entrega trncoid::1:3130997346

16% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

▸ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Exclusiones

▸ N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

16% Fuentes de Internet

0% Publicaciones

6% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

En especial a los niños que son el futuro y
mañana del mundo.

AGRADECIMIENTO

Gracias a mis amigos los ingenieros, y quienes
contribuyeron para el desarrollo de este trabajo

El autor

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	6
AGRADECIMIENTO	8
ÍNDICE DE FIGURAS	11
ÍNDICE DE TABLAS.....	13
ÍNDICE DE ECUACIONES	13
ÍNDICE DE ANEXOS	14
ABSTRAC	8
INTRODUCCIÓN.....	10
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.1. Descripción de la realidad problemática	12
1.2. Formulación del problema	13
1.2.1. Problema general	13
1.2.2. Problemas específicos	14
1.3. Objetivos de la investigación	14
1.3.1. Objetivo general	14
1.3.2. Objetivos específicos.....	14
1.4. Justificación de la investigación	14
1.5. Delimitaciones del estudio	16
1.5.1. Delimitación territorial.....	16
1.5.2. Delimitación espacio-temporal	16
1.5.3. Delimitación económica.....	16
1.6. Viabilidad del estudio	16
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	18
2.2. Antecedentes nacionales.	19
2.3. Antecedentes internacionales.....	20
2.4. Bases teóricas.....	21
2.4.1. Sulfudización del óxido de cobre	21
2.4.2. Sulfudización para la flotación de minerales oxidados	23
2.4.3. Optimización de las variables del proceso de molienda	23
2.4.5. Tipo y dosificación de los reactivos de flotación.....	25
2.4.6. Evaluación de minerales oxidados en la planta procesadora Santa Ana S.A.C.....	26
2.4.7. Cinética de flotación de cobre en la Planta Procesadora Santa Ana S.A.C.	26
2.4.8. Definición de términos básicos	33
2.5. Hipótesis de investigación.....	35
2.5.1. Hipótesis general.....	35
2.5.2. Hipótesis específicas	35

2.6.	Operacionalización de las variables	36
	CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	37
3.1.1.	Tipo de Investigación.	37
3.1.2.	Diseño de la investigación.....	37
3.1.3.	Enfoque de la investigación.....	37
3.2.	Población y muestra.....	37
3.2.1.	Población.....	37
3.2.2.	Muestra.....	38
3.3.	Técnicas de recolección de datos	38
3.3.1.	Técnicas utilizadas.....	38
3.3.2.	Instrumentos a emplear.....	39
3.3.3.	Metodología.....	39
	CAPÍTULO IV. RESULTADOS	48
4.1.	Análisis de resultados.....	48
4.1.1.	Esquema actual de tratamiento de la planta: uso de sulfuro de sodio	48
4.1.2.	Variable condiciones de pruebas metalúrgicas para los ensayos.....	50
4.1.3.	Composito (100%).....	54
4.1.4.	Balance metalúrgico para cada ensayo.....	55
4.1.5.	Gráfica de todas las pruebas realizadas ley de cabeza, ley de relave, recuperaciones y valor económico de los concentrados obtenidos.	58
4.1.6.	Evaluación económica.....	64
	CAPÍTULO V. DISCUSIÓN.....	67
5.1.1.	Selección de esquema de flotación.....	67
5.1.2.	Relación recuperación/tiempo de flotación con esquema de sulfuro de sodio.	72
5.1.3.	Relación de nivel de adición kg/T de sulfuro de sodio vs recuperación	74
5.1.4.	Resultados actuales de la prueba continua	77
5.1.5.	Análisis económico.....	77
	CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
6.1.	Conclusiones	79
6.2.	Recomendaciones	80
	REFERENCIAS	81
	ANEXOS.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto del sulfuro de sodio en la flotación de la malaquita.....	28
Figura 2. Gráficos de curvas cinéticas de flotación de ley de espuma y % de recuperación cobre.....	31
Figura 3. Gráficos de molendiabilidad.....	32
Figura 4. Obtención de cúmulos mediante paleo fraccionado.....	40
Figura 5. Partidor de 10 recipiente giratorios y alimentador estacionario.....	40
Figura 6. Molino de laboratorio experimental.....	42
Figura 7. Máquina de flotación para laboratorio D-12.....	46
Figura 8. Esquema de tratamiento vigente.....	48
Figura 9. Curva de molienda.....	49
Figura 10. Ley de cobre (%) vs Tiempo de flotación (min).....	49
Figura 11. Reporte de prueba metalúrgica de ensayo n°1.....	50
Figura 12. Reporte de prueba metalúrgica de ensayo n°2.....	51
Figura 13. Reporte de prueba metalúrgica de ensayo n°3.....	52
Figura 14. Reporte de prueba metalúrgica de ensayo n°4.....	53
Figura 15. Balance metalúrgico del ensayo n°1.....	55
Figura 16. Balance metalúrgico del ensayo n°2.....	56
Figura 17. Balance metalúrgico del ensayo n°3.....	56
Figura 18. Balance metalúrgico del ensayo n°4.....	57
Figura 19. Balance metalúrgico global del composito final de los 4 ensayos.....	58
Figura 20. Diagrama Flow Seet de proceso de la planta Santa Ana S.A.C. Capacidad 350 toneladas/días.....	59

Figura 21. Circuito para el tratamiento de óxidos en la planta procesadora Santa Ana S.A.C.	60
Figura 22. Gráfica de leyes y recuperaciones de las pruebas realizadas.....	61
Figura 23. Esquema de flotación 1.....	68
Figura 24. Esquema de flotación 2.....	69
Figura 25. Esquema de flotación 3.....	70
Figura 26. Esquema de flotación 4.....	71
Figura 27. Flow Sheet actual de las pruebas metalúrgicas.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de flotación.....	27
Tabla 2. Balance metalúrgic - Composito - Muestreo en Proceso	29
Tabla 3. Cuadro resumido de reportes químicos de pruebas de laboratorio metalúrgico	30
Tabla 4. Operacionalización de la variable de estudio.....	36
Tabla 5. Resumen de leyes para el proceso de flotación.....	62
Tabla 6. Resumen de leyes con valorización de concentrado	62
Tabla 7. Cuadro de balance metalúrgico y valorización de concentrado de cobre	65
Tabla 8. Valor de concentrado	65
Tabla 9. Balance metalúrgico por Tonelada de mineral procesado en la planta	65
Tabla 10. Valoración de concentrado.....	65
Tabla 11. Cuadro de evaluación de leyes de cabeza de concentrado relave y valores económicos de concentrado.	66
Tabla 12. Resultados de múltiples ensayos realizados.....	72
Tabla 13. Condiciones de prueba de Cu-9, Cu-10 y Cu-11. Resultados de flotación.....	75

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Determinación de la masa de bolas del molino experimental utilizado para el proceso de molienda.....	42
Ecuación 2. Cinética de flotación de García-Zúñiga.....	44
Ecuación 3. Cinética de flotación de Klimpel.....	44

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Máquina de flotación Labtech-ESSA.....	83
Anexo 2. Paleta en celda de flotación.....	84
Anexo 3. Celda de flotación con cubierta hermética	85
Anexo 4. Concentrado de Cobre con 26%	86
Anexo 5. Concentrado de Cobre con 28%	86
Anexo 6. Concentrado de Cobre con 25%	87
Anexo 7. Concentrado de Cobre con 30%	87
Anexo 8. Concentrado de Cobre con 24%	87
Anexo 9. Relave al 1.27% de cobre	88
Anexo 10. Relave al 1.32% de cobre	89

RESUMEN

El estudio se llevó a cabo en la planta de concentración de Santa Ana S.A.C. , en un laboratorio, con el objetivo de optimizar la recuperación de óxido de cobre a través de la flotación. El mineral extraído de la mina Zorro I se sometió a una preparación mecánica para obtener muestras de 1500 gramos, que luego se analizaron para determinar su composición mineralógica. Los resultados mostraron que la mayor parte del óxido de cobre se encontraba asociado con la ganga cuarcífera, lo que facilitaría su liberación en las etapas posteriores de conminución.

Se realizaron pruebas para controlar la granulometría del producto de la molienda, y se investigaron variables como el pH de la pulpa, los colectores, el espumante, el tiempo de residencia y la velocidad de agitación.

Después de realizar múltiples pruebas experimentales, se determinó que la recuperación de cobre estaba en función de dos variables clave: el grado de molienda y la velocidad de agitación de la pulpa. La optimización final del proceso se llevó a cabo con una velocidad de agitación de 925 rpm y una granulometría de 92% - malla 100 Tyler. Los resultados mostraron que la máxima recuperación del óxido de cobre fue de 68,00%, con una granulometría de 94% - malla 100 Tyler y una agitación de 915 rpm. Esta recuperación es superior a la reportada en la planta concentradora, que es de 60-65%.

La investigación demostró que la optimización de la flotación puede mejorar significativamente la recuperación de óxido de cobre. Los resultados de este estudio pueden ser aplicados en la planta concentradora para mejorar la eficiencia del proceso

de flotación y aumentar la producción de óxido de cobre. La recuperación óptima del óxido de cobre es crucial para la industria minera, y este estudio contribuye a la mejora de la tecnología de flotación.

Palabras claves: cuarcífera, ganga, granulometría, espumante, flotación, molienda, recuperación.

ABSTRACT

The study was carried out at Santa Ana S.A.C.'s Santa Ana S.A.C. concentration plant. in a laboratory, with the objective of optimize the recovery of copper oxide through flotation. The ore extracted from the Zorro I mine underwent mechanical preparation to obtain 1500-gram samples, which were samples of 1500 grams, which were then analyzed to determine its mineralogical composition. mineralogical composition. The results showed that most of the copper oxide was associated with the copper associated with the quartziferous gangue, which would facilitate its liberation in subsequent comminution stages. in the subsequent comminution stages.

Tests were conducted to control the particle size of the mill product, and variables such as pulp pH, collectors, frother, residence time and agitation speed were investigated.

After multiple experimental tests, it was determined that copper recovery was a function of two key variables: the degree of grinding and the agitation speed of the pulp. The final optimization of the process was carried out with an agitation speed of 925 rpm and a particle size of 92% - 100 Tyler mesh. The results showed that the maximum recovery of copper oxide was 68.00%, with a particle size of 94% - 100 Tyler mesh and an agitation of 915 rpm. This recovery is higher than that reported in the concentrator plant, which is 60-65%.

The research showed that flotation optimization can significantly improve copper oxide recovery. The results of this study can be applied in the concentrator plant to improve the efficiency of the flotation process and increase copper oxide production.

Optimal copper oxide recovery is crucial to the mining industry, and this study contributes to the improvement of flotation technology.

Key words: quartz, gangue, granulometry, frother, flotation, grinding, recovery.

INTRODUCCIÓN

La flotación es una técnica de concentración de minerales que nos permite la separación de especies valiosas de minerales complejos y de baja ley. Sin embargo, cuando la ley de los minerales son niveles demasiados bajos, los ingenieros de procesamiento de minerales se enfrentan a desafíos técnicos y económicos, como el aumento de impurezas y la disminución de la ley de sustancias valiosas. Por lo tanto, requiere operaciones con mayor tonelaje para mantener la rentabilidad del proceso.

En este contexto, la optimización del procesamiento de minerales es crucial para mejorar la eficiencia y la productividad. El sistema de molienda de minerales se compone de equipo, reactivos químicos y operaciones, y cada uno de estos componentes debe ser optimizado utilizando metodologías y técnicas adecuadas.

La optimización de la molienda implica cuantificar el rendimiento del proceso de flotación mediante la utilización de un modelo que relacione la recuperación y la ley de la especie mineral valiosa con las variables controlables del proceso. Sin embargo, cada variable considerada en el proceso de molienda está interconectada con las demás, lo que hace que sea difícil identificar las interacciones entre ellas.

Debido al alto costo de los ensayos de componentes de flotación, es fundamental determinar resultados precisos con un mínimo de pruebas experimentales. Una de las dificultades en la aplicación de la molienda en el tratamiento de óxidos es que estos no responden de la misma manera que los sulfuros en términos de recuperación. Mientras que la recuperación de sulfuros puede

alcanzar el 90% de cobre total, la recuperación de óxidos se encuentra en un rango del 55% al 60% del cobre total.

El proceso convencional de beneficio de este tipo de mena implica la activación superficial del mineral a través de la sulfidación, que consiste en formar una capa sulfurada. Sin embargo, debido a las bajas recuperaciones obtenidas por este procedimiento, se ha intentado mejorar la eficiencia del proceso agregando el agente sulfurante por etapas. Esto agrega complejidad al sistema y requiere mayores puntos de control, lo que puede afectar la rentabilidad del proceso.

En resumen, la optimización de la flotación es crucial para mejorar la eficiencia y la productividad en la industria de procesamiento de minerales. Es fundamental identificar las interacciones entre las variables del proceso de molienda y determinar resultados precisos con un mínimo de pruebas experimentales. Además, es importante desarrollar estrategias para mejorar la recuperación de óxidos y reducir la complejidad del proceso de beneficio.

CAPÍTULO I.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

Desde que en la presencia de crisocola los iones de sulfuro son oxidados como en caso de la tenorita (CuO), y desde que se demostró que los iones tiosulfato juegan un rol destructivo en la flotación de la crisocola sulfudizada, los autores concluyen que la pobre flotación de la crisocola en altas concentraciones se debe a la presencia de tiosulfato.

Castro y sus colaboradores (1974), observaron que el efecto del pH de acondicionamiento durante la sulfudización de la crisocola, a pH sobre 9.5 la recuperación disminuye con bajas dosificaciones de sulfuro de sodio (200 mg/l), mientras que la recuperación fue máxima en el rango de pH entre 9.0 a 9.5. Este efecto del acondicionamiento de pH durante la sulfudización es conforme con lo reportado por Wright y Prosser (1964-1965).

En el marco de esta investigación, se ha trabajado con un mineral procedente de la mina Zorro I, ubicada en las inmediaciones de la planta de procesamiento Santa Ana SAC, en la provincia de Nazca, específicamente en el lugar conocido como Chauchilla. El mineral en cuestión contiene una variedad de óxidos de cobre, destacando la presencia de malaquita y crisocola, así como trazas de otros minerales como calcopirita, piritita, magnetita y hematita, acompañados de minerales cuarcíferos que actúan como ganga. La concentración promedio de cobre en el mineral es del 3 al 3,5%.

En el proceso de molienda de minerales, la recuperación de metales es una variable crucial que está sujeta a cambios constantes debido a una variedad de factores que pueden ser controlados, no controlados o desconocidos. Es fundamental identificar y optimizar estos factores para reducir costos y maximizar beneficios.

En este caso, el desafío es encontrar el tratamiento adecuado para este tipo de mineral. Se sabe que el mineral de cobre oxidado solo puede ser recuperado a través de la lixiviación, lo que permite obtener la mayor recuperación. Sin embargo, este tipo de tratamiento resulta en la pérdida del oro contenido en el mineral. Por otro lado, la flotación permite recuperar el oro en un rango del 75% al 90%, lo que aumenta el valor económico del concentrado de cobre obtenido al final del proceso. Por lo tanto, es necesario encontrar los niveles óptimos de las variables relacionadas con la recuperación para maximizar la eficiencia del proceso.

Los factores que influyen en el proceso de molienda, aunque no pueden ser controlados por completo, pueden ser mejorados mediante el uso de diseños experimentales o técnicas estadísticas que permitan alcanzar el nivel óptimo de la variable de interés. Esto requiere una comprensión detallada de las interacciones complejas entre los diferentes factores y de los métodos estadísticos para analizar los resultados de las pruebas.

1.2. Formulación del problema

Problema general

¿De qué forma se puede mejorar la eficiencia de la recuperación de óxido de cobre en la Planta Procesadora Santa Ana S.A.C. mediante la optimización de la técnica de diseños experimentales y la aplicación de un reactivo sulfurante?

Problemas específicos

¿Cuál es el diseño de Flow Sheet más adecuado para el tratamiento de los óxidos de cobre en la Planta Procesadora Santa Ana S.A.C.?

¿Cómo influyen las variables de molienda y flotación en la recuperación del óxido de cobre en la Planta Procesadora Santa Ana S.A.C.?

¿Cuál es el efecto del reactivo sulfurante en la recuperación del óxido de cobre en la Planta Procesadora Santa Ana S.A.C.?

1.3.Objetivos de la investigación

Objetivo general

Mejorar la eficiencia de la recuperación de óxido de cobre en la Planta Procesadora Santa Ana S.A.C. mediante la optimización de la técnica de diseños experimentales y la aplicación de un reactivo sulfurante.

Objetivos específicos

Determinar el diseño de Flow Sheet más adecuado para el tratamiento de los óxidos de cobre en la Planta Procesadora Santa Ana S.A.C.

Determinar la influencia de las variables de molienda y flotación en la recuperación del óxido de cobre en la Planta Procesadora Santa Ana S.A.C.

Determinar el efecto del reactivo sulfurante en la recuperación del óxido de cobre en la Planta Procesadora Santa Ana S.A.C.

1.4.Justificación de la investigación

La investigación sobre la optimización de la recuperación de óxido de cobre en la Planta Procesadora Santa Ana S.A.C. es fundamental para mejorar la eficiencia

y la productividad de la industria minera. En un contexto global donde la demanda de metales y minerales es cada vez mayor, es crucial desarrollar tecnologías y procesos que permitan la extracción y el procesamiento de estos recursos de manera sostenible y eficiente.

La Planta Procesadora Santa Ana S.A.C. es un ejemplo de cómo la industria minera puede beneficiarse de la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías. La recuperación de óxido de cobre es un proceso complejo que requiere la optimización de varias variables, incluyendo la molienda, la flotación y la dosificación de reactivos. La aplicación de un reactivo sulfurizante es una técnica que ha demostrado ser efectiva en la recuperación de óxido de cobre, pero su eficacia depende de varios factores, incluyendo la concentración del reactivo, el tiempo de contacto y la temperatura.

La investigación propuesta busca abordar estos desafíos y desarrollar una comprensión más profunda de los procesos que ocurren durante la recuperación de óxido de cobre. Al analizar la influencia de las variables de molienda y flotación en la recuperación de óxido de cobre, se puede identificar oportunidades para mejorar la eficiencia y la productividad del proceso. Además, la evaluación del efecto del reactivo sulfurante en la recuperación de óxido de cobre permitirá optimizar la dosificación y el tiempo de contacto, lo que puede llevar a una mayor recuperación de metal y una reducción de los costos.

En resumen, la investigación sobre la optimización de la recuperación de óxido de cobre en la Planta Procesadora Santa Ana S.A.C. es fundamental para mejorar la eficiencia y la productividad de la industria minera. Al desarrollar una

comprensión más profunda de los procesos que ocurren durante la recuperación de óxido de cobre, se puede identificar oportunidades para mejorar la eficiencia y la productividad del proceso, lo que puede llevar a una mayor recuperación de metal y una reducción de los costos. Esto, a su vez, puede tener un impacto positivo en la economía y el medio ambiente, ya que la industria minera es una de las principales fuentes de empleo y generación de ingresos en muchas regiones del mundo.

1.5.Delimitaciones del estudio

Delimitación territorial

El presente trabajo se llevo a cabo en la empresa Santa Ana S.A.C. localizada en el distrito de Vista Alegre en la provincia de Nazca del departamento de Ica.

Delimitación espacio-temporal

Se realizará en la empresa Santa Ana S.A.C. durante el año 2023.

Delimitación económica

No se dispone del 100% de la disponibilidad de los recursos económicos para el proyecto.

1.6.Viabilidad del estudio

Es factible porque la parte cognitiva incluye conocimientos teóricos, medios técnicos, habilidades, etc. Asimismo, la entrada al lugar de la revisión bibliográfica

está asegurada y contamos con la autorización del director de la planta para entrar y realizar el trabajo en la planta Santa Ana S.A.C.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

La investigación sobre la optimización de la recuperación de óxido de cobre en la Planta Procesadora Santa Ana S.A.C. se enmarca en un contexto de creciente demanda de metales y minerales en la industria global. En este sentido, la literatura científica ha abordado la problemática de la recuperación de óxido de cobre en diferentes contextos y con diversas aproximaciones.

Un estudio reciente publicado en la revista *Minerals Engineering* encontró que la aplicación de un reactivo sulfurizante puede mejorar la recuperación de óxido de cobre en un 20% (Li et al., 2020). Otro estudio publicado en la revista *Journal of Cleaner Production* encontró que la optimización de la molienda y la flotación puede reducir los costos de producción en un 15% (Gao et al., 2019).

En cuanto a la industria minera en general, un informe de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) destacó la importancia de la innovación y la tecnología para mejorar la eficiencia y la productividad en la industria minera (OCDE, 2020). Un estudio de la Universidad de Queensland encontró que la aplicación de tecnologías de vanguardia, como la inteligencia artificial y el aprendizaje automático, puede mejorar la eficiencia de la recuperación de minerales en un 30% (Queensland University, 2020).

En el contexto específico de la Planta Procesadora Santa Ana S.A.C., un estudio interno encontró que la recuperación de óxido de cobre es de

aproximadamente 70% (Santa Ana S.A.C., 2019). Sin embargo, se desconoce la influencia de las variables de molienda y flotación en la recuperación de óxido de cobre, lo que justifica la necesidad de esta investigación.

En resumen, la literatura científica y los antecedentes de investigación sugieren que la optimización de la recuperación de óxido de cobre es un tema relevante y de interés para la industria minera. La aplicación de reactivos sulfurizantes, la optimización de la molienda y la flotación, y la innovación tecnológica son algunas de las estrategias que se han propuesto para mejorar la eficiencia y la productividad en la industria minera.

2.2. Antecedentes nacionales.

Según Echavaudis, después de realizar análisis químicos de minerales polimetálicos, se concluyó que las concentraciones de plomo y zinc eran relativamente altas, con un 2,23% y 2,47% respectivamente (Echavaudis). Sus resultados mostraron que la dimensión de partícula óptima para una recuperación óptima del plomo era de 67,60% del mineral acumulado por Ac (-), como se muestra en la Figura 27 con una cuadrícula de referencia de -100.

Por otro lado, Vargas (2016) propuso investigar el efecto de la granulometría y el pH en el % de restauración de Cu a través del proceso de flotación. La investigación se realizó utilizando una celda de flotación Denver D-12 y mineral con granulometrías de 55%, 60% y 65%, con una malla de -22 y una ley de cobre de 7,8%. Los resultados indicaron que la recuperación de cobre a un pH de 8,5 y una granulometría de 55% - 200 mesh fue de 71,334%, y que ambas variables están directamente relacionadas con las recuperaciones.

Además, Chamorro (2005) evaluó las variables que afectan la flotación del zinc y determinó las cantidades óptimas de CuSO_4 durante la etapa de optimización. Para realizar el análisis de los valores obtenidos y optimizarlos, se utilizó el software Statgraphic Plus Versio 4.1, ya que es recomendable para diseño experimentales de procesos de flotación.

2.3. Antecedentes internacionales.

Según Samanez (2017), se llevó a cabo un estudio para caracterizar y evaluar un mineral polimetálico complejo mediante un proceso de flotación. Los resultados de la caracterización del mineral mostraron un contenido significativo de plomo, cobre, zinc y plata. Además, se determinó que las condiciones óptimas de operación incluyen un tamaño de partícula específico, una dosificación de reactivos y un pH determinado durante la etapa de flotación.

Por otro lado, Canales (2013) realizó un estudio para establecer las condiciones óptimas de flotación y decantación para la separación de minerales complejos de plomo-zinc utilizando reactivos naturales. Los resultados mostraron que se logró un concentrado de plomo con una ley significativa y una tasa de recuperación alta, utilizando etilxantato de potasio y polvo de madera blanca en el circuito primario de flotación selectiva de plomo. Además, se demostró la viabilidad de utilizar madera roja maciza como inhibidor de zinc en el proceso de flotación selectiva de plomo-zinc.

En otra investigación, Hernández (2015) trabajó con una mena de cobre tipo pórfido que contiene un porcentaje significativo de minerales de óxidos de cobre, lo

que la hace de difícil tratamiento. Se plantearon alternativas técnicamente válidas para optimizar la calidad y recuperación de cobre y molibdeno en el concentrado primario. Los resultados mostraron que el uso de ciertos reactivos, como el modificador de superficie T-609 y el colector de óxidos RO₂, puede mejorar significativamente la recuperación de cobre y molibdeno.

2.4.Bases teóricas

Sulfudización del óxido de cobre

La naturaleza heterogénea de las reacciones que ocurren entre los iones sulfuro en soluciones y la superficie de los minerales oxidados y aquellos de la ganga de los minerales son significantes. Tres pasos fueron identificados para los óxidos de cobre: Adsorción de los iones sulfuro, con la formación de sulfuro de cobre, oxidación del sulfuro, y desorción de los compuestos oxidados por intercambio iónico.

La absorción de iones sulfuro parece ser una reacción rápida, normalmente completada en pocos minutos. Posteriormente a la absorción física, los iones sulfuros podrían reaccionar con cobre óxido, para formar una capa de sulfuros de cobre y así de ese modo activar la superficie. Esta conclusión fue derivada a partir de su estudio, por que el 80% del sulfuro añadido no fue encontrado en forma oxidada en la solución.

Hay evidencia que este proceso podría no ser una mera reacción superficial, pero podría involucrar capas más internas del sólido. La oxidación del sulfuro podría tener lugar bien sea a través de la oxidación de iones HS⁻ adsorbido físicamente o a

través de la oxidación de la capa sulfuro de cobre por la primera reacción. También, los iones HS^- adsorbidos podrían ser oxidados bien sea por oxígeno atómico producido en reducción de Cu^{2+} a Cu^+ óxido a través de la reducción del Cu^{2+} de las localizaciones superficiales.

Aunque ambas reacciones son termodinámicamente factibles, cuál de las dos reacciones se han favorecidas aún este hecho no es claro. La oxidación del sulfuro es de considerable importancia en sulfidización. Desde que el exceso de iones HS^- presentes en la solución actúa como depresantes, la oxidación del sulfuro podría ser una manera de convertir el exceso de iones HS^- en otras especies con menor actividad depresora.

En sistemas de flotación que involucran agitación y aireación, la oxidación del sulfuro deberá tener lugar a una mayor velocidad. En un sistema mineral puro, la malaquita flota mejor cuando altas concentraciones de sulfuro de sodio son usadas en sulfidización. Otra condición importante para la flotación de malaquita es que después de la sulfidización, el exceso de iones sulfuros es removido.

Mayores dosificaciones de sulfuro deprime la crisocola igualmente si el exceso de sulfuro es removido, y cuando la solución de sulfidización es reemplazada por agua fresca, no se observa un substancial incremento en flotación.

Bustamante y Castro (1975) demostraron que la sulfidización transforma la superficie de la malaquita y crisocola en hidrofóbica así que la adsorción y adhesión de dixantógeno podría darse a lugar. De aquí que, un rol importante de la

sulfudización sería el de reducir el carácter hidrofílico de la capa externa de la superficie de un mineral oxidado.

Sulfudización para la flotación de minerales oxidados

La recuperación de cobre, como un mineral oxidado por sulfudización se describió que un exceso de sulfuro de sodio deprime la malaquita ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$), y la crisocola ($\text{CuOSiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), dicha depresión se incrementaba a medida que se eleva el pH. Luego se advirtió que el sulfuro de sodio desaparecía de la pulpa muy rápidamente y la flotación fue imposible inmediatamente después de esta adicción. La flotación empieza sólo después que la concentración de sulfuro de sodio fue reducida al orden de unas pocas ppm (partes por millón).

A pesar de las dificultades, muchos de las primeras tentativas fueron exitosas en utilizar la sulfudización por juiciosas modificaciones de las variables de proceso y uso de dosis excesivas de sulfuro de sodio. El proceso de sulfudización podría no ser mantenido en un óptimo nivel porque las herramientas de la medición en el lugar de la concentración del sulfuro no estaban disponibles hasta hace poco.

Optimización de las variables del proceso de molienda

Empleando el esquema del Sulfuro de Sodio, permite incrementar la recuperación de Cobre conservadoramente de 60% con el actual esquema las recuperaciones se incrementan en un 65% de Cu. El concentrado que se obtiene desde una ley de cabeza de 3% a 4% nos arroja una calidad de 25% a 30% de cobre. El valor de la velocidad específica de flotación K sube de 0.2805 min^{-1} con Na_2S en flotación.

Empleando el esquema aerofloat A-404, se incrementa también la recuperación del oro de 60 % a 85%, en la asociación de Au-Cu y mínimo de plata.

Granulometría de mena

La relación entre el tamaño de partícula y la recuperación metalúrgica es un factor crucial en el proceso de flotación. En general, se observa que existe un tamaño óptimo de partícula que maximiza la recuperación, mientras que tamaños más grandes o más pequeños pueden disminuir la eficiencia del proceso. Esto se debe a que las partículas pequeñas pueden tener dificultades para adherirse a las burbujas de aire, lo que reduce la recuperación, mientras que las partículas más grandes pueden ser arrastradas a la espuma, lo que también disminuye la selectividad del proceso.

En la etapa de flotación primaria, la granulometría de la mena no es tan crítica, ya que no es necesario liberar las partículas. Sin embargo, en la etapa de limpieza, es fundamental realizar una remolienda del concentrado para liberar las especies útiles de la mena y mejorar la selectividad del proceso. Por lo tanto, el control del tamaño de partícula es fundamental para optimizar la recuperación metalúrgica y la selectividad del concentrado final.

En el caso de la flotación de óxidos, se ha encontrado que una granulometría de 60% malla -200 es óptima para la primera flotación. Luego, se realiza una remolienda para alcanzar un tamaño de partícula de 75% malla -200, lo que permite obtener mejores resultados en términos de recuperación y selectividad. Es importante destacar que el tamaño de partícula tiene un impacto significativo en los

costos de operación del proceso global de concentración, por lo que su control es fundamental para optimizar la eficiencia y la rentabilidad del proceso.

En resumen, la relación entre el tamaño de partícula y la recuperación metalúrgica es compleja y depende de varios factores, incluyendo la granulometría de la mena, la selectividad del proceso y los costos de operación. Por lo tanto, es fundamental realizar un control riguroso del tamaño de partícula para optimizar la eficiencia y la rentabilidad del proceso de flotación.

Tipo y dosificación de los reactivos de flotación

El papel del colector es fundamental en la flotación, ya que su función es modificar la superficie del mineral deseado para hacerla hidrofóbica, lo que permite su separación eficiente de la ganga. La selección del colector adecuado depende del tipo de mineral y de la asociación mineralógica presente, y requiere una amplia experiencia en la flotación de minerales.

Por otro lado, la elección del espumante es crucial para determinar las características de la espuma, lo que a su vez afecta la selectividad de la operación. La altura de la espuma y el flujo de aire en la celda de flotación influyen en el tiempo de retención de las partículas en la espuma, lo que puede afectar la eficiencia del proceso. La estabilidad de la espuma, por su parte, depende en gran medida de la dosificación del espumante.

Es importante destacar que los reactivos de flotación requieren un tiempo de acondicionamiento para interactuar con la pulpa y actuar de manera eficiente sobre

las especies útiles de la mena. Por lo tanto, la etapa de acondicionamiento es crucial, ya que algunos reactivos deben ser adicionados durante la molienda para maximizar su contacto con la mena, mientras que otros se adicionan directamente al cajón de descarga de los molinos de bolas o al acondicionador.

En resumen, la selección y el uso adecuados de los colectores y espumantes son fundamentales para la eficiencia del proceso de flotación, y requieren una comprensión profunda de la química y la física involucradas. La etapa de acondicionamiento es también crucial para asegurar que los reactivos interactúen de manera eficiente con la pulpa y las especies útiles de la mena.

Evaluación de minerales oxidados en la planta procesadora Santa Ana S.A.C.

La presencia de cierto contenido de Minerales oxidados de Cu (Malaquita y Crisocola). Las pruebas batch con este mineral composito, han sido diseñadas para evaluar su comportamiento en función de la cinética de flotación y midiendo lo contenidos de los residuales en los relaves consecutivamente producidos, con inclusión además de dos etapas de sulfudización previa de **óxidos de Cu**, determinando los tiempos de retención requeridos para su concentración en el circuito normal de Cu de la Planta Santa Ana S.A.C. También se ha empleado como reactivo el petróleo para controlar el efecto espumante del Sulfuro de Sodio.

Cinética de flotación de cobre en la Planta Procesadora Santa Ana S.A.C.

Para una recuperación de 40% el tiempo de flotación es de 12 minutos. Para una ley de espumas de 28% el tiempo de flotación es de 10 minutos. Como en esta

etapa la variable más importante es la ley de espumas que va a la etapa de limpieza, determinamos el tiempo de flotación Rougher estándar 10 minutos.

Para una recuperación total de 55% el tiempo de flotación es de 18 minutos. Para una ley de espumas total de 10% el tiempo de flotación es de 8 minutos. Como en esta etapa la variable más importante es la recuperación, determinamos el tiempo de flotación total de 18 minutos. Por lo tanto, el tiempo de flotación scavenger estándar es de 8 minutos.

Luego que se obtiene los tiempos de flotación estándar en las etapas Rougher y Scavenger, se procede de la misma manera con las espumas Rougher, para determinar el tiempo Cleaner.

Finalmente se debe realizar en forma repetitiva, un mínimo de tres veces la prueba estándar determinada, y en cada caso deben repetirse los resultados con mucha similitud a los obtenidos en planta. Tanto por etapas como por circuitos.

Tabla 1.

Parámetros de flotación.

CONDICIONES DE OPERACIÓN									
1.- MOLIENDA			2.- ACONDICIONAMIENTO				3.- FLOTACION		
Tiempo (min) :	25		Tiempo (min) :	10		Flotación Ro			
Mineral (gr.) :	1500		% Sólidos :	25		T = 10 min.			
% Sólidos :	60		% Malla -200 :	65		React.	Dosific (ml).	gr/TM	
Malla -1/4" :	100%		pH :	Natural		Z - 6	0	0.00	
pH :	7					MIBC :	0	0.00	
Gravedad Espec :	2.3		Reactivos	CONC.	Dosific (ml)	gr/TM	Flotacion CL T = 3 min		
			Z - 6 :	10	15	1000			
			D-250 :	100	0.04	26.67	Flotación SCV T= 8min		
			D-1 :	10	10	666.67	Z - 6 :	10	666.67
			Petróleo:	100	0.16	106.67	D-250	0.04	26.67
Reactivos	Dosific.	gr/TM							
Na ₂ S	35	700							

Figura 1.

Efecto del sulfuro de sodio en la flotación de la malaquita.

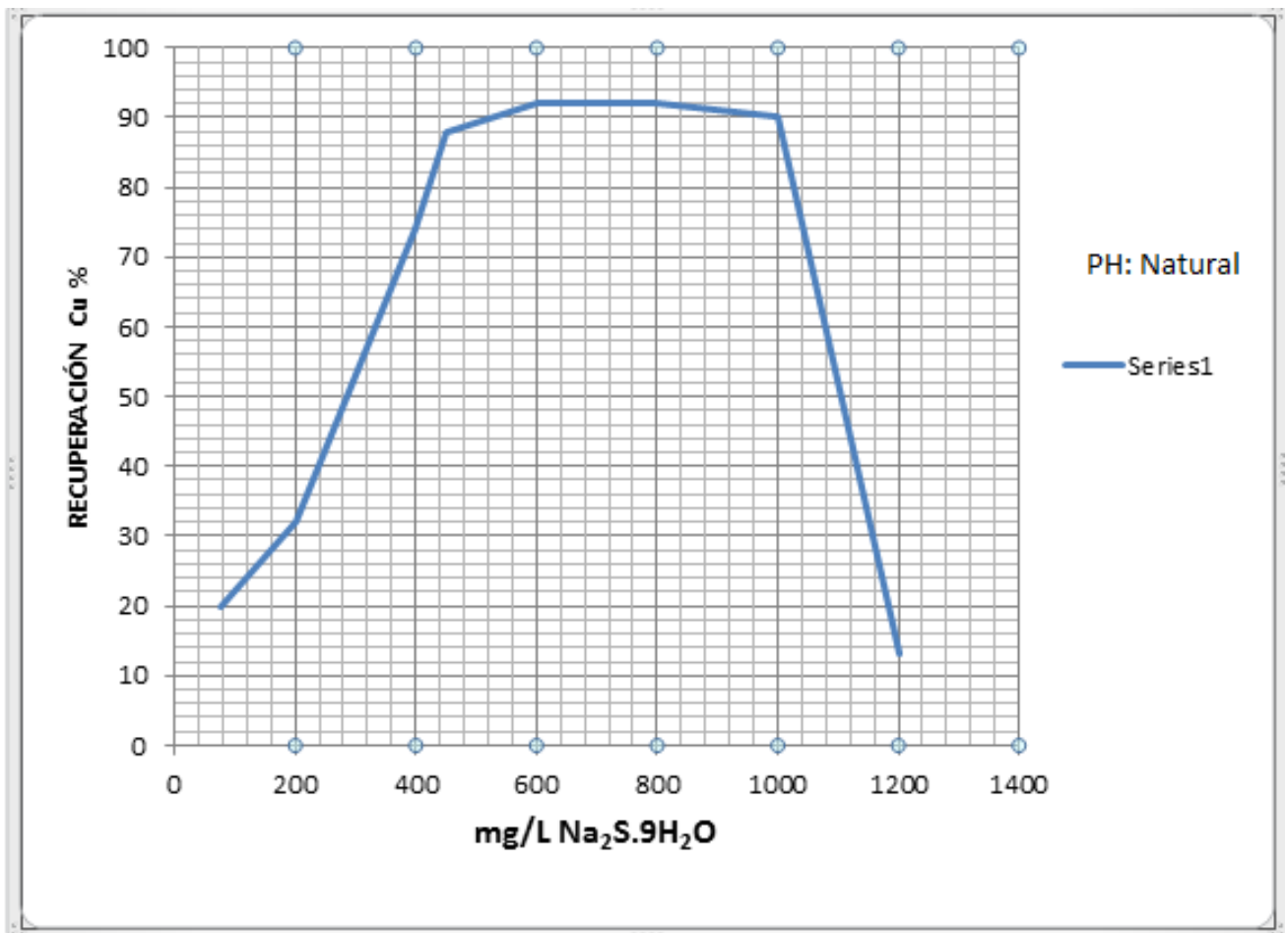


Tabla 2.

Balance metalúrgic - Composito - Muestreo en Proceso

PRODUCTO	TM	LEYES			CONTENIDO FINO		%RECUP	
		%Cu tot	%Cu sol	gr. Au/TM	TM Cu	Gr Au	Cu	Au
CABEZA 1	970.210	2.921		0.303	28.335	293.935	100.000	100.000
CONCENTRADO 1	49.440	29.620		2.837	14.644	140.252	51.682	60.387
RELAVE 1	920.770	1.487		0.100	13.691	92.003	48.318	39.613
RC : 19.62								

BALANCE 2

PRODUCTO	TM	LEYES			CONTENIDO FINO		%RECUP	
		%Cu tot	%Cu sol	gr. Au/TM	TM Cu	Gr Au	Cu	Au
CABEZA 2	920.770	1.487		0.100	13.691	92.003	100.000	100.000
CONCENTRADO 2	16.848	14.862		2.030	2.504	34.197	18.289	34.074
RELAVE 2	903.923	1.238		0.073	11.187	66.164	81.711	65.926
RC : 54.65								

BALANCE GLOBAL

PRODUCTO	TM	LEYES			CONTENIDO FINO		%RECUP	
		%Cu tot	%Cu sol	gr. Au/TM	TM Cu	Gr Au	Cu	Au
CABEZA	970.210	2.921		0.303	28.335	293.935	100.000	100.000
CONCENTRADO	66.287	25.869		2.632	17.148	174.449	60.519	72.502
RELAVE	903.923	1.238		0.073	11.187	66.164	39.481	27.498
RC : 14.64								
		970.210	2.921	0.248	28.335	240.613		

Tabla 3.

Cuadro resumido de reportes químicos de pruebas de laboratorio metalúrgico

N° PRUEBA	LEYES															RECUPERACION					RATIO	COSTOS REACTIVO US.\$/TM	VALOR MINERAL US\$/TM
	CABEZA					CONCENTRADO					RELAVE					Cu	Pb	Zn	Au	Ag			
	%Cu	%Pb	%Zn	Au gr/TM	Ag gr/TM	Cu	%Pb	%Zn	Au gr/TM	Ag gr/TM	Cu	%Pb	%Zn	Au gr/TM	Ag gr/TM	%	%	%	%	%			
1	3.33	x	x	0.38	x	23.68	x	x	6.35	x	1.50	x	x	x	x	58.67	x	x	85.20	x	12.12	18.43	113.55
2	3.00	x	x	0.28	x	23.40	x	x	5.35	x	1.20	x	x	x	x	63.24	x	x	72.26	x	12.33	17.49	110.03
3	3.10	x	x	0.35	x	25.20	x	x	6.67	x	1.35	x	x	x	x	59.75	x	x	76.56	x	13.63	19.30	108.66
4	2.80	x	x	0.29	x	23.23	x	x	5.15	x	1.33	x	x	x	x	55.69	x	x	86.50	x	14.90	17.89	90.30
5	2.50	x	x	0.35	x	26.00	x	x	6.04	x	1.25	x	x	x	x	52.53	x	x	79.80	x	19.80	21.79	77.57
6	2.80	x	x	0.36	x	23.55	x	x	6.14	x	1.25	x	x	x	x	58.46	x	x	88.20	x	14.65	18.00	95.04
7	3.10	x	x	0.40	x	24.35	x	x	6.57	x	1.45	x	x	x	x	56.60	x	x	76.40	x	13.88	16.80	102.48
8	2.75	x	x	0.34	x	24.35	x	x	5.56	x	1.45	x	x	x	x	50.27	x	x	84.65	x	17.61	19.48	80.74
9	2.60	x	x	0.36	x	23.89	x	x	6.89	x	1.37	x	x	x	x	50.38	x	x	79.14	x	18.24	18.35	76.25
10	3.30	x	x	0.37	x	23.46	x	x	5.84	x	1.31	x	x	x	x	63.87	x	x	81.55	x	11.13	10.45	122.28
11	2.35	x	x	0.26	x	18.58	x	x	5.47	x	1.26	x	x	x	x	54.02	x	x	78.45	x	15.89	20.15	87.09
12	3.80	x	x	0.34	x	27.60	x	x	6.78	x	1.38	x	x	x	x	67.04	x	x	79.23	x	10.83	22.23	151.91
13	3.00	x	x	0.27	x	25.63	x	x	5.89	x	1.19	x	x	x	x	63.27	x	x	74.34	x	13.50	17.00	111.86
14	2.36	x	x	0.39	x	22.13	x	x	6.48	x	1.20	x	x	x	x	51.97	x	x	75.91	x	18.04	18.30	70.37
15	2.90	x	x	0.37	x	21.15	x	x	6.71	x	1.24	x	x	x	x	62.03	x	x	84.23	x	11.44	17.46	105.07
16	3.18	x	x	0.32	x	22.78	x	x	6.17	x	1.19	x	x	x	x	65.79	x	x	87.97	x	10.89	20.39	120.71
17	2.54	x	x	0.36	x	25.00	x	x	5.39	x	1.15	x	x	x	x	57.36	x	x	79.45	x	17.16	17.29	85.50

Figura 2.

Gráficos de curvas cinéticas de flotación de ley de espuma y % de recuperación cobre

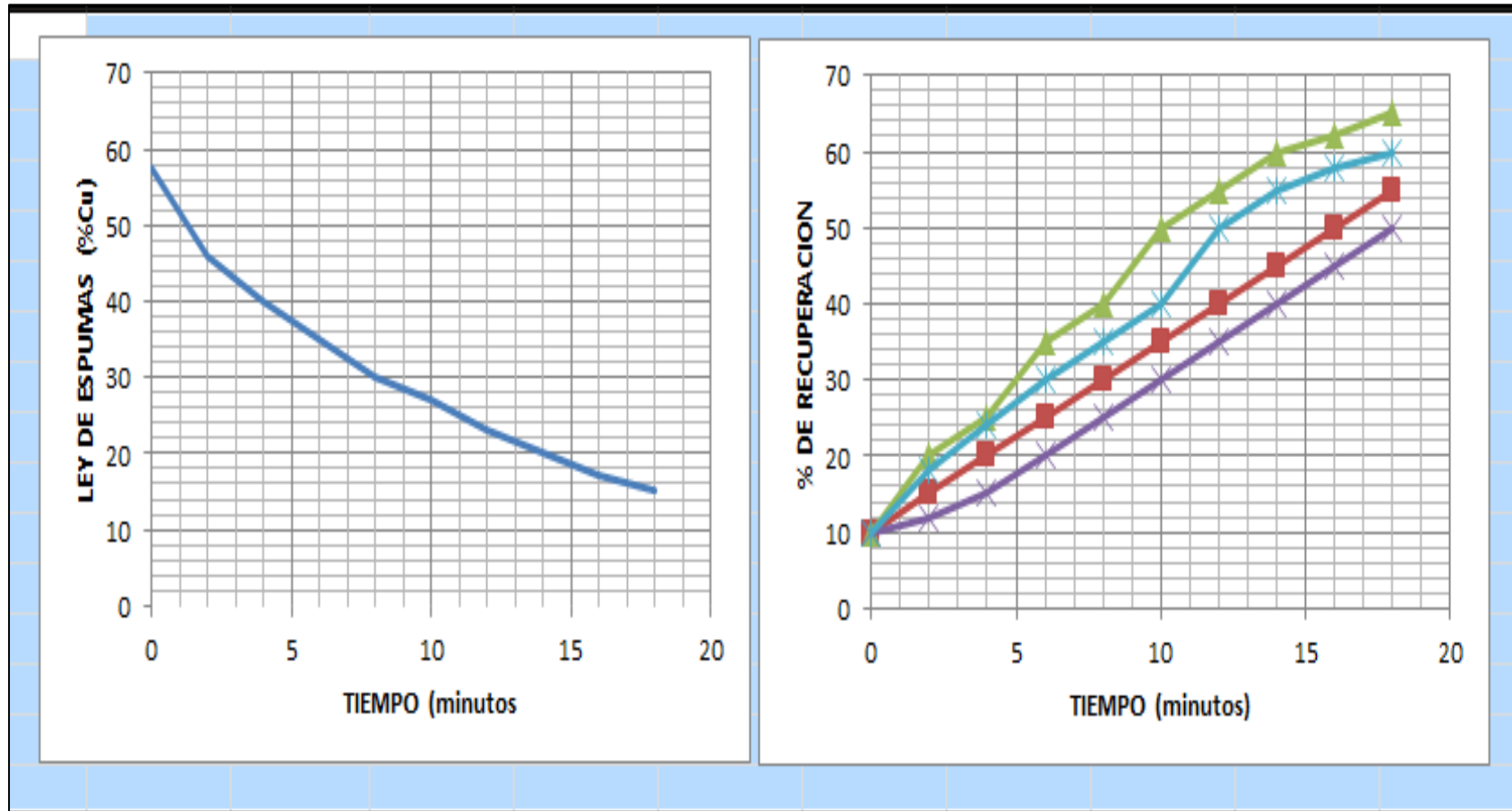
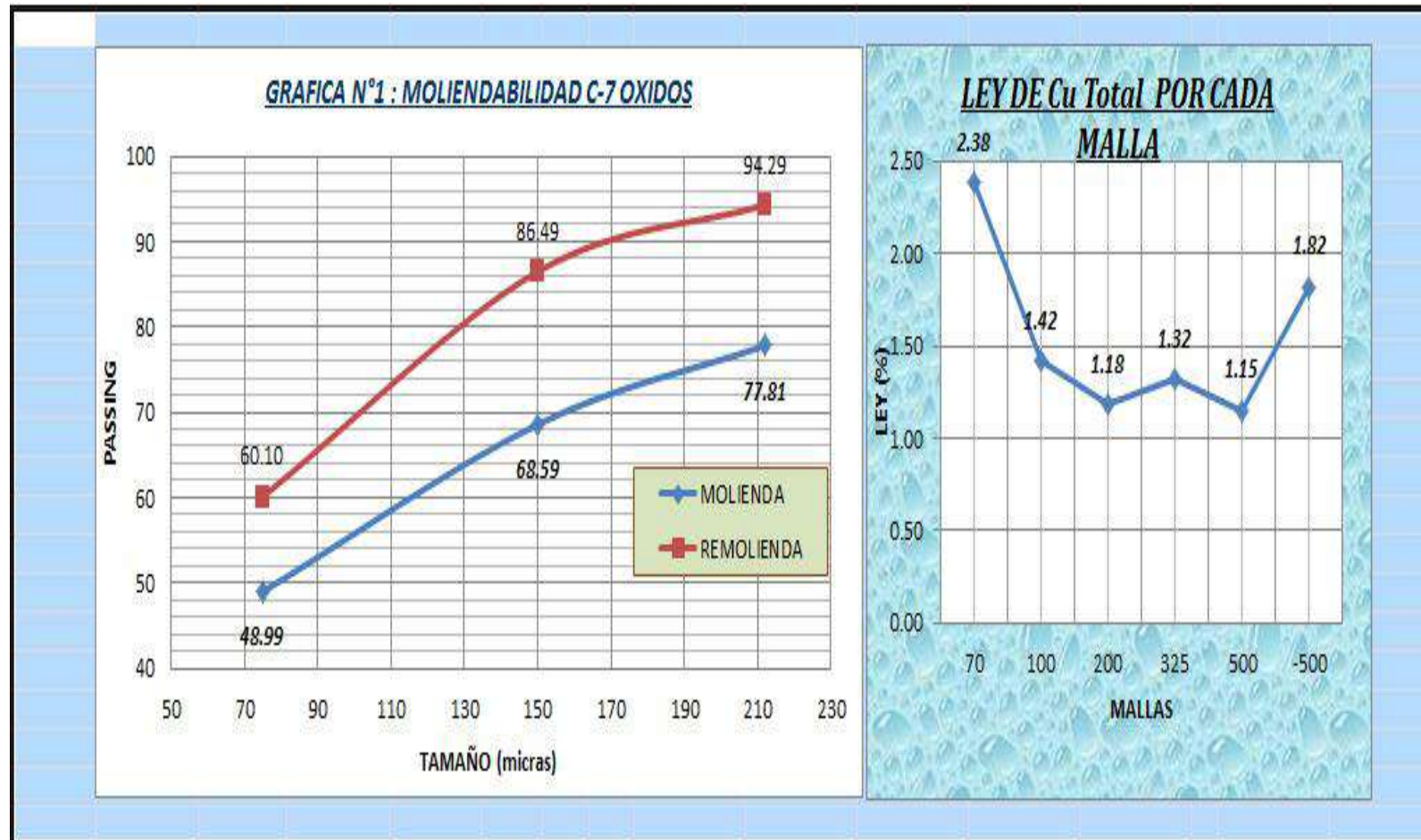


Figura 3.

Gráficos de molendiabilidad



Definición de términos básicos

Aireación:

La aireación se refiere al proceso de introducir aire en una solución o suspensión. En el contexto de la flotación, la aireación es fundamental, ya que el aire es necesario para crear la espuma que permite la separación de los minerales. La aireación puede afectar la eficiencia del proceso, la selectividad de los minerales y la estabilidad de la espuma.

Acondicionamiento de pulpa:

El acondicionamiento de pulpa se refiere al proceso de preparar la pulpa de mineral para el proceso de flotación. Esto puede incluir la adición de reactivos, la regulación del pH, la aireación y la mezcla de la pulpa. El acondicionamiento de pulpa es fundamental para asegurar que la pulpa esté en las condiciones óptimas para el proceso de flotación, lo que puede afectar la eficiencia del proceso y la selectividad de los minerales.

Calidad de agua:

La calidad de agua se refiere a las características físicas, químicas y biológicas del agua que la hacen apta o no apta para un determinado uso. En el contexto de la flotación, la calidad de agua es fundamental, ya que el agua es el medio en el que se lleva a cabo el proceso. La calidad de agua puede afectar la eficiencia del proceso, la selectividad de los minerales y la estabilidad de la espuma.

Evaluación geológica:

La planta concentradora se encuentra ubicada en la parte inferior de las estribaciones de la cordillera de los andes, en la margen izquierda del río Huaura, específicamente en la comunidad.

Hidrología:

La zona presenta recursos hídricos es un área casi seca y a 4.5Km al sur de la planta concentradora el río Huaura.

Humedad relativa:

Presenta una humedad relativa máxima de 95.3% en verano y 74.4% en invierno.

pH:

El pH es un parámetro que mide la acidez o alcalinidad de una solución acuosa. Se define como la concentración de iones hidronio (H⁺) en la solución, y se expresa en una escala logarítmica que va desde 0 (ácido fuerte) hasta 14 (básico fuerte). En el contexto de la flotación, el pH es un factor crítico que puede afectar la selectividad y la eficiencia del proceso, ya que puede influir en la adsorción de los reactivos de flotación en la superficie de los minerales.

Porcentaje de sólidos:

El porcentaje de sólidos se refiere a la proporción de sólidos presentes en una solución o suspensión. En el contexto de la flotación, el porcentaje de sólidos es fundamental, ya que puede afectar la viscosidad de la pulpa, la eficiencia del proceso y la selectividad de los minerales.

Suelos:

Los suelos se caracterizan por ser erizos, es una zona desértica donde no hay vegetación y tampoco agua en el sub suelo.

Temperatura:

La temperatura máxima media mensual es de 29°C y la temperatura mínima media mensual es de 16°C.

Tiempo de residencia:

El tiempo de residencia es el tiempo que una partícula o una solución permanece en un sistema o proceso. En el contexto de la flotación, el tiempo de residencia se refiere al tiempo que las partículas de mineral permanecen en la celda de flotación, lo que puede afectar la eficiencia del proceso y la selectividad de los minerales.

2.5.Hipótesis de investigación

Hipótesis general

La recuperación del óxido de cobre a nivel de laboratorio será incrementada mediante la optimización de las variables (pH, grado de agitación, granulometría, dosificación de reactivos, tiempo de residencia).

Hipótesis específicas

Se mejorará el diseño del Flow Sheet adecuado para el tratamiento de los óxidos de cobre, y plantear los puntos de dosificación de reactivos y porcentaje de preparación para el proceso.

Se determinará la influencia del control de las variables de molienda y la flotación, en la Planta Procesadora Santa Ana S.A.C.

De aplicarse el reactivo sulfurante, para que la recuperación sea óptima en la Planta Procesadora Santa Ana S.A.C.

2.6.Operacionalización de las variables

Tabla 4.

Operacionalización de la variable de estudio

1	Variable	Definición	Dimensiones	Indicador
Independiente	Molienda	Operación unitaria metalúrgica de separación de las menas de las gangas.	Tiempo de molienda	t (tiempo de molienda)
			Liberación	L (liberación)
Dependiente	Concentración y extracción	Procedimiento para elevar la calidad de las menas con valor agregado.	Calidad	Ley (QM) Recuperación (RM)

Variables de control: Densidad de pulpa, Fuerza de cianuro, pH, agitación, dosificación de reactivo de flotación.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Diseño metodológico

Tipo de Investigación.

Es un enfoque experimental en el que el tesista manipula las variables, para observar las repercusiones de las modificaciones realizadas y así corroborar la hipótesis propuesta (Bernal, 2010). De acuerdo con el propósito, es de tipo aplicativo

Teniendo en cuenta los aspectos de la investigación, es comparativa, porque se aplican técnicas para regular, mejorar y evaluar los resultados.

Diseño de la investigación.

Según Fernández (2014), el estudio adopta un enfoque cuantitativo, ya que implica la cuantificación de las variables investigadas y la recogida de datos se basa en mediciones numéricas. Además, se utiliza un análisis estadístico para verificar la hipótesis propuesta (p. 147).

Enfoque de la investigación.

According to Fernández (2014), the study adopts a quantitative approach, since it involves the quantification of the variables under investigation and the data collection is based on numerical measurements. In addition, a statistical analysis is used to verify the proposed hypothesis (p. 147).

3.2. Población y muestra

Población

Consiste en el mineral de la Planta Procesadora Santa Ana S.A.C. en la provincia de Nazca.

Muestra

Representado por el muestreo de mineral realizado en la minera ZORRO I.

3.3. Técnicas de recolección de datos

Técnicas utilizadas.

a. Observación sistemática directa.

Se observará durante el desarrollo de todo el proceso de investigación a través de los sentidos para recopilar información del fenómeno estudiado.

b. Observación sistemática indirecta.

Se analizará y evaluará las reseñas de la literatura relacionada al tema investigado cuáles son descrita en el capítulo II en los antecedentes de la investigación así mismo de literatura complementaria que puede ser de ámbito nacional o internacional.

c. Observación experimental.

Para poder reconocer e identificar las variables descritas en la tabla I y 2 es necesario reproducir y simular el fenómeno a condiciones experimentales con la finalidad de determinar la influencia de la variable independiente sobre la dependiente a condiciones estables.

d. Otras técnicas.

Cuestionarios, diseños de experimentos.

Instrumentos a emplear

- a. Hoja de observación.
- b. Lista de control.
- c. Cuaderno de notas
- d. Equipo fotográfico.

Metodología

La preparación de muestras es un paso crucial en el proceso de investigación, y en este caso, se llevó a cabo con un total de 70 kg de muestra. El proceso de preparación se dividió en dos etapas: la primera consistió en la reducción de tamaño y clasificación del mineral, mientras que la segunda se centró en la homogenización y partición de las muestras.

Preparación de la muestra:

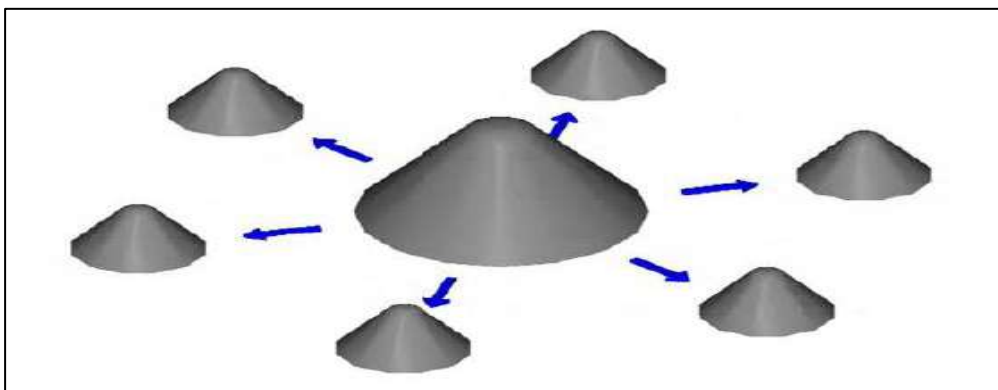
La reducción de tamaño se logró a través de una serie de etapas de chancado y zarandeo, utilizando dos chancadoras: una de quijada y otra de rodillos. La chancadora de quijada se utilizó para reducir el tamaño del mineral desde 4 pulgadas hasta una abertura de descarga de 1/2 pulgada, mientras que la chancadora de rodillos se utilizó para reducir el tamaño del mineral hasta una abertura de descarga de 1,5 mm. El producto de cada chancadora se sometió a tamizaje con una zaranda de malla 10 Tyler, y los finos se unieron para conformar el producto final.

Una vez que se redujo el tamaño del mineral, se procedió a la homogenización de las muestras mediante paleo manual. Luego, se obtuvieron 6 cúmulos de igual volumen en forma radial mediante paleo fraccionado verdadero. Cada cúmulo se sometió a una partición mecánica mediante divisores sectoriales, lo que permitió obtener submuestras de aproximadamente 1000 gramos cada una.

El muestreo por paleo fraccionado consistió en extraer porciones del total de la muestra mediante una pala y depositarlas en la parte superior de los cúmulos, que se ubicaban alrededor. En este caso, se eligieron 6 cúmulos, y cuando se distribuyó el total de la muestra, se obtuvieron 6 cúmulos de igual volumen.

Figura 4.

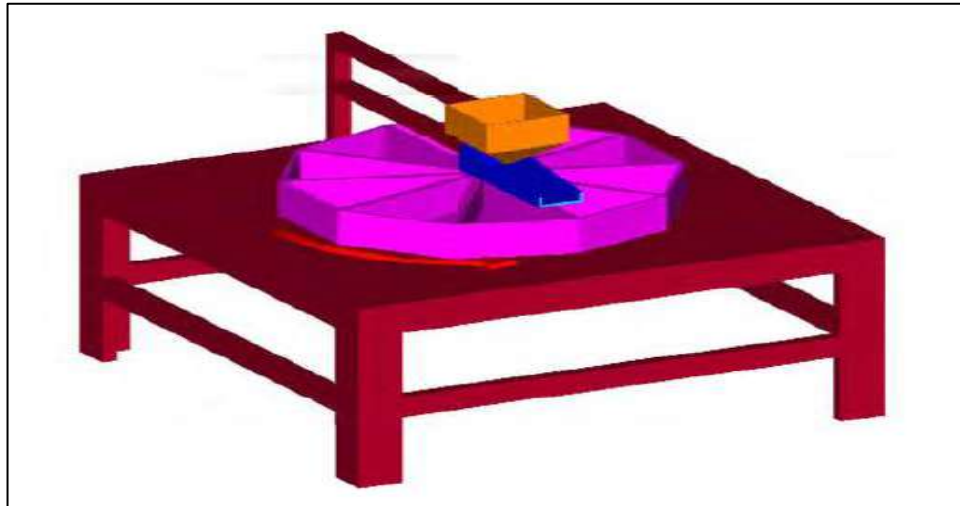
Obtención de cúmulos mediante paleo fraccionado



La partición mecánica se llevó a cabo mediante el empleo de un partidador de 10 recipientes giratorios y un alimentador estacionario. Esto permitió obtener muestras de aproximadamente 1000 gramos cada una, desde la muestra total.

Figura 5.

Partidor de 10 recipiente giratorios y alimentador estacionario.



En resumen, la preparación de muestras se llevó a cabo mediante una combinación de reducción de tamaño, homogenización y partición mecánica, lo que permitió obtener submuestras representativas y homogéneas para su posterior análisis.

Dimensiones y indicadores utilizados:

Reducción de tamaño: 4 pulgadas a 1/2 pulgada (chancadora de quijada) y 1,5 mm (chancadora de rodillos)

Homogenización: paleo manual y paleo fraccionado verdadero

Partición mecánica: divisores sectoriales y partidor de 10 recipientes giratorios

- Tamaño de las submuestras: aproximadamente 1000 gramos cada una
- Número de cúmulos: 6
- Número de submuestras: 6

Determinación de las curvas cinéticas de la molienda:

Se realizaron pruebas de molienda utilizando un molino de laboratorio para determinar las curvas de cinética de molienda, que son esenciales para estimar los tiempos de molienda necesarios para alcanzar una granulometría específica. La

carga de bolas del molino se calculó utilizando una fórmula específica y se utilizó un equipo estándar en el laboratorio experimental.

Dimensiones y indicadores utilizados:

- Volumen del molino: 5.130 cm³
- Diámetro del molino: 17,0 cm
- Longitud del molino: 22,6 cm
- Carga de bolas: calculada utilizando una fórmula específica
- Tiempo de molienda: variable, dependiendo de la granulometría requerida
- Granulometría: variable, dependiendo del objetivo del proceso de molienda

Ecuación 1.

Determinación de la masa de bolas del molino experimental utilizado para el proceso de molienda.

$$M_{bolas} = J \times V_{molino} \times (1-\epsilon) \times \delta_b$$

Donde:

M bolas = Masa de bolas

J = Fracción de llenado del molino

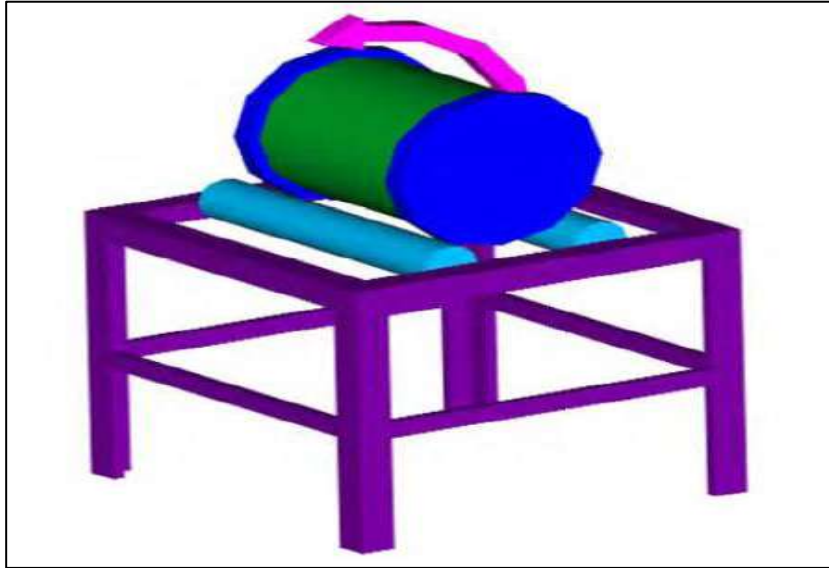
V molino = Volumen del molino

ϵ = Porosidad del lecho

δ_b = Densidad de bolas

Figura 6.

Molino de laboratorio experimental



Pruebas de flotación de muestras:

En resumen, las muestras preparadas fueron sometidas a un proceso de molienda y flotación controlado, durante el cual se evaluaron sistemáticamente los factores de influencia para identificar las condiciones óptimas y optimizar el proceso. Esto se realizó siguiendo un diseño experimental preestablecido, que permitió evaluar la influencia de cada factor de manera individual y en combinación con otros factores.

Dimensiones e indicadores utilizados:

- Molienda: tiempo de molienda, velocidad de molienda, tamaño de partícula
- Flotación: dosificación de reactivos, tiempo de flotación, velocidad de flotación
- Diseño experimental: factorial, respuesta superficial, optimización
- Evaluación: análisis de varianza, regresión lineal, correlación

La cinética de flotación es un campo de estudio que se enfoca en la comprensión de la relación entre el tiempo de flotación y la recuperación de la especie valiosa. Uno de los modelos más destacados en este campo es el propuesto

por García-Zúñiga, quien establece una analogía algebraica con las ecuaciones de reacción de cinética química de primer orden. Según este modelo, la recuperación de la especie valiosa es una función exponencial del tiempo, lo que significa que la recuperación aumenta rápidamente en un principio, pero luego se vuelve más lenta.

Ecuación 2.

Cinética de flotación de García-Zúñiga

$$R = R_{\infty} (1 - e^{-k.t})$$

Dónde:

R : Recuperación acumulativa a tiempo t

R_{∞} : Recuperación de equilibrio a tiempo prolongado

k : Constante de velocidad de primer orden (min⁻¹)

t : Tiempo de flotación acumulada (min)

Otro modelo importante en la cinética de flotación es el propuesto por Klimpel, quien también utiliza una ecuación de primer orden para describir la relación entre el tiempo de flotación y la recuperación de la especie valiosa. Los términos incluidos en esta ecuación son similares a los utilizados por García-Zúñiga, lo que sugiere que ambos modelos están relacionados con la misma fenomenología.

Ecuación 3.

Cinética de flotación de Klimpel

$$R = R_{\infty} [1 - (1/k.t)\{1 - \exp(-k.t)\}]$$

Los términos empleados son los mismo utilizados en Ecuación 2

En general, la cinética de flotación es un campo complejo que requiere una comprensión profunda de los mecanismos que ocurren durante el proceso de flotación. La selección del modelo adecuado para describir la cinética de flotación

depende de las características específicas del mineral y del proceso de flotación, por lo que es importante realizar un análisis detallado de los datos experimentales para determinar el modelo más adecuado.

Prueba conjunta de molienda-flotación:

La optimización del proceso de molienda y flotación se llevó a cabo mediante la evaluación de las curvas de cinética de molienda, que permitieron determinar el tiempo óptimo de molienda para alcanzar la granulometría deseada. Los reactivos sulfurizantes y colectores se adicionaron en una secuencia específica, siguiendo el protocolo establecido en la planta concentradora Santa Ana S.A.C. La dosificación de estos reactivos se realizó con precisión utilizando una micro pipeta.

A través de una serie de pruebas de molienda y flotación, se investigaron las interacciones entre las variables que influyen en la recuperación de cobre. El tiempo de acondicionamiento, sin la adición de aire, se estableció en 2 minutos para cada prueba. La flotación se inició con la adición de aire a la pulpa, utilizando el equipo de flotación. La espuma se extrajo mediante paletesos regulares, cada 5 segundos, sin interrupción.

El tiempo total de flotación se estableció en 18 minutos, basado en las pruebas de cinética de flotación. Los concentrados y las colas se filtraron utilizando filtros de presión de laboratorio y se secaron a 100 °C. Luego, se cuarteó y muestreó para obtener 50 gr de cada fracción, que se pulverizaron y se enviaron al laboratorio de análisis químico para su evaluación.

En este proceso, se buscó optimizar la recuperación de cobre mediante la evaluación de las variables que influyen en la molienda y la flotación. La precisión en la dosificación de los reactivos y la secuencia de adición se consideraron fundamentales para alcanzar los resultados deseados.

Dimensiones e indicadores utilizados:

- Tiempo de molienda: variable que influye en la granulometría
- Reactivos sulfurizantes y colectores: variables que influyen en la recuperación de cobre
- Tiempo de acondicionamiento: variable que influye en la flotación
- Tiempo de flotación: variable que influye en la recuperación de cobre
- Filtros de presión de laboratorio: herramienta para la evaluación de los concentrados y las colas.

Figura 7.

Máquina de flotación para laboratorio D-12.



Se realizará un análisis estadístico y matemático utilizando herramientas de cálculo como Excel, JKSNMET, MOLYCOP TOOLS y MINITAB 16. Posteriormente, los datos recogidos se representarán mediante instrumentos estadísticos.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

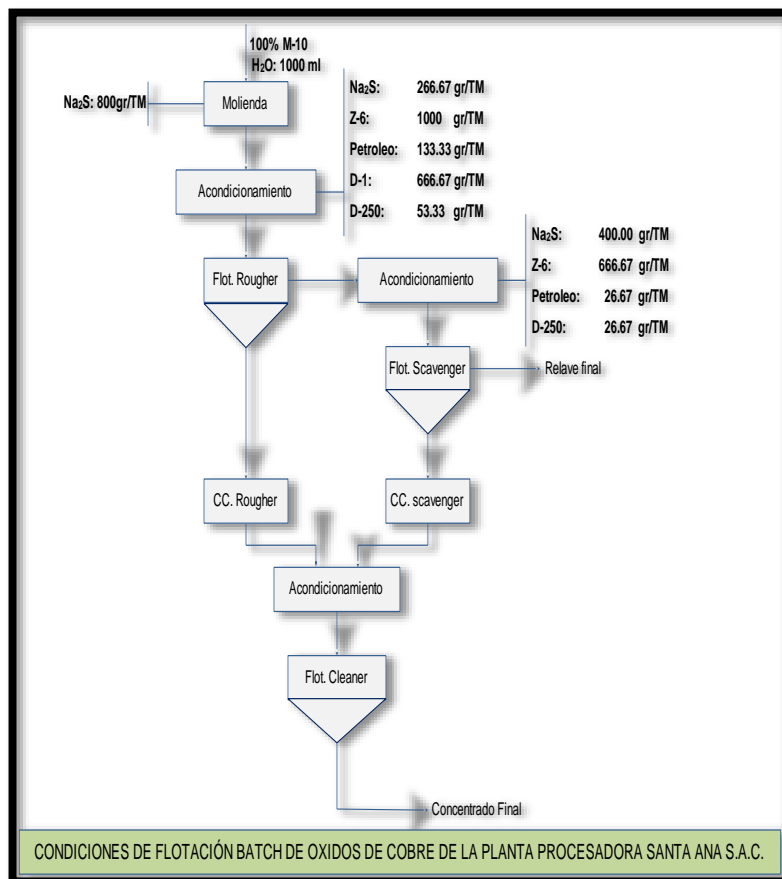
4.1. Análisis de resultados.

Esquema actual de tratamiento de la planta: uso de sulfuro de sodio

La flotación selectiva en uso implica adicionar primero el reactivo sulfurizante y activar el cobre oxidado, incluso se busca no excederse de este reactivo, de lo contrario se podría deprimir los valores de cobre, sin embargo, este parámetro de referencia operativa, es controlado manejando estrictamente las concentraciones adecuadas en los puntos de dosificación, se empleó hasta 3 tipos de circuito de Cobre, el Flow Shett actual se muestra en la figura 8.

Figura 8.

Esquema de tratamiento vigente.



W.I. Calculado por método comparativo con muestras del composito mensual de planta Santa Ana S.A.C. con W.I. 10.7 Kw-h/TM.

Figuras de la Fineza de Molienda con muestras de minerales, cuyo consumo de energía o $W_i = 11.42$ Kwh/TM.

Figura 9.

Curva de molienda

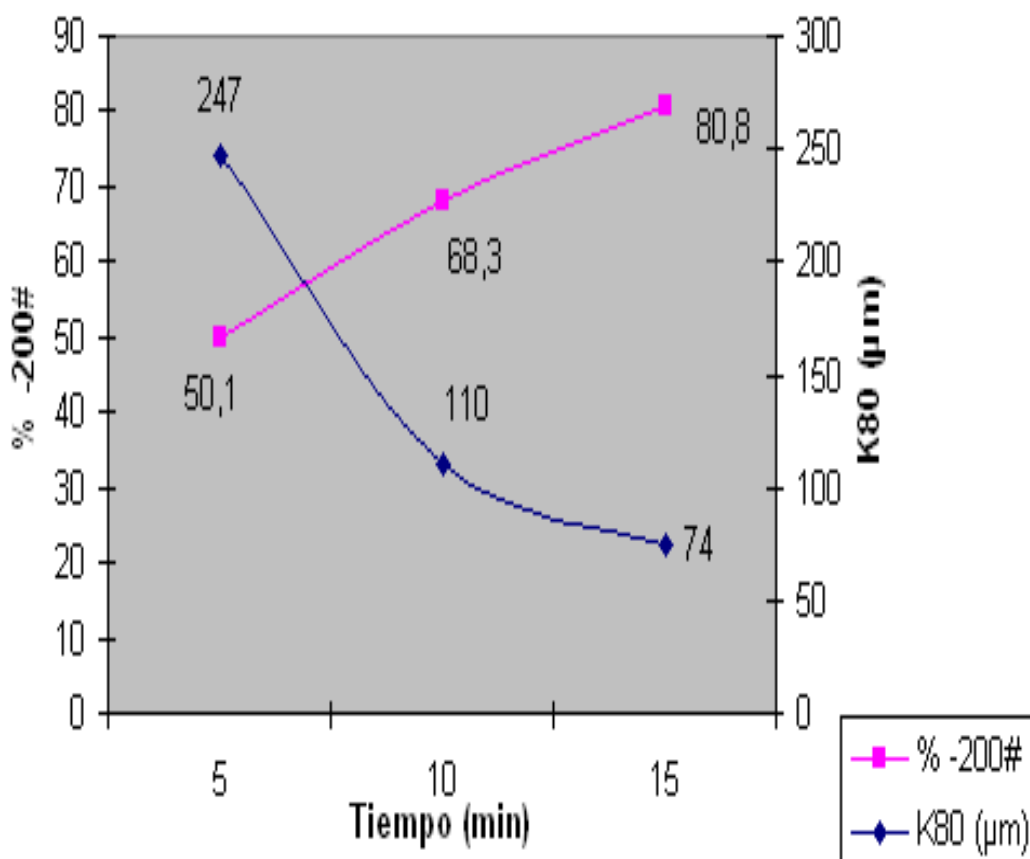
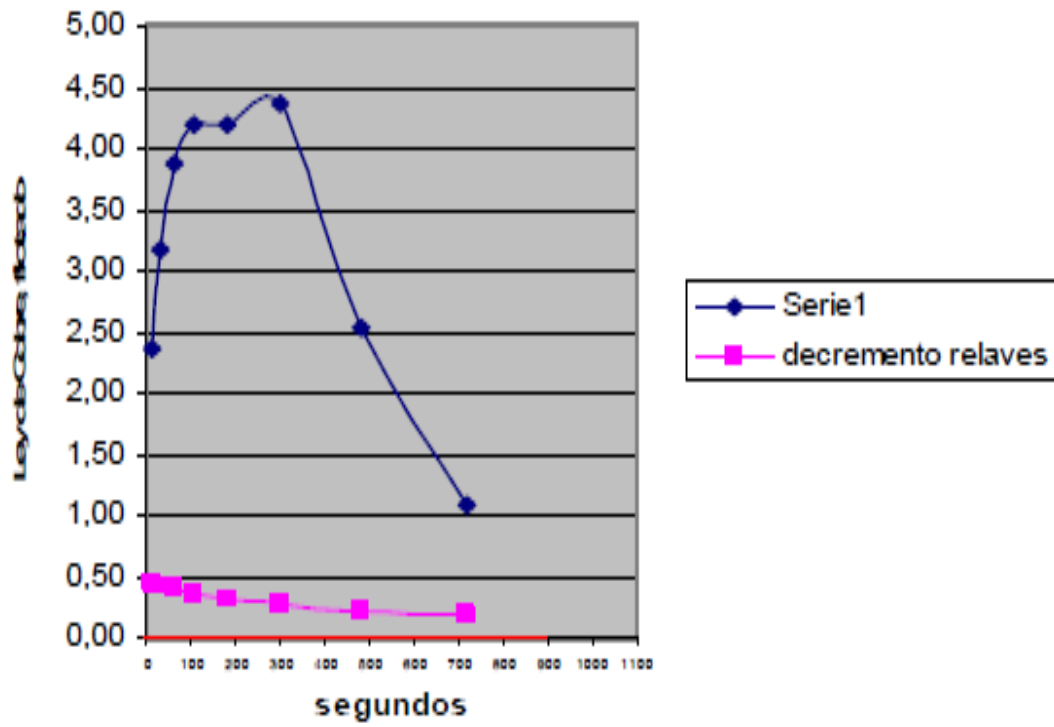


Figura 10.

Ley de cobre (%) vs Tiempo de flotación (min)



Variable condiciones de pruebas metalúrgicas para los ensayos.

Figura 11.

Reporte de prueba metalúrgica de ensayo n°1


 Procesadora Santa Ana S. A. C. PLANTA CONCENTRADORA VICTORIA I										
REPORTE DE PRUEBA METALURGICA										
N° DE PRUEBA :		1		CODIGO DE PRUEBA :		Cuox-86-11				
FECHA :		18/11/2010								
PROCEDENCIA :		MINA ZORRO I								
TIPO DE PRUEBA :		RECONOCIMIENTO								
OBJETIVO :		Beneficiar por el metodo de flotacion los oxidos y oro.								
1.- FLOTACION N° 01										
CONDICIONES DE OPERACION										
1.- MOLIENDA			2.- ACONDICIONAMIENTO 1				3.- FLOTACION			
Tiempo (min) :		25		Tiempo (min) :		8		Flotación Ro		
Mineral (gr.) :		1500		% Sólidos :		25		T = 10 min.		
% Sólidos :		60		% Malla -100 :		80		React.	(ml).	gr/TM
Malla -10 :		100%		pH :		7				
pH :		7								
Gravedad Espec :		2.35		Reactivos	CONC.	Dosific (ml)	gr/TM	Flotacion CL = 2min		
				Z - 6 :	10	25	1666.67			
				Na ₂ S	5	8	266.67			
				D-1 :	10	10	666.67	Flotacion scavenger T = 8 min		
Na ₂ S		38	760.0	Petroleo	100	0.32	213.33	Na ₂ S	10	333.33
A - 404		3	20.0	D-250	100	0.04	26.67	Petroleo	0.12	80.00
								D-250	0.04	26.67

Figura 12.

Reporte de prueba metalúrgica de ensayo n°2


 Procesadora Santa Ana S. A. C. PLANTA CONCENTRADORA VICTORIA I										
REPORTE DE PRUEBA METALURGICA										
N° DE PRUEBA :		2		CODIGO DE PRUEBA :		Cuox-86-11				
FECHA :		18/11/2010								
PROCEDENCIA :		MINA ZORRO I								
TIPO DE PRUEBA :		RECONOCIMIENTO								
OBJETIVO :		Beneficiar por el metodo de flotacion los oxidos y oro.								
1.- FLOTACION N° 01										
CONDICIONES DE OPERACION										
1.- MOLIENDA			2.- ACONDICIONAMIENTO 1				3.- FLOTACION			
Tiempo (min) :		25		Tiempo (min) :		8		Flotación Ro		
Mineral (gr.) :		1500		% Sólidos :		25		T = 10 min.		
% Sólidos :		60		% Malla -100 :		80		React.	(ml)	gr/TM
Malla -10 :		100%		pH :		7				
pH :		7								
Gravedad Espec :		2.35		Reactivos	CONC.	Dosific (ml)	gr/TM	Flotacion CL = 2min		
				Z-6 :	10	20	1333.33			
Reactivos	Dosific.	gr/TM	Na ₂ S	5	12	400.00				
			D-1 :	10	10	666.67	Flotacion scavenger T = 8 min			
Na ₂ S	45	900.0	Petroleo	100	0.28	186.67	Na ₂ S	10	333.33	
A - 404	3	20.0	D-250	100	0.04	26.67	Petroleo	0.08	53.33	
							D-250	0.04	26.67	

Figura 13.

Reporte de prueba metalúrgica de ensayo n°3



 Procesadora Santa Ana S. A. C. PLANTA CONCENTRADORA VICTORIA I										
REPORTE DE PRUEBA METALURGICA										
N° DE PRUEBA :		3		CODIGO DE PRUEBA :		Cuox-86-11				
FECHA :		18/11/2010								
PROCEDENCIA :		MINA ZORRO I								
TIPO DE PRUEBA :		RECONOCIMIENTO								
OBJETIVO :		Beneficiar por el metodo de flotacion los oxidos y oro.								
1.- FLOTACION N° 01										
CONDICIONES DE OPERACION										
1.- MOLIENDA			2.- ACONDICIONAMIENTO 1				3.- FLOTACION			
Tiempo (min) :		25		Tiempo (min) :		8		Flotación Ro		
Mineral (gr.) :		1500		% Sólidos :		25		T = 10 min.		
% Sólidos :		60		% Malla -100 :		80		React.	(ml).	gr/TM
Malla -10 :		100%		pH :		7				
pH :		7								
Gravedad Espec :		2.35		Reactivos	CONC.	Dosific (ml)	gr/TM	Flotacion CL = 2min		
				Z - 6 :	10	15	1000.00			
				Na ₂ S	5	10	333.33			
				D-1 :	10	10	666.67	Flotacion scavenger T = 8 min		
				Petroleo	100	0.4	266.67	Na ₂ S	15	500.00
				D-250	100	0.04	26.67	Petroleo	0.08	53.33
								D-250	0.04	26.67
Reactivos	Dosific.	gr/TM								
Na ₂ S	35	700.0								
A - 404	3	20.0								

Figura 14.

Reporte de prueba metalúrgica de ensayo n°4

		Procesadora Santa Ana S. A. C.							
PLANTA CONCENTRADORA VICTORIA I									
REPORTE DE PRUEBA METALURGICA									
Nº DE PRUEBA :	4	CODIGO DE PRUEBA :	Cuox-86-11						
FECHA :	18/11/2010								
PROCEDENCIA :	MINA ZORRO I								
TIPO DE PRUEBA :	RECONOCIMIENTO								
OBJETIVO :	Beneficiar por el metodo de flotacion los oxidos y oro.								
1.- FLOTACION Nº 01									
CONDICIONES DE OPERACION									
1.- MOLIENDA			2.- ACONDICIONAMIENTO 1				3.- FLOTACION		
Tiempo (min) :	25		Tiempo (min) :	8		Flotación Ro			
Mineral (gr.) :	1500		% Sólidos :	25		T = 10 min.			
% Sólidos :	60		% Malla -100 :	80		React.	(ml).	gr/TM	
Malla -10 :	100%		pH :	7					
pH :	7								
Gravedad Espec :	2.35		Reactivos	CONC.	Dosific (ml)	gr/TM	Flotacion CL = 2min		
			Z-6 :	10	18	1200.00			
			Na ₂ S	5	8	266.67			
			D-1 :	10	10	666.67	Flotacion scavenger T = 8 min		
			Petroleo	100	0.4	266.67	Na ₂ S	12	400.00
			D-250	100	0.04	26.67	Petroleo	0.08	53.33
							D-250	0.04	26.67
Reactivos	Dosific.	gr/TM							
Na ₂ S	42	840.0							
A - 404	3	20.0							

Composito (100%)

En la evaluación de la cinética de la flotación empleando el sulfuro de sodio

Con la siguiente ley:

Cu Total = 3.25%, Cu Soluble = 3.040 %, Au: 0.047 Onz/TM.

Se advierte durante los 18 minutos del tiempo de flotación el siguiente comportamiento:

La recuperación y calidad del mineral de cobre evoluciona inicialmente con un alta constante de velocidad $k = 1.34 \text{ min}^{-1}$ y se va agotando los relaves después de 12 minutos (36 min. en planta) hasta 1.326 % de Cu para alcanzar el 62.318% de recuperación.

Luego, el oro y el cobre asociados en cierta proporción, se flota con alguna dificultad para una constante de velocidad de $k_{\text{Cu}} = 0.28 \text{ min}^{-1}$ y $k_{\text{Ag}} = 0.87 \text{ min}^{-1}$, esta observación corresponde a una liberación parcial de fineza de molienda a 65 % bajo los 74 micrones en el alimento a flotación.

Posteriormente el relave se reduce hasta agotarse en 1.326% Cu, obteniéndose solo una recuperación de 62.318%. El comportamiento se explica por activación en medio oxidante con Na_2S Solo hasta que se consume el sulfuro de sodio.

La flotabilidad del óxido de Cu es ligeramente consistente e incrementada al adicionar el colector con un consumo de hasta 2333.33 gr/TM.

El fierro como la magnetita también se sulfuriza con el sulfuro de sodio flotando conjuntamente con el óxido de cobre, la magnetita en el concentrado de cobre le baja la calidad.

Balance metalúrgico para cada ensayo.

Figura 15.

Balance metalúrgico del ensayo n°1.

PROCESADORA SANTA ANA SAC												
PLANTA CONCENTRADORA VICTORIA I												
BALANCE METALURGICO - PRUEBA N° 01												
N° DE CAMP. :	11	PROCED : Nv 845 Tajeo										
FECHA TRAT :	11-08-11											
TURNO :	NOCHE	JEFE DE TURNO : Ing. E. Quispe										
BALANCE 1												
PRODUCTO	TM	LEYES			CONTENIDO FINO		%RECUP		COMPOSICION		RC :	
		%Cu tot	%Cu sol	gr. Au/TM	TM Cu	Gr Au	Cu	Au	% Sulf.	% Oxid.		
CABEZA 1	44.000	3.250	3.040	1.611	1.430	70.899	100.000	100.000	6.46	93.54		
CONCENTRADO 1	3.363	26.500	28.700	8.125	0.891	27.324	62.318	87.053	8.30	108.30	RC :	13.08
RELAVE 1	40.637	1.326	0.770	0.100	0.539	4.064	37.682	12.947	41.93	58.07		

Figura 16.

Balance metalúrgico del ensayo n°2.

PROCESADORA SANTA ANA SAC												
PLANTA CONCENTRADORA VICTORIA I												
BALANCE METALURGICO - PRUEBA N° 02												
N° DE CAMP. :	11	PROCED : Nv 845 Tajeo										
FECHA TRAT :	11-08-11											
BALANCE 1												
PRODUCTO	TM	LEYES			CONTENIDO FINO		%RECUP		COMPOSICION		RC :	
		%Cu tot	%Cu sol	gr. Au/TM	TM Cu	Gr Au	Cu	Au	% Sulf.	% Oxid.		
CABEZA 1	44.000	3.100	3.040	1.611	1.364	70.899	100.000	100.000	1.94	98.06		
CONCENTRADO 1	3.143	25.200	28.700	8.125	0.792	25.537	58.065	86.207	13.89	113.89	RC :	14.00
RELAVE 1	40.857	1.400	0.770	0.100	0.572	4.086	41.935	13.793	45.00	55.00		

Figura 17.

Balance metalúrgico del ensayo n°3.

PROCESADORA SANTA ANA SAC												
PLANTA CONCENTRADORA VICTORIA I												
BALANCE METALURGICO - PRUEBA N° 03												
N° DE CAMP. :		11		PROCED :		Nv 845 Tajeo						
FECHA TRAT :		11-08-11										
BALANCE 1												
PRODUCTO	TM	LEYES			CONTENIDO FINO		%RECUP		COMPOSICION		RC :	
		%Cu tot	%Cu sol	gr. Au/TM	TM Cu	Gr Au	Cu	Au	% Sulf.	% Oxid.		
CABEZA 1	44.000	3.340	3.100	1.371	1.470	60.340	100.000	100.000	7.19	92.81		
CONCENTRADO 1	3.042	28.790	28.700	6.857	0.876	20.856	59.588	78.435	0.31	99.69	14.47	
RELAVE 1	40.958	1.450	0.770	0.140	0.594	5.734	40.412	21.565	46.90	53.10		

Figura 18.

Balace metalúrgico del ensayo n°4.

PROCESADORA SANTA ANA SAC												
PLANTA CONCENTRADORA VICTORIA I												
BALANCE METALURGICO - PRUEBA N° 04												
N° DE CAMP. :		11		PROCED :		Nv 845 Tajeo						
FECHA TRAT :		11-08-11										
BALANCE 1												
PRODUCTO	PESO (gr)	LEYES			CONTENIDO FINO		%RECUP		COMPOSICION		RC :	
		%Cu tot	%Cu sol	gr. Au/TM	TM Cu	Gr Au	Cu	Au	% Sulf.	% Oxid.		
CABEZA 1	1500.000	2.900	2.800	1.200	43.500	1799.910	100.000	100.000	3.45	96.55		
CONCENTRADO 1	99.373	23.450	28.700	6.171	23.303	613.242	53.570	82.949	22.39	122.39	15.09	
RELAVE 1	1400.627	1.442	0.770	0.090	20.197	126.056	46.430	17.051	46.60	53.40		

Figura 19.

Balance metalúrgico global del composito final de los 4 ensayos

PROCESADORA SANTA ANA SAC												
PLANTA CONCENTRADORA VICTORIA I												
BALANCE METALURGICO DEL COMPOSITO FINAL DE LAS 4 PRUEBAS												
Nº DE CAMF	9	PROCED :	Nv 845									
FECHA:	09-07-11											
TURNO :												
BALANCE 2												
PRODUCTO	PESO (gr)	LEYES			CONTENIDO FINO		%RECUP		COMPOSICION			
		%Cu tot	%Cu sol	gr. Au/TM	TM Cu	Gr Au	Cu	Au	% Sulf.	% Oxid.		
CABEZA 2	1500.000	3.148	2.995	1.448	47.213	2172.375	100.000	100.000	4.85	95.15		
CONCENTRADO 2	106.365	25.985	24.900	7.320	27.639	778.537	58.541	83.674	4.18	95.82	RC :	14.10
RELAVE 2	1393.635	1.405	0.770	0.109	19.574	151.906	41.459	16.326	45.18	54.82		

Gráfica de todas las pruebas realizadas ley de cabeza, ley de relave, recuperaciones y valor económico de los concentrados obtenidos.

Figura 20.

Diagrama Flow Seet de proceso de la planta Santa Ana S.A.C. Capacidad 350 toneladas/días

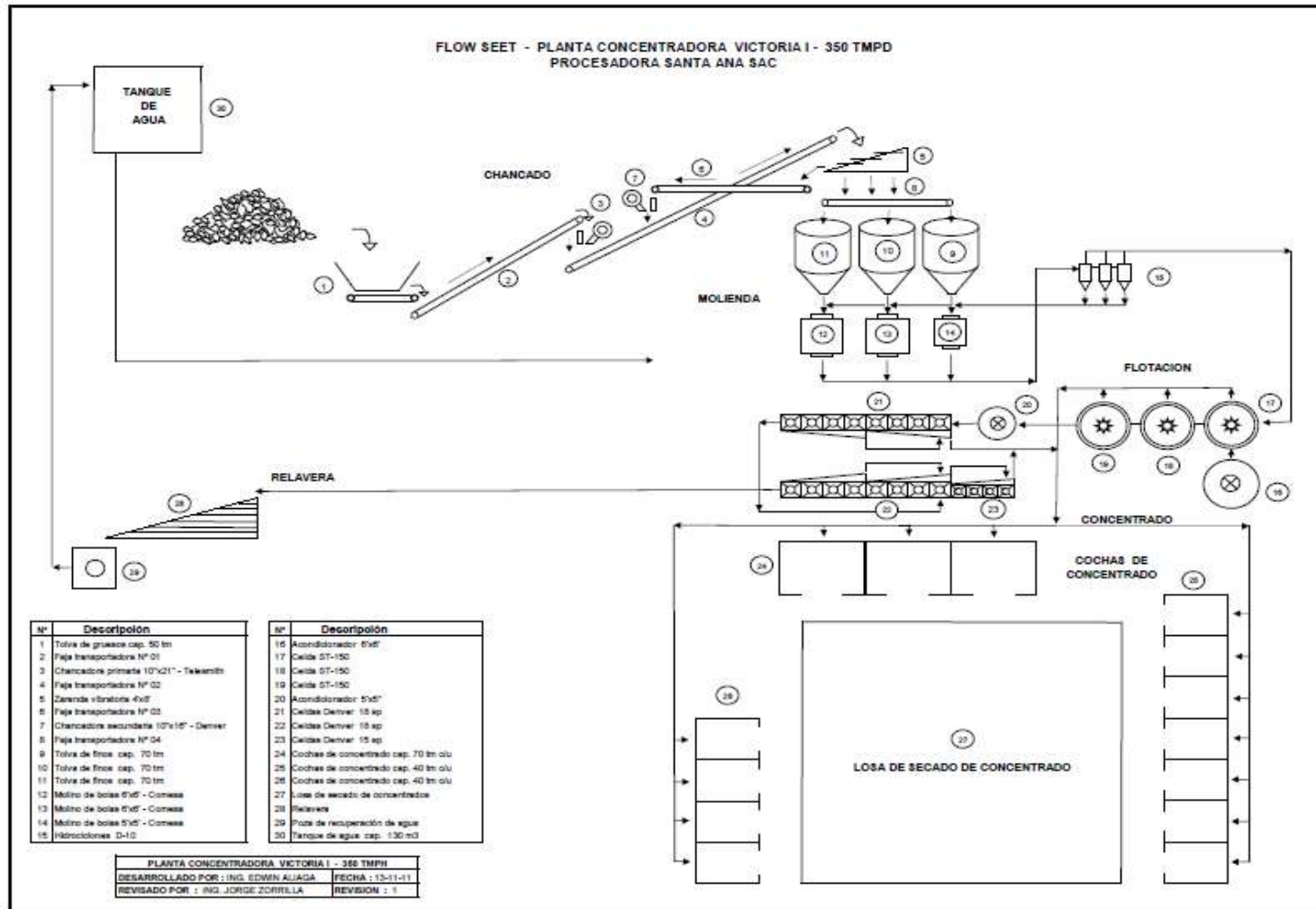


Figura 21.

Circuito para el tratamiento de óxidos en la planta procesadora Santa Ana S.A.C.

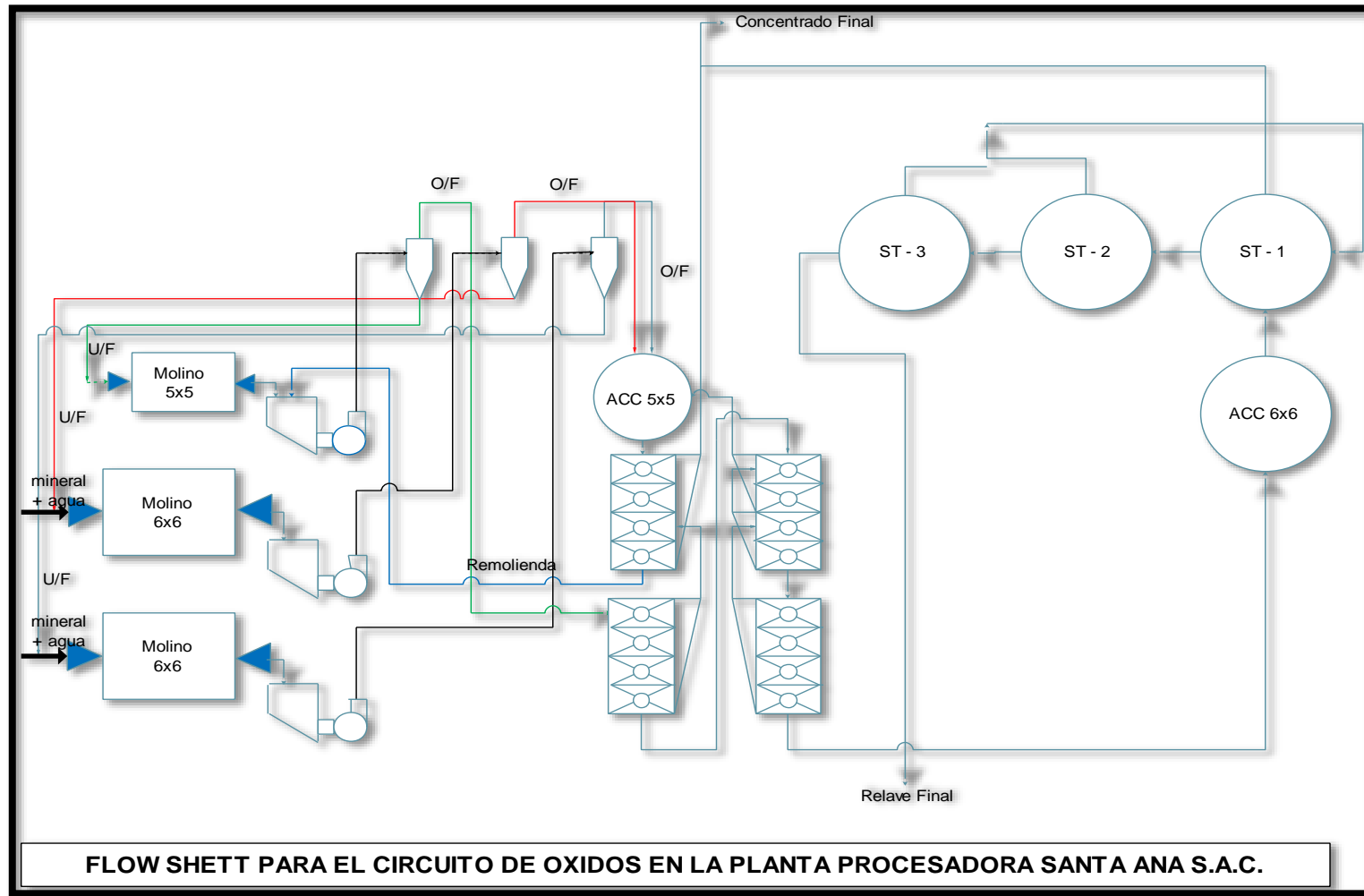


Figura 22.

Gráfica de leyes y recuperaciones de las pruebas realizadas

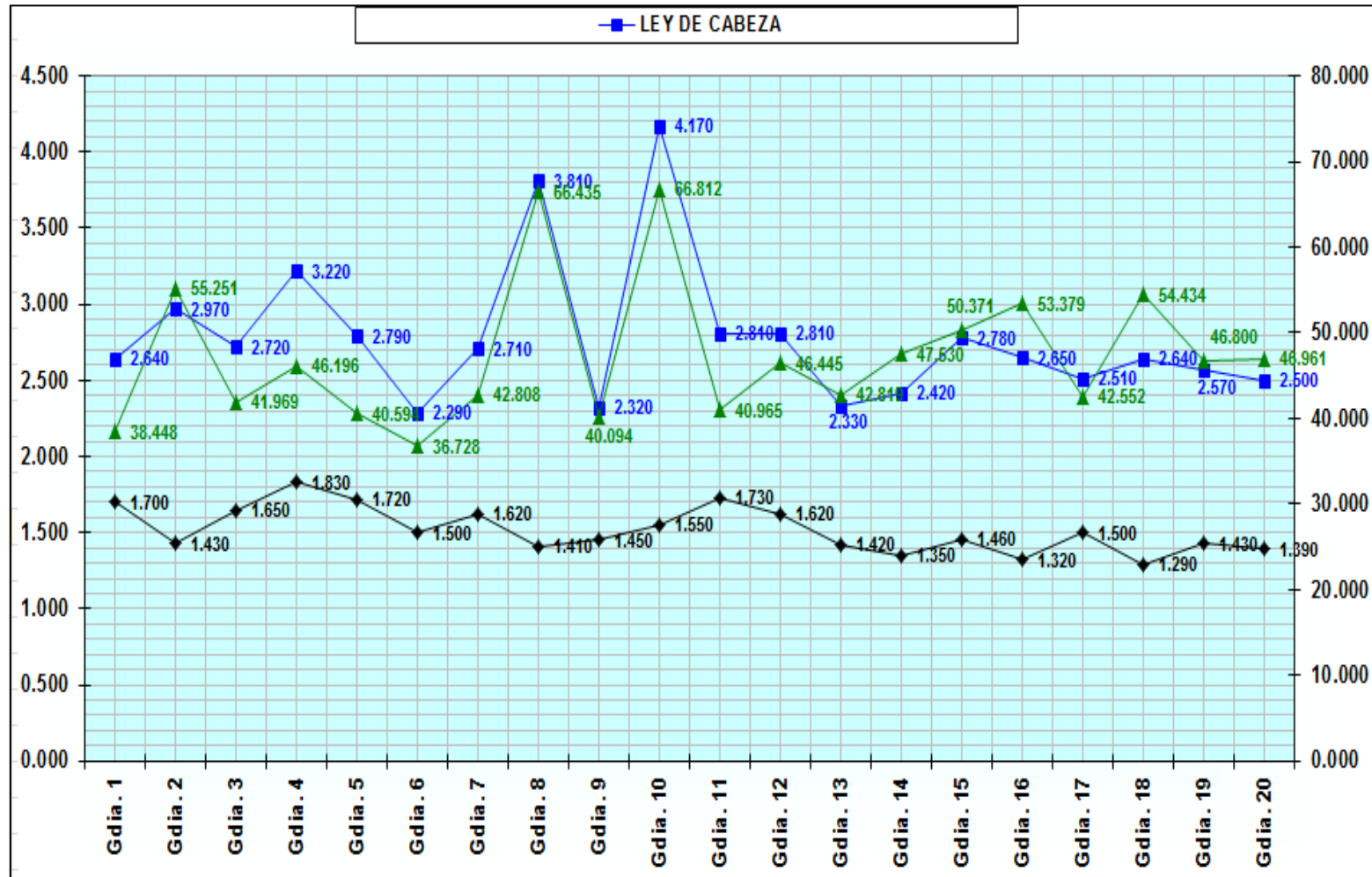


Tabla 5.

Resumen de leyes para el proceso de flotación.

RESUMEN DE LEYES DE CADA PRUEBA DE FLOTACION									
	Gdia. 01 Nv 845 Tj	Gdia. 02 Nv 845 Tj	Gdia. 03 Nv 845 Tj	Gdia. 04 Nv 845 Tj	Gdia. 05 Nv 845 Tj	Gdia. 06 Nv 845 Tj	Gdia. 07 Nv 845 Tj	Gdia. 08 Nv 845 Tj	Gdia. 09 Nv 845 Tj
Leyes									
Cabeza %Cu	3.330	3.340	3.370	2.800	3.450	3.050	3.200	3.080	2.950
Cabeza grAu/tm	0.370	0.341	0.387	0.374	0.444	0.267	0.338	0.304	0.271
Concentrado %Cu	23.679	22.365	23.337	15.408	21.763	24.520	22.239	24.460	24.108
Concentrado grAu/tm	4.645	3.657	4.277	3.014	4.409	3.759	3.758	3.958	3.672
Relave %Cu	1.730	1.580	1.560	1.180	1.560	1.620	1.510	1.500	1.480
Relave grAu/tm	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034
gr									
Cabeza	100.00 0	80.000	85.000	80.000	85.000	60.000	85.000	85.000	60.000
Concentrado	2.916	6.774	7.065	9.109	7.952	3.747	6.930	5.849	3.898
% Recuperación									
Cu	51.835	56.700	57.557	62.656	59.013	50.202	56.660	54.650	53.090
Au	91.419	90.798	91.875	91.867	92.993	87.957	90.679	89.509	88.155
Radio Concentracion									
Radio Concentracion	13.718	11.810	12.031	8.782	10.689	16.014	12.266	14.532	15.393
Valor del mineral \$/tm									
Por Cu	100.68 1	108.30 6	112.83 3	76.714	114.75 6	89.871	103.38 5	98.753	91.648
Por Au	10.351	8.531	10.525	8.414	12.363	6.557	8.558	7.798	6.586
Valor total \$/tm mineral	111.03 2	116.83 7	123.35 8	85.128	127.11 9	96.428	111.94 3	106.55 1	98.234
	115	120	127	88	131	99	117	109	

Tabla 6.

Resumen de leyes con valorización de concentrado

	<u>Gdia.</u> <u>10</u> Nv 845 Tj	<u>Gdia.</u> <u>11</u> Nv 845 Tj	<u>Gdia.</u> <u>12</u> Nv 845 Tj	<u>Gdia.</u> <u>13</u> Nv 845 Tj	<u>Gdia.</u> <u>14</u> Nv 845 Tj	<u>Gdia.</u> <u>15</u> Nv 845 Tj	<u>Gdia.</u> <u>16</u> Nv 845 Tj	<u>Gdia.</u> <u>17</u> Nv 845 Tj	<u>Gdia.</u> <u>18</u> Nv 818 Tj	<u>Resum</u> <u>en</u> <u>de</u> <u>Campa</u> <u>ña</u>
Leyes										
Cabeza %Cu	3.270	3.360	2.990	2.950	2.910	3.440	4.050	3.510	2.470	3.216
Cabeza grAu/tm	0.284	0.292	0.321	0.306	0.336	0.383	0.718	0.465	0.276	0.363
Concentrado %Cu	23.489	22.601	24.540	25.746	23.577	26.452	28.730	18.763	19.689	23.047
Concentrado grAu/tm	3.019	2.889	3.872	4.083	3.924	4.821	7.839	3.568	3.750	4.076
Relave %Cu	1.420	1.450	1.250	1.310	1.170	1.630	1.680	1.560	1.270	1.465
Relave grAu/tm	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.069	0.034	0.035
Tms										
Cabeza	80.000	82.000	83.000	85.000	80.000	82.000	83.000	30.000	30.000	1,295.000
Concentrado	6.706	7.405	6.201	5.705	6.212	5.979	7.272	3.401	1.954	105.075
% Recuperación										
Cu	60.215	60.742	61.317	58.574	62.916	56.071	62.153	60.593	51.933	58.151
Au	88.959	89.323	90.119	89.549	90.597	91.708	95.644	86.931	88.403	91.202
Radio Concent.	11.929	11.074	13.385	14.900	12.878	13.714	11.414	8.822	15.349	12.325
Valor del mineral \$/tm										
Por Cu	105.681	98.267	108.123	80.567	118.021	110.345	98.368	101.14	94.263	115.38
Por Au	9.351	8.967	7.894	8.132	11.467	6.874	8.492	7.492	7.132	8.216
Valor total \$/tm mineral	115.032	107.234	116.017	88.699	129.488	117.219	106.86	108.632	101.395	123.596
	115.032	107.234	116.017	88.699	129.488	117.219	106.86	108.632	101.395	123.596

Para evaluar la cinética de flotación de las especies minerales cuyos contenidos de acuerdo a los análisis químicos de laboratorio es:

Cu Total: 3.45%, Cu Soluble: 3.38%, Au: 0.042 Oz/TM, y Fe 1.3%.

Este mineral contiene mayormente Malaquita, Crisocola, magnetita, sílice y material estéril, el proceso de óxidos flota a PH neutro, las concentraciones del reactivo sulfurizante va de 3% a la molienda y 5% al acondicionamiento y otros puntos de dosificación. El consumo de este reactivo va de 0.6 – 0.8 gr/TM por ley de cobre.

- La flotabilidad del Oxido de Cobre, se incrementa a causa de la molienda, de 65% - 70% Malla -200, recuperándose el 50% - 65% de Cobre en 18 minutos (55 minutos en planta).
- En cambio, los minerales de sulfuro de cobre son más dóciles de flotar y se requiere de menos molienda (55% - 60% malla -200).
- El sulfuro de fierro, se desplaza 50% en 5 minutos.
- No se recomienda el empleo del PH ni excederse del sulfuro de sodio, de lo contrario afectaría severamente la flotación, la volvería muy inestable, y no habría mucha colección de valores de Cobre.

Evaluación económica

La Planta Procesadora Santa Ana S.A.C. cuenta con todos los equipos necesarios para el tratamiento de minerales de cobre, ya se han realizado varias campañas de tratamiento de minerales de cobre, a continuación, se detalla la valorización del concentrado de cobre al final de cada proceso de minerales de cobre tratado.

Perfil de la Ingeniería de la Infraestructura del Circuito Independiente de Cobre. La información de Ingeniería Básica que se adjunta más la que se complementará posteriormente con los planos de la Ingeniería de detalle servirá para la construcción e implementación del “Circuito **Independiente de Tratamiento de minerales de cobre**”, con Especies de Cobres.

- Cuadro de Balance Metalúrgico y valorización de concentrado de Cu.
- Cuadro de evaluación de leyes de Cabeza, Concentrado, Relave y valores económicos de concentrado

Tabla 7.*Cuadro de balance metalúrgico y valorización de concentrado de cobre*

PRODUCTO	TM	LEY %Cu	CONT. FINO	%RECUP		
Cabeza	80.000	3.390	2.712	100.000		
Concentrado	5.456	29.486	1.609	59.320	RC :	14.66
Relave	74.544	1.480	1.103	40.680		

Tabla 8.*Valor de concentrado*

Cotizaciones						
Cu \$/Lb	3.36	Ag \$/oz	42.00		Au \$/oz	1,650.00
marg. Seg.	0.07	marg. Seg.	100.00	%	marg. Seg.	100.00 %
Cu \$/Lb	3.29	Ag \$/oz	42.00		Au \$/oz	1,650.00

Tabla 9.*Balance metalúrgico por Tonelada de mineral procesado en la planta*

BALANCE METALURGICO						
POR TM DE MINERAL PROCESADO EN PLANTA						
	Ley		Prod.	%	Radio	
	Cab.	Conc.	Rel.	tm cc	Recup.	
	Conc.				Conc.	
	3.390	29.486	1.480	0.068	59.320	14.663
Au		0.086				

Tabla 10.*Valoración de concentrado*

VALOR DE CONCENTRADO POR TM													VALOR	
Ley	Deduc.	% Fino Pagable	Ley de venta	Precio de metal \$/tm, \$/oz	Precio de concentr. \$/tm	Precio de Refin. de metal \$/Lb, \$/oz		Costo de Refin. \$/tm cc	Costo de maquila \$/tm cc	Descuento por baja ley <23%	Desc. Por contam. \$/tm	Valor de concentr. \$/tm	DE MINERAL \$/tm	
29.486	1.20	100.00	28.286	7,253.20	2,051.64	0.17	374.79	106.01	170.00			1,775.63	121.097	
0.095	0.04	95.00	0.048	1,650.00	79.99	7.00	7.00	0.34	0.00	0.00		79.65	5.432	
												Total \$/tm cc	1,855.28	126.53
												Total lote	10,122.37	
												% igv	18.00	1,822.03
												Importe total \$	11,944.39	

Tabla 11.

Cuadro de evaluación de leyes de cabeza de concentrado relave y valores económicos de concentrado.

MESES	CABEZA	LEY CONCEN.	RELAVE	% RECUP.	RATIO Concentración	PESO CONCEN. TM	VALOR DE CONCEN.
ENERO	3.39	29.486	1.48	59.32	14.66	5.456	\$ 11,944.39
FEBRERO	3.45	24.36	1.28	66.387	10.64	7.522	\$ 13,337.16
MARZO	3.5	23.45	1.325	65.864	10.17	7.864	\$ 13,364.13
ABRIL	3.36	26.38	1.28	65.062	12.07	6.629	\$ 12,842.19
MAYO	3.483	28.456	1.28	66.229	12.34	6.485	\$ 13,655.31
JUNIO	3.39	35.78	1.48	58.773	17.96	4.455	\$ 12,028.37
JULIO	2.5	19.6	1.31	51.009	15.37	5.205	\$ 6,899.12
AGOSTO	2	15.34	1.27	39.795	19.27	4.151	\$ 3,570.79
TOTAL	3.20824806	25.39466067	1.33130571	61.74	12.82	47.767	\$ 87,641.46

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

5.1. Discusión de resultados

Selección de esquema de flotación.

Mediante innumerables pruebas en las que primero se introdujo los reactivos Sulfuro de Sodio, en niveles de 0.600 – 0.800 Kg/t por ley de Cu, y sin PH en molienda, teniéndose obviamente alto desplazamiento de $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ la misma que se realizó un análisis más minucioso a fin de optimizar los parámetros de operación. Se llegó a dosificar el Na_2S en concentraciones de 3% en la molienda y de 5% en el acondicionamiento del Rougher y Scavenger.

Dosificando con estas concentraciones se logró una mejor sulfuración y adicionando el reactivo Z-6 pudo colectar mejor el consumo de este reactivo va de 1.5 Kg/t – 2.2 Kg/t.

El concentrado que se obtiene en la primera flotación llega hasta 38% de cobre, el concentrado de la flotación Scavenger es de 8% a 15% compositando el concentrado final de 23% a 28% de cobre, es un cobre comercial sin castigo de ley, se sabe que un concentrado de calidad menor a 23% de cobre se descuenta 18% por cada punto menos.

Las recuperaciones que se obtienen son: Cu: 55% - 65%, Au: 75% - 90%, en los 4 diagramas de flujo el mejor comportamiento se da en el último diagrama.

Figura 23.

Esquema de flotación 1

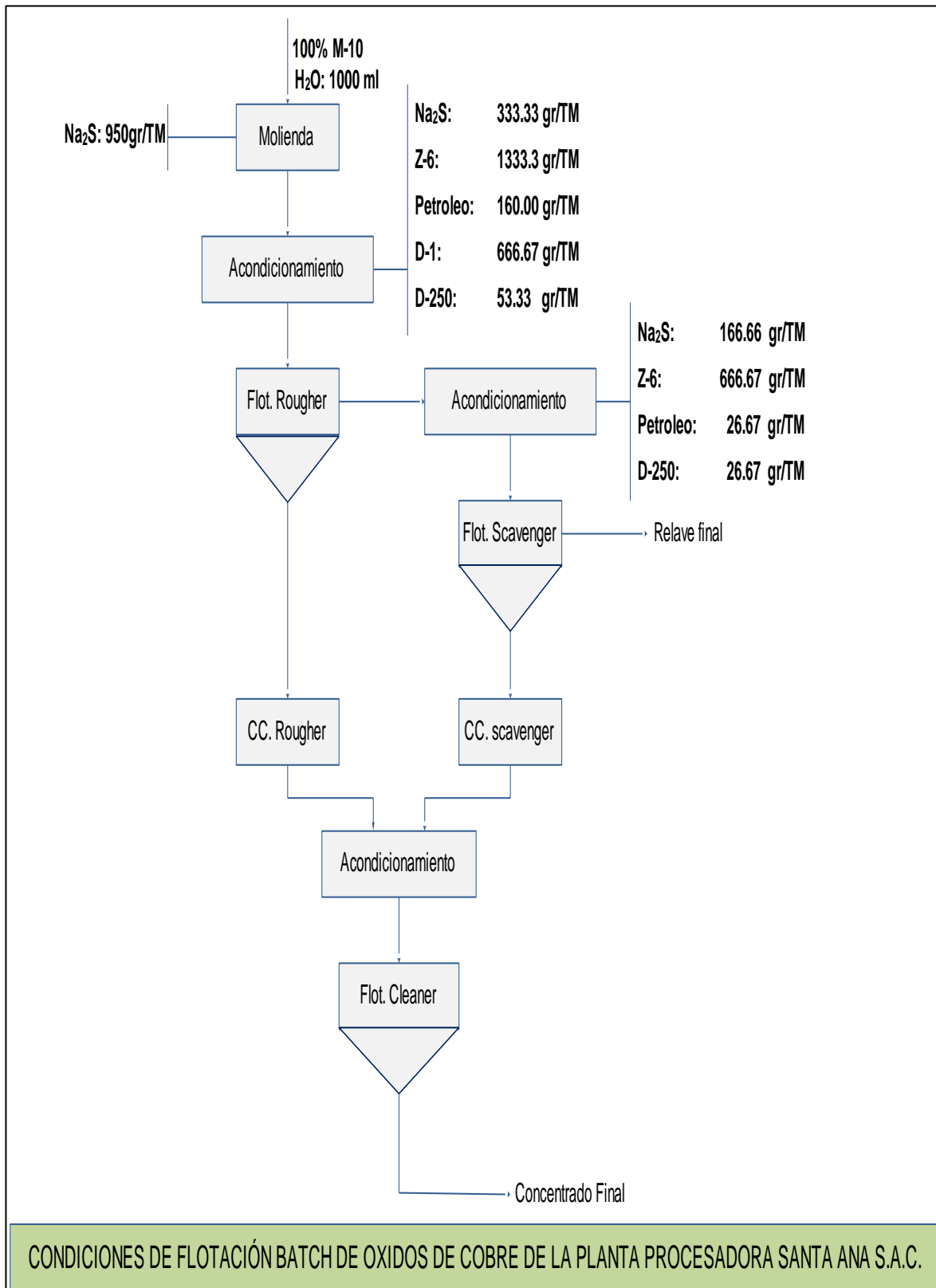


Figura 24.

Esquema de flotación 2

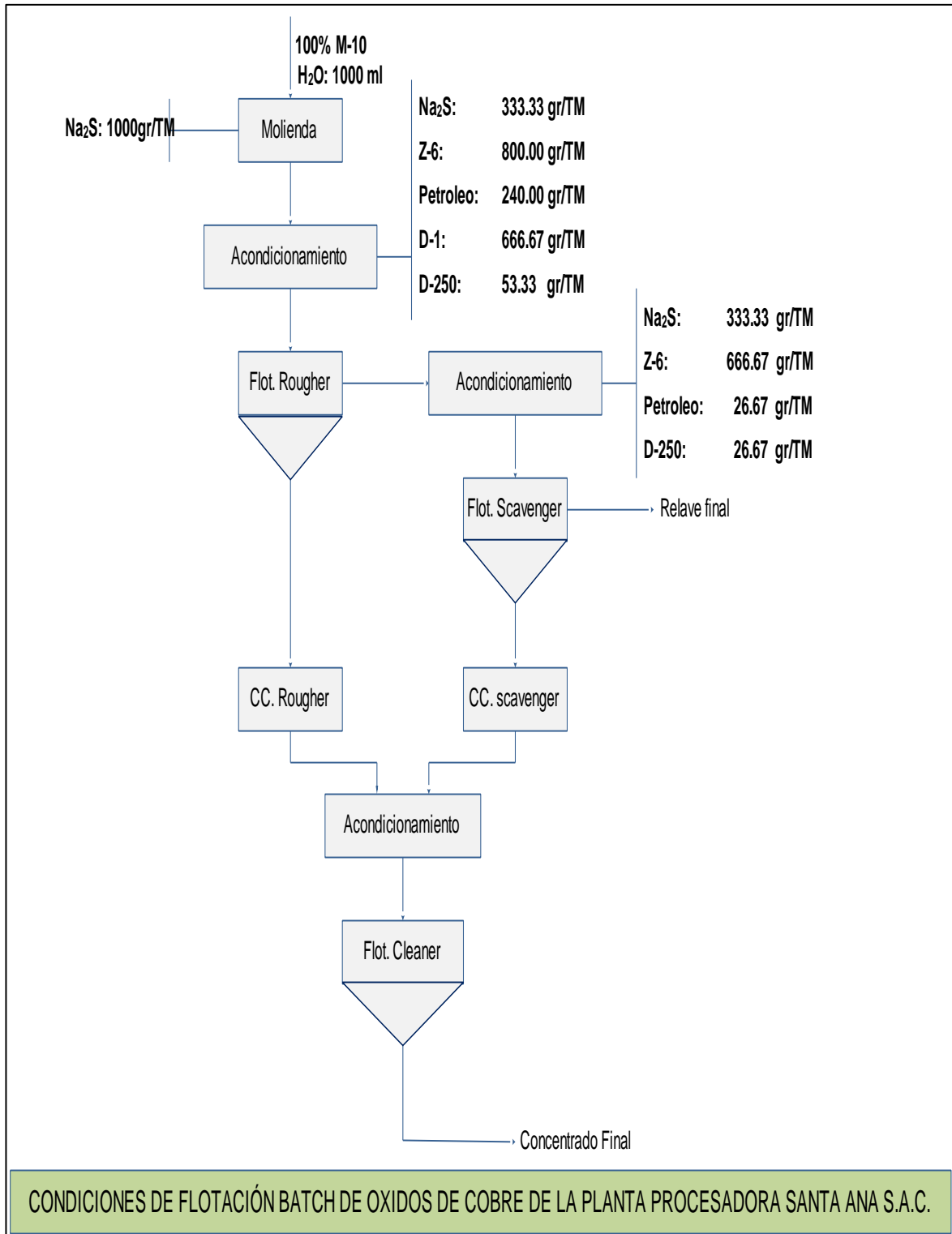


Figura 25.

Esquema de flotación 3

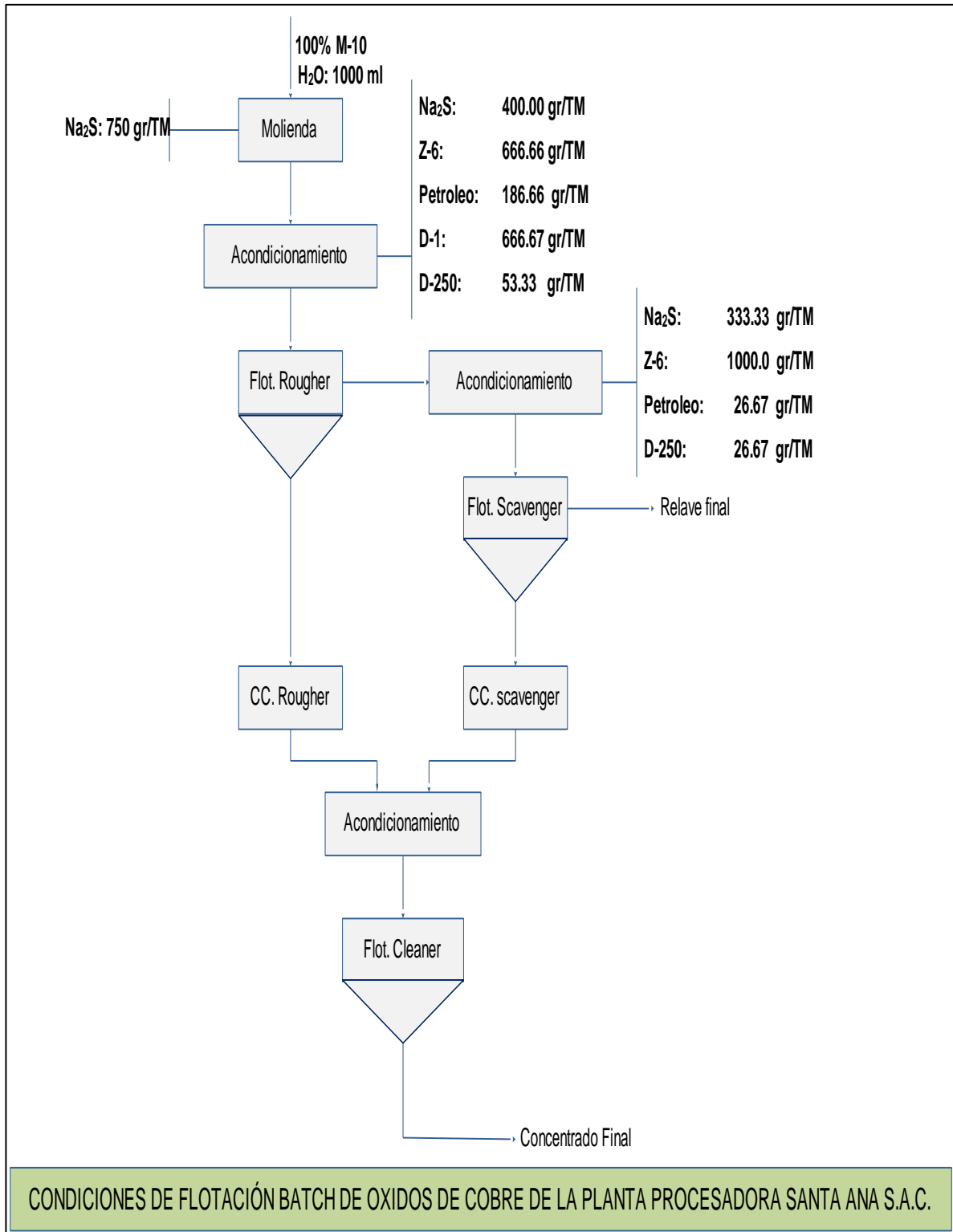


Figura 26.

Esquema de flotación 4

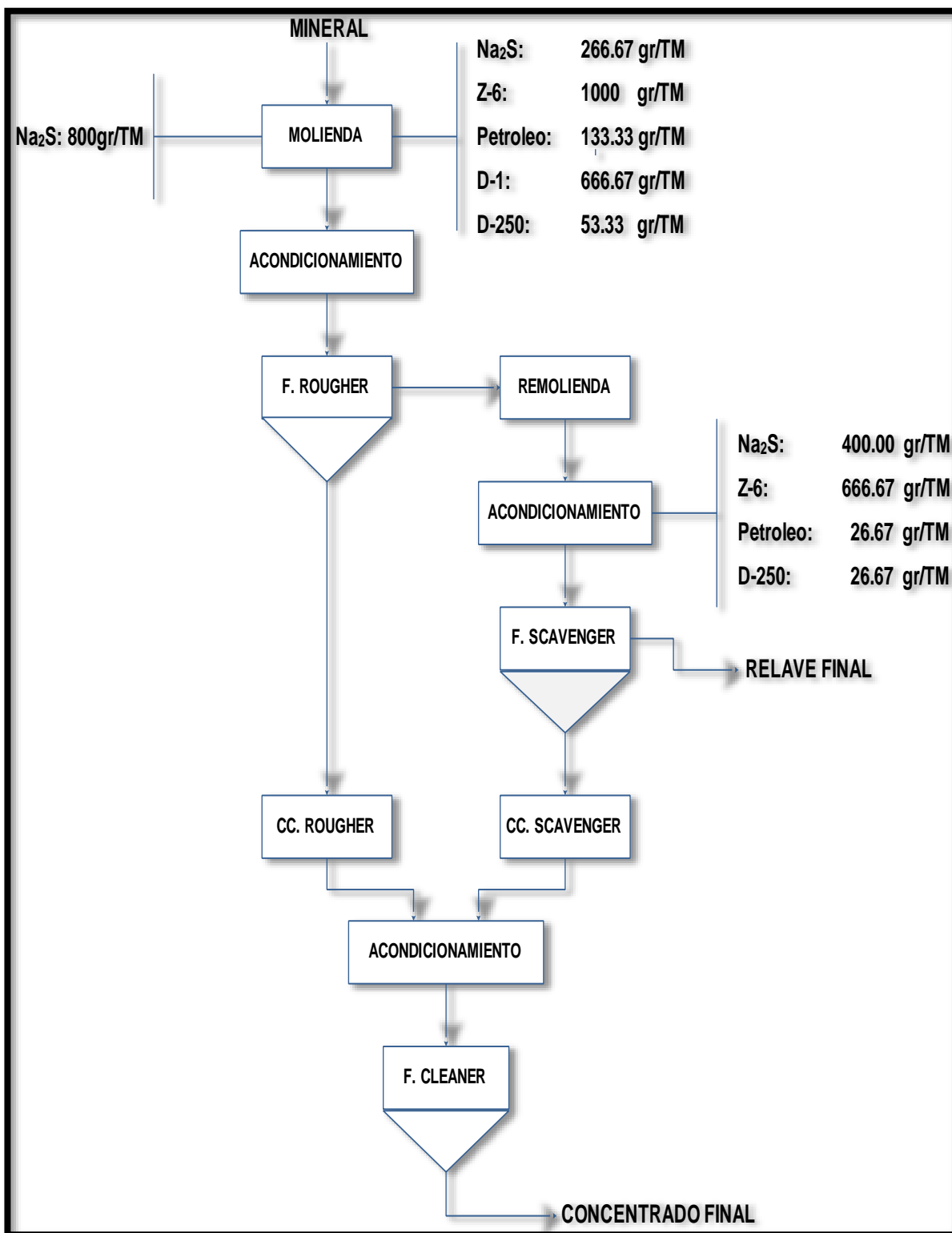


Tabla 12.*Resultados de múltiples ensayos realizados*

ITEM	LEYES				%RECUP.					
	CABEZA Cu %	Au gr/TM	CONCENTRADO Cu %	Au gr/TM	RELAVE %Cu	Cu %	Au %	RATIO	COSTOS REACTIVO US.\$/TM	VALOR MINERAL US\$/TM
1	3.33	0.38	23.68	6.35	1.5	58.67	85.2	12.12	18.43	113.55
2	3	0.28	23.4	5.35	1.2	63.24	72.26	12.33	17.49	110.03
3	3.1	0.35	25.2	6.67	1.35	59.75	76.56	13.63	19.3	108.66
4	2.8	0.29	23.23	5.15	1.33	55.69	86.5	14.9	17.89	90.3
5	2.5	0.35	26	6.04	1.25	52.53	79.8	19.8	21.79	77.57
6	2.8	0.36	23.55	6.14	1.25	58.46	88.2	14.65	18	95.04
7	3.1	0.4	24.35	6.57	1.45	56.6	76.4	13.88	16.8	102.48
8	2.75	0.34	24.35	5.56	1.45	50.27	84.65	17.61	19.48	80.74
9	2.6	0.36	23.89	6.89	1.37	50.38	79.14	18.24	18.35	76.25
10	3.3	0.37	23.46	5.84	1.31	63.87	81.55	11.13	10.45	122.28
11	2.35	0.26	18.58	5.47	1.26	54.02	78.45	15.89	20.15	87.09
12	3.8	0.34	27.6	6.78	1.38	67.04	79.23	10.83	22.23	151.91
13	3	0.27	25.63	5.89	1.19	63.27	74.34	13.5	17	111.86
14	2.36	0.39	22.13	6.48	1.2	51.97	75.91	18.04	18.3	70.37
15	2.9	0.37	21.15	6.71	1.24	62.03	84.23	11.44	17.46	105.07
16	3.18	0.32	22.78	6.17	1.19	65.79	87.97	10.89	20.39	120.71
17	2.54	0.36	25	5.39	1.15	57.36	79.45	17.16	17.29	85.5

Relación recuperación/tiempo de flotación con esquema de sulfuro de sodio.

Las condiciones de flotación empleadas en las pruebas Cu⁻¹ a Cu⁻⁴, y los resultados obtenidos luego de las etapas rougher y scavenger, permiten utilizar para los tiempos de flotación acumulados de 3 a 6 minutos, la data acumulada de recuperación de Cu. versus el tiempo en las gráficas de **Cinética de Flotación con Sulfuro de Sodio**, nos permiten diferenciar la dosificación de reactivos a emplear en el tratamiento a nivel industrial. Es preciso aclarar aquí, que la ley de cabeza del mineral de Cobre es importante para el tratamiento de óxidos, porque cuando la ley de cobre es de ley mayor

a 2.5% la recuperación aumenta, y si el mineral de cobre es de ley menor a 2.5% el porcentaje de recuperación es bajo.

En el caso para tratar mineral de la mina Zorro I en línea independiente, esta restricción de dilución ya no limitará la ley alimento en cuanto a ley Cu se refiere, puesto que el contenido de cobre pasa a ser un nuevo concentrado comercial por mineral de cobre producido y valorizado, razón por la que las muestras de referencia de este estudio, fueron diluidas si pero solo por las característica de extracción de mina, la ley de cabeza en veta es de 8% a 12% de Cu, la longitud de la veta es de 11/2 metro y al ser extraído de la mina esta ley se diluye de 3% a 3.5% de Cu.

En nuestro caso las muestras de cada zona para luego compositar fueron enviadas por geología y las tomadas nuevamente en mina de cada zona para luego compositar y que solicitamos muestree geología otra vez como segunda referencia, sólo se logró aumentar la ley de cabeza en contenido de Cu de 3.5% a 4.0 %, minerales de la zona de la Rampa 5 NV 845, fueron incluidas en esta muestra. En cambio, en el mineral composito alimento a Planta, no se le incluye como medida de control, Las diferencias observadas sobre ambos procesos con minerales de la mina Zorro I.

Empleando el **esquema del Sulfuro de Sodio**, permite incrementar la recuperación de Cobre conservadoramente de 60% con el actual esquema las recuperaciones se incrementan en un 65% de Cu. El concentrado que se obtiene desde una ley de cabeza de 3% a 4% nos arroja una calidad de 25% a 30% de cobre. El valor de la velocidad especifica de flotación K sube de 0.2805 min⁻¹ con Na₂S en flotación.

Empleando el **esquema aerofloat A-404**, se incrementa también la recuperación del oro de 60 % a 85%, en la asociación de Au-Cu y mínimo de plata.

Relación de nivel de adición kg/T de sulfuro de sodio vs recuperación

En las tabla 8 y gráficos adjuntos, se indican las dosificaciones y resultados de un rango de Na₂S desde 1.2 Kg/tm a 1.5 kg/tm, habiéndose logrado mejorar la calidad del concentrado de Limpieza, Manteniendo la recuperación batch Rougher + Scavenger sobre 60% Cu y 78% Au. Distribuyendo la adición de 0.8 Kg/tm tanto en molienda y 0.33 Kg/tm en el acondicionamiento, bajo esta condición se puede obtener un concentrado Cobre limpio 35% **Cu, el sulfuro de sodio es de efecto rápido es por eso que se adiciona por etapas, en la flotación scavenger se adiciona 0.27 Kg/tm, el concentrado que se obtiene pasa a una etapa de limpieza conjuntamente con el concentrado de la flotación Rougher.**

Con los resultados en las pruebas Cu-10 y Cu-11 en base a las condiciones planteadas, (150 mv de Eh, 600 g/t Na₂S...etc.) se **logran los objetivos propuestos para este estudio de investigación** pudiéndose ahora plantear el desarrollo del esquema independiente en planta.

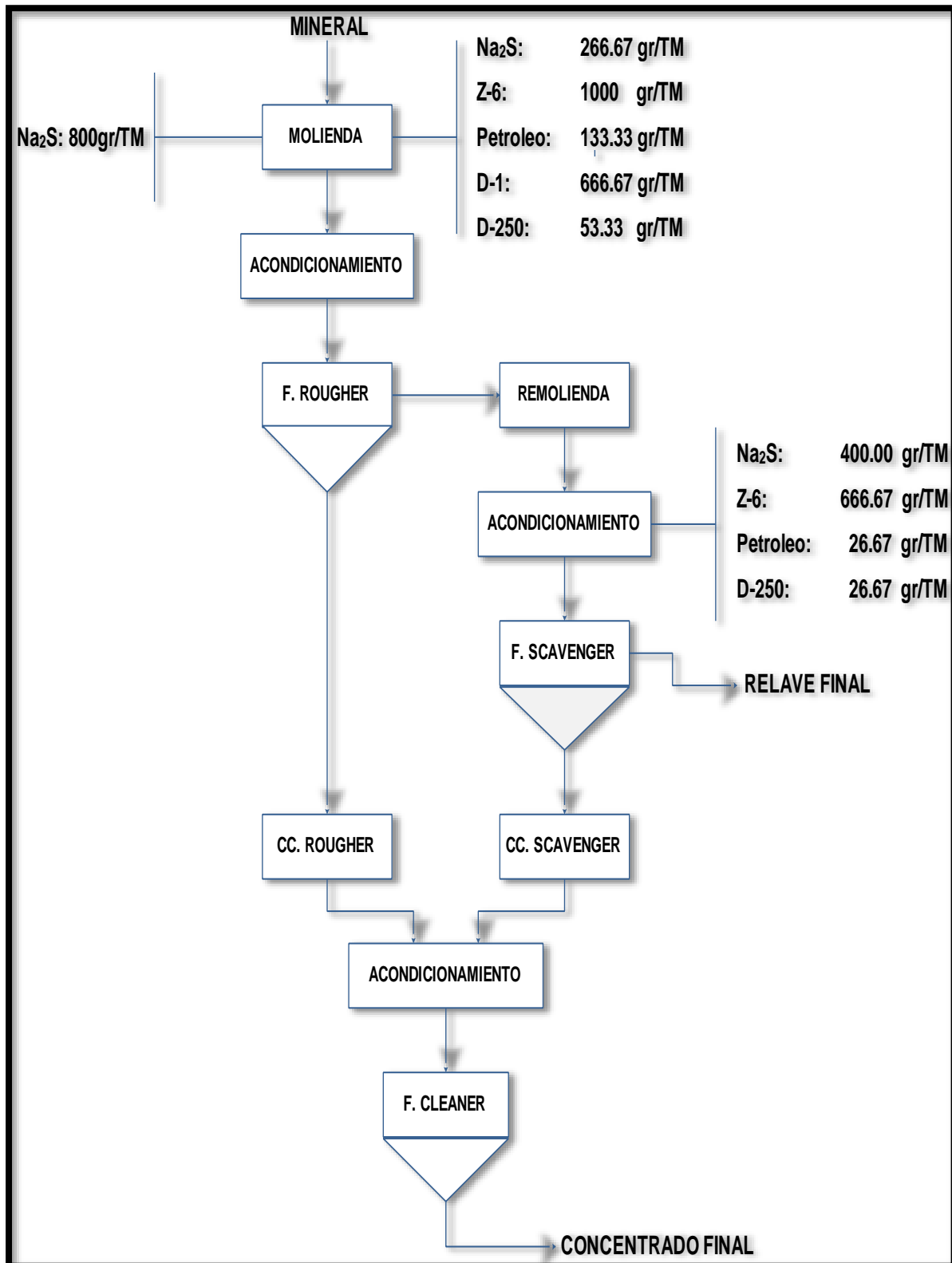
Tabla 13.

Condiciones de prueba de Cu-9, Cu-10 y Cu-11. Resultados de flotación

Condiciones y variables de prueba de flotación													
n° ensayo	Etapa	Dosificación de reactivos: gramos/toneladas								Resultados de la flotación			
		T (min)	PH	%SOLIDOS	Na ₂ S	Z-6	D-1	Petrol	D-250	Descrip.	%Ley Cu	%Recup. Cu	
		Cu-9	Molienda	25	7	60	800						Cabeza
	Acondic.	10	7	25	333.33	1000	666.7	107	53.3		Conc.	23.7	58.67
	F. Rougher	10	7								Relave	1.5	41.33
	F.cleaner	2	7										
	Acond.	5	7										
	F. SCV	8	7					26.67	26.7				
	Total	60	7		1466.66		666.7	133.7	80				
Cu-10	Molienda	25	7	60	950						Cabeza	3	100
	Acondic.	10	7	25	333.33	1333.3	666.7				Conc.	23.4	63.24
	F. Rougher	10	7					160	53.3		Relave	1.2	36.76
	F.cleaner	2	7										
	Acond.	5	7										
	F. SCV	8	7		166.67	666.66		26.67	26.7				
	Total	60	7		1450	2000	666.7	186.7	80				
Cu-11	Molienda	25	7	60	1000						Cabeza	3.3	100
	Acondic.	10	7	25	333.33	800	666.7				Conc.	23.5	63.87
	F. Rougher	10	7					266.7	53.3		Relave	1.31	36.16
	F.cleaner	2	7										
	Acond.	5	7										
	F. SCV	8	7		333.33	666.66		26.67	26.7				
	Total	60	7		1666.66	1466.67	666.7	293.3	80				

Figura 27.

Flow Sheet actual de las pruebas metalúrgicas.



Resultados actuales de la prueba continua

En Las condiciones de tratamiento empleadas, se consideró solo una etapa de limpieza, por limitación del equipo de laboratorio. El tratamiento a nivel industrial se sigue el mismo diagrama de flujos de las pruebas realizadas.

La fineza de molienda se fija en 65% a 75% malla -200, con remolienda para la etapa scavenger. La dosificación de reactivos se grafica en el Flow sheet de flotación y provienen de la prueba Cu-11, donde se usó un consumo de 1466.67 gr/tm de Na₂S y se realizó remolienda que no se aplica a las pruebas anteriores, mejorando aún más la recuperación del cobre.

Aquí se prevé que es imprescindible el control de Eh y por lo tanto, se debe disponer de un sensor en línea de potencial de la pulpa, a fin de ajustar el consumo de Na₂S a un valor ya descontado de la semipila de Ag/Cl Ag, correctamente calibrada por soluciones buffers.

Análisis económico

De acuerdo al cuadro de resultados de varias pruebas de tratamiento de flotación de cobre con sulfurización del reactivo de sulfuro de sodio logrado a nivel industrial se observa las leyes, recuperaciones, tonelaje de concentrado y el valor económico del concentrado de cobre, en este cuadro se constata que se obtiene mayor recuperación con una ley de cabeza de 3% a 3.5% de Cu y con leyes de cabeza de 2% a 2.5% de Cu las recuperaciones decaen hasta 39.

Además, la calidad de concentrado llega hasta 15% de ley de Cu, teniendo una liquidación de \$/. 3,570.79. En cambio, con una ley de 3.5% de Cu la calidad del cobre llega a 28% de Cu, teniendo una liquidación de \$/. 13,655.31. concluyendo que para obtener mejores ganancias se requiere procesar el mineral de cobre con una ley de cabeza mayor a 2.5% de Cu.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Se analizan circuitos de flotación a través de una primera aproximación. Modificando los tiempos de flotación, a partir de los parámetros cinéticos obtenidos para cada etapa, y la combinación de las etapas de flotación, permiten obtener el posible escenario, y se llega a recuperar el cobre alrededor de 65%.

La ventaja comparativa de aplicar al tratamiento metalúrgico Independiente de 6 partes de Mineral de Cobre, sobre estos dos grupos de minerales, resulta en lograr un valor agregado mensual aproximado de US \$ \$ 13,655.31, al tratar 13,440 tm. (Ver Tabla Relación Costo-Beneficio, y Valorización del concentrado sección 6.2), por el tratamiento de la flotación independiente de los minerales de Cobre Secundario.

El tratamiento de los cobres de ley aproximada en 3.5 % Cu, se basa en la aplicación usando el Sulfuro de Sodio convenientemente, permitiendo así en cambio extraer adicionalmente de estos minerales un *Concentrado de Cobre de calidad sobre los 23% de cobre.*

Los Resultados Metalúrgicos Proyectados de las dos tablas resumen siguientes como un conjunto total de Cu.

La programación inmediata siguiente de las pruebas a nivel de una tm/hr en Planta Piloto, servirán para confirmar los resultados que se muestran de las pruebas cerradas en continuo de flotación Cu que se ha proyectado a nivel Industrial. Viabilizando la factibilidad del proyecto de procesar 1 millón 700 mil toneladas de

Mineral en la Minera Zorro I. y la implementación de su tratamiento paralelo independiente a 350 tnpd en la Planta Concentradora Santa Ana S.A.C.

6.2.Recomendaciones

La realización de este estudio sugiere que, en una próxima etapa, sería beneficioso explorar diversas configuraciones de circuitos para identificar el mejor circuito de operación y validar los resultados de las simulaciones de circuitos cerrados a través de pruebas experimentales a escala de laboratorio o pilotaje. Esto permitiría obtener resultados más precisos y relevantes para la industria.

Además, se recomienda realizar pruebas experimentales para evaluar el efecto de utilizar concentrados con leyes más altas de cobre, con el fin de obtener resultados más concluyentes y relevantes para la industria. Otro aspecto que requiere atención es el tamaño de las burbujas, ya que los valores obtenidos en este estudio son significativamente más bajos que los que se encuentran en la industria. En particular, se sugiere investigar la factibilidad de diseñar celdas de flotación que permitan generar burbujas de diámetros pequeños, similares a los obtenidos en este estudio, para poder reproducir las condiciones aerodinámicas alcanzadas en estas pruebas.

En resumen, se sugiere que futuras investigaciones se centren en explorar nuevas configuraciones de circuitos, evaluar el efecto de concentrados con leyes más altas de cobre y diseñar celdas de flotación que permitan generar burbujas de diámetros pequeños, con el fin de mejorar la eficiencia y la efectividad del proceso de flotación.

REFERENCIAS

Quiroz Núñez Operaciones Unitarias en Procesamiento de Minerales I.1986.

David L. Porras Castillo .Procesamiento de Minerales – Fundamentos básicos para Operadores y supervisores de Plantas Concentradoras.

Tecsup. técnicas de tratamiento de minerales –Hidrometalurgia del oro. 2007.

Misari Ch., Fidel. “Metalurgia del Oro”. Vol. I. CEPECT. 1era Edición. Noviembre de 1993. Lima – Perú.

Vargas Gallardo, Juan. “Metalurgia del Oro y la Plata”. Editorial San Marcos. Segunda Edición. 1980. Lima – Perú.

Arenas F., Alonso. “Hidrometalurgia del Oro y la Plata”. Antofagasta – Chile. 1983.

Yannopoulos J.C. “Metalurgia Extractiva del Oro”. Traducción de Agustín Cárdenas Revilla. Oruro – Bolivia. 1993.

Zamora E., Gerardo. “Hidrometalurgia. Apuntes de Cátedra”. II Curso Internacional de Metalurgia Extractiva y Procesamiento de Minerales. Oruro julio – diciembre 2000.

Mario A. Cerrón Madueño, Fidel Córdoba Cabrera, Manuel Rubén guerreros meza. Cálculos metalúrgicos en la planta concentradora. Julio de 1998.

Galia sedano Mayhua. Manual de operaciones – planta concentradora. 2004.

Feliciano Bernui Paredes, Jesús mora Tandaipan. Manual de practica de laboratorio – química general.

ANEXOS

Anexo 1.

Máquina de flotación Labtech-ESSA



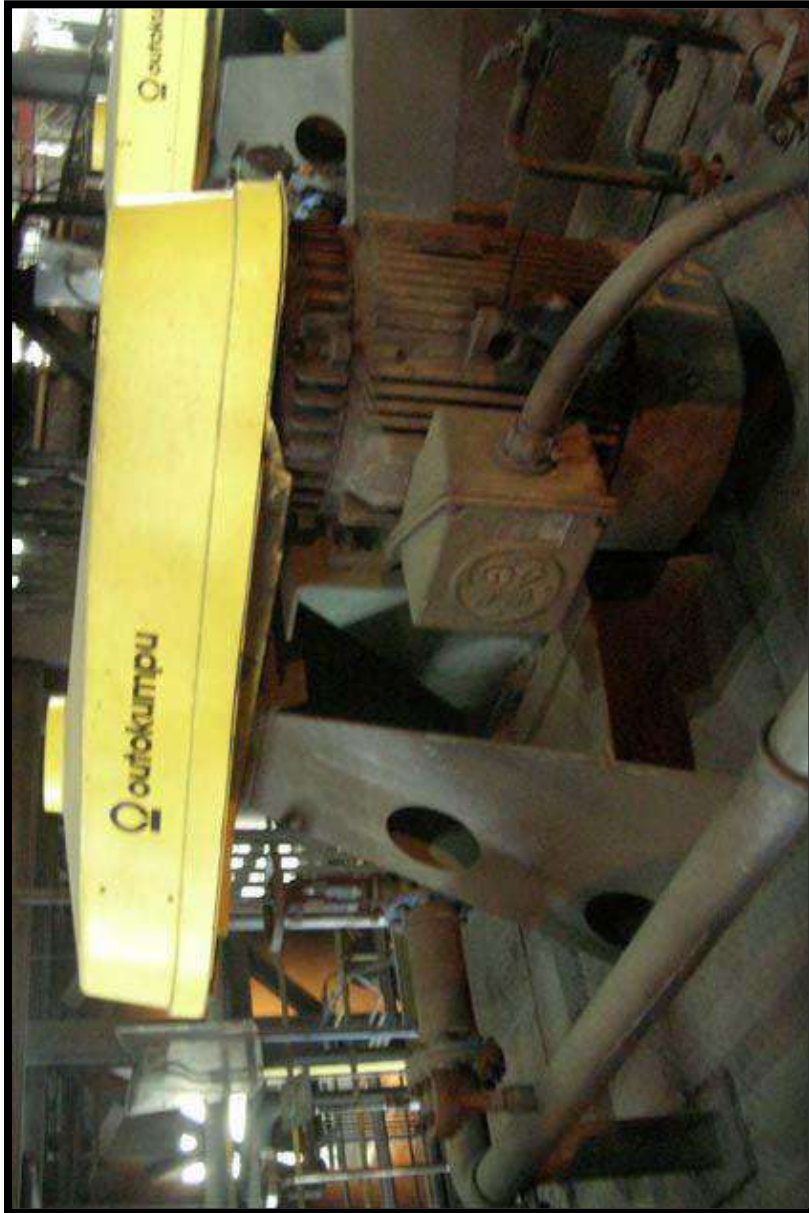
Anexo 2.

Paleta en celda de flotación.



Anexo 3.

Celda de flotación con cubierta hermética



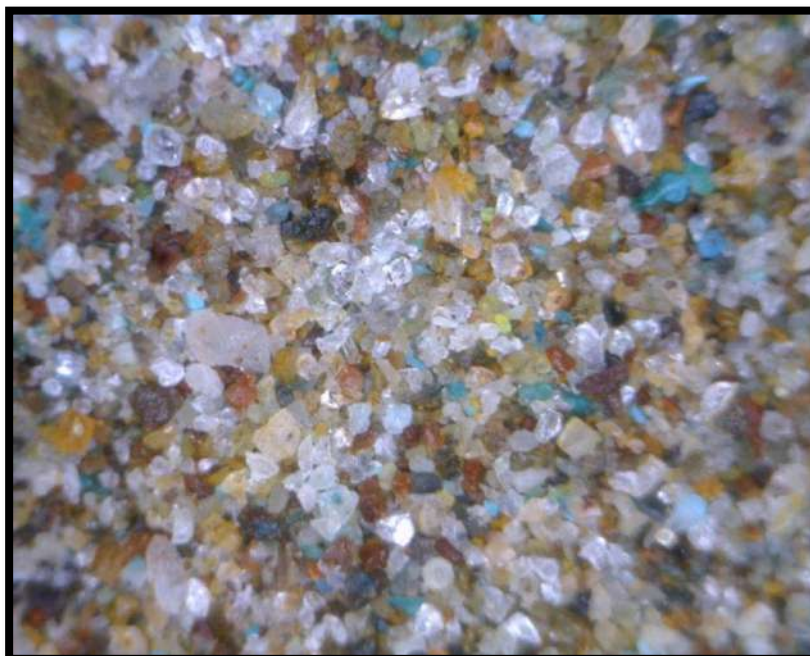
Anexo 4.

Concentrado de Cobre con 26%



Anexo 5.

Concentrado de Cobre con 28%



Anexo 6.

Concentrado de Cobre con 25%



Anexo 7.

Concentrado de Cobre con 30%



Anexo 8.

Concentrado de Cobre con 24%



Anexo 9.

Relave al 1.27% de cobre



Anexo 10.

Relave al 1.32% de cobre

