

Universidad Nacional
"José Faustino Sánchez Carrión"



FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA Y METALURGICA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Metalúrgica

"TESIS"

**"CINÉTICA DE FLOTACIÓN DE MINERALES SULFURADOS PARA
OBTENCIÓN DEL CONCENTRADO DE COBRE Y ZINC EN PLANTA
CONCENTRADORA DE EMPRESA LOS QUENUALES S.A. UNIDAD
MINERA CONTONGA – SAN MARCOS 2021"**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO METALURGICO

AUTOR:

PAUCAR ESPINOZA, Edwin Roosmel

ASESOR:

**M(o) Ronald Luis RAMOS PACHECO
Reg. CIP N° 131168**

Ciudad Universitaria, Setiembre del 2021

Huacho - Perú

INDICE

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
INDICE	iv
INDICE DE FIGURAS	viii
INDICE DE TABLAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	xv
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	01
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	01
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	02
1.2.1 Problema General	03
1.2.2 Problemas Específicos	03
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	03
1.3.1 Objetivo General	03
1.3.2 Objetivos Específicos	03
1.4 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	04
1.4.1 Delimitación espacial	04
1.4.2 Delimitación temporal	04
1.5 JUSTIFICACIÓN	04
	ii

1.5.1	Justificación Teórica	04
1.5.2	Justificación Práctica	04
1.5.3	Justificación Metodológica	05
1.6	IMPORTANCIA	05
1.6.1	Importancia Social	05
1.6.2	Importancia Social	05
1.6.3	Importancia Académica	05
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO		07
2.1	ANTECEDENTES DE LA EMPRESA LOS QUENUALES	07
2.1.1	Historia	07
2.1.2	Geomorfología	07
2.1.3	Geología y recursos minerales	07
2.1.4	Clima y meteorología	09
2.1.5	Descripción de la planta	10
2.1.6.	Proceso de Producción	12
2.1.6.1.	Cancha de mineral	12
2.1.6.2.	Balanza de pesaje	13
2.1.6.3.	Tolva de Gruesos	14
2.1.6.4.	Chancado primario o trituracion	14
2.1.6.5.	Chancado secundario	15
2.1.6.6.	Chancado terciario	16
2.1.7.	Área de molienda	19
2.1.7.1.	Molino de barras de (7' x 12') N ° 01	21

2.1.8.	Concesiones mineras	24
2.2	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	24
2.2.1	Nacionales	24
2.2.2	Internacionales	28
2.3	BASES TEÓRICAS	31
2.3.1	Análisis Granulometría del Mineral	31
2.3.2	Fórmulas matemáticas utilizadas	32
2.3.2.1	Función de distribución de Gates-Gaudin-Schuhmann(G-G-S)	32
2.3.3	Molienda	33
2.3.3.1	Variables en el Procesamiento de Minerales	33
2.3.3.2	Velocidad critica del molino	34
2.3.4	Dosificación de reactivos	35
2.3.4.1	Reactivos de Flotación para los Minerales Polimetalicos	36
2.3.4.2	Reguladores	37
2.3.4.3	Activadores	37
2.3.4.4	Colectores	38
2.3.4.5	Espumante	39
2.3.4.6	Depresores	40
2.3.5	Cinética del proceso de flotación	41
2.3.5.1	Máquinas de Flotación Mecánicas o Convencionales	42
2.3.5.2	Flotación de Cobre	44
2.3.5.3	Principales variables operacionales	45
2.3.5.4	Conceptos Básicos de Cinética de Flotación	45

2.3.6	Análisis de la curva de cinética de flotación	45
2.3.7	Técnicas o procedimientos	47
2.3.7.1	Identificación del Mineral	47
2.3.7.2.	Preparación de la muestra	47
2.3.7.3.	Chancado y pulverización del mineral.	49
2.3.7.4.	Cuarteo de muestra.	49
2.4	DEFINICIONES CONCEPTUALES	50
2.5	FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS	51
2.5.1	Hipótesis General	51
2.5.2	Hipótesis Específicas	51
2.6.	PRUEBAS EXPERIMENTALES	52
2.6.1	Análisis Granulometría del Mineral	52
2.6.1.1	Evaluacion del Analisis Granulometrico	52
2.6.2.	Determinacion la Gravedad Especifica del Mineral Polimetalico	54
2.6.2.1.	Determinación de la Densidad del Mineral	55
2.6.6.2.	Determinación del pH Natural del Mineral	55
2.6.3	Carga para la Molienda	59
CAPITULO III: METODOLOGÍA		62
3.1	DISEÑO METODOLÓGICO	62
3.1.1	Tipo	62
3.1.2	Enfoque	62
3.1.3	Nivel	62
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA	62

3.2.1	Población	62
3.2.2	Muestra	62
3.3	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES	62
3.4	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	63
3.4.1	Técnicas a Emplear	63
3.4.2	Descripción de los Instrumentos	63
3.4.3	Fuentes de recolección de datos	63
3.5	TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	63
	CAPITULO IV: RESULTADOS	65
4.1	DETERMINACIÓN DEL GRADO DE MOLIENDABILIDAD	65
4.1.1.	Pruebas de Moliendabilidad	66
4.1.2	Pruebas Estandar de Moliendabilidad	67
4.2	PREPARACIÓN DE REACTIVOS PARA FLOTACIÓN EN EL LABORATORIO	70
4.2.1	Preparación de Reactivos Solidos	70
4.3	FILTRADO Y SECADO	71
4.4	PRUEBAS METALÚRGICAS	72
4.4.1	Balance Metalúrgico	73
4.5.	CINETICA DE FLOTACIÓN	75
4.5.1	Modelo de Garcia-Zuñiga para el Recuperacion de Cobre	75
4.5.2	Modelo de Garcia-Zuñiga para el Recuperacion de Zinc	77
	CAPITULO V: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
5.1.	DISCUSIÓN	79
5.2.	CONCLUSIONES	80

5.3.	RECOMENDACIONES	81
CAPITULO VI: FUENTES DE INFORMACIÓN		82
5.2	FUENTES BIBLIOGRÁFICAS	82
5.3	REFERENCIAS ELECTRÓNICAS	83
ANEXOS		
	Anexo N° 01. Matriz de Consistencia	87

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Cancha de mineral de la planta concentradora Los Quenuales	12
Figura 2. Ruma de mineral bruto llegado de mina	13
Figura 3. Balanza de pesaje de minerales y concentrados	13
Figura 4. Parrilla de tolva de grueso que tiene una capacidad 250 tons	14
Figura 5. Chancadora primario Mandíbula	15
Figura 6. Chancadora secundaria HP-300	16
Figura 7. Chancadora terciaria	17
Figura 8. Flow Sheet de Circuito de Chancado	18
Figura 9. Faja transportadora en el área de la molienda	19
Figura 10. Flow Sheet del Circuito de Molienda	20
Figura 11. Molino 7' x 12' interior y exterior	21
Figura 12. Impacto y fracción, solo fracción.	22
Figura 13. Gráfica de distribución de Gates-Gaudin-Schuhmann(G-G-S)	32
Figura 14. Formacion de Catara, Cascada, Friccion en la molienda	35
Figura 15. Reactivos Utilizados para flotacion	36
Figura 16. Reguladores de pH	37
Figura 17. Activadores para Flotacion	38
Figura 18. Adhesión del colector a la superficie del mineral	39
Figura 19. Adhesión espumante a la superficie de la burbuja de aire	40
Figura 20. Depresores	41
Figura 21. Flotacion de Bulk	43
	viii

Figura 22. Velocidad de Flotacion vs Tiempo	45
Figura 23. Comparacion de Recuperacion de Concentrado	46
Figura 24. Identificacion del mineral polimetalico	47
Figura 25. Muestra	48
Figura 26. Reduccion del Tamaño del Minera	49
Figura 27. Pulverizado del Mineral	49
Figura 28. Cuarteo del Mineral	50
Figura 29. Tamizador de Minerales	52
Figura 30. Diagrama de la Ecuación Gates – Gaudin - Schuhmann	53
Figura 31. Método de la fiola	54
Figura 32. Fiolas enzadas con agua	55
Figura 33. pH vs (gr) cal consumido	57
Figura 34. Cintas de medida de PH	58
Figura 35. Determinación del pH	58
Figura 36. Pendiente de la velocidad de molienda	60
Figura 37. Molienda de mineral	61
Figura 38. Pasante de malla -200 vs Tiempo – Ecuación Potencial	66
Figura 39. Pasante de malla -200 vs Tiempo – Ecuación Polinomial	67
Figura 40. Diagrama de Flujo en Laboratorio para las pruebas realizadas	69
Figura 41. Las zonas de flotación	71
Figura 42. Filtro de Prensa y Queque	72
Figura 43. Recuperacion vs Tiempo para el cobre (Cu)	76
Figura 44. Recuperacion vs Tiempo para el zinc (Zn)	77

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Especies Mineralógicas Relevantes	09
Tabla 2. La densidad descarga de los molinos.	22
Tabla 3. Concesiones Mineras	24
Tabla 4. Parámetros de molienda	34
Tabla 5. Ley de cabeza	48
Tabla 6. Análisis Granulométrico	53
Tabla 7. Determinación del peso específico del mineral	55
Tabla 8. Consumo de cal con respecto al pH	58
Tabla 9. Parámetro de velocidad de molienda	60
Tabla 10. Velocidad de Operación del Molino	60
Tabla 11. Análisis Granulométrico de Tiempo de Molienda (0, 5, 10, 15. min)	65
Tabla 12. Pasante de la malla # - 70, # -100, # - 200 con respecto al tiempo	66
Tabla 13. Dosificación de Reactivos para Flotación	70
Tabla 14. Tiempo de Flotación - (1 min)	73
Tabla 15. Tiempo de Flotación - (2 min)	74
Tabla 16. Tiempo de Flotación - (4 min)	74
Tabla 17. Tiempo de Flotación - (5 min)	74
Tabla 18. Cinética de Flotación utilizando el Modelo de García- Zúñiga - Cobre	76
Tabla 19. Cinética de Flotación utilizando el Modelo de García- Zúñiga - Zinc	77

RESUMEN

La presente investigación comprendió la ejecución de un programa de pruebas metalúrgicas basadas en la concentración por flotación sobre una muestra denominada Compósito General proveniente de la Unidad Minera Contonga - distrito de San Marcos, departamento de Ancash; el cual se orientó a un control de la Flotación para aumentar la recuperación de la obtención de concentrados de cobre, plomo y zinc, evaluando las variables más influyentes del proceso tales como: granulometría de molienda y remolienda, pH de flotación, tiempo de flotación, etapas de limpieza y dosificación de reactivos.

El programa de pruebas incluyó la preparación y generación de la muestra Compósito General, su caracterización mineralógica y principalmente la realización de pruebas de flotación del tipo rougher, cinética de flotación, flotación en ciclo abierto y flotación en circuito cerrado a nivel laboratorio, los cuales sirvieron para la evaluación y definición de las variables del proceso, permitiendo la recuperación de los minerales de cobre, plomo plata y zinc.

El esquema de tratamiento definido para esta muestra indica que la recuperación de los minerales Pb-Ag-Cu-Zn se realizó en 3 circuitos de flotación, los cuales son: Circuito bulk Cu-Pb para la flotación colectiva de minerales plomo-cobre-plata; Circuito de Separación para la obtención de los concentrados finales de cobre y plomo y Circuito zinc para flotación de los minerales de zinc provenientes de los relaves del circuito bulk Cu-Pb.

Los resultados de la prueba de flotación en ciclo cerrado mediante tiempos de 1 min, 2 min, 4 min y 8 min, aplicando las mejores condiciones de operación, permitieron recuperaciones de

cobre para esas pruebas de flotación de 43,55%, 75,30%, 76,94% y 85,11% respectivamente, y para el Zinc recuperaciones de 58,18%, 68,54%, 83,57% y 86,24% respectivamente.

Palabras Claves: Moliendabilidad, Flotación Rougher, Concentrado de Cobre, Concentrado de Zinc.

ABSTRACT

The present investigation included the execution of a metallurgical test program based on concentration by flotation on a sample called General Compound from the Contonga Mining Unit - San Marcos district, Ancash department; which was oriented to a Flotation control to increase the recovery of obtaining copper, lead and zinc concentrates, evaluating the most influential variables of the process such as: grinding and regrinding granulometry, flotation pH, flotation time, cleaning stages and reagent dosing.

The test program included the preparation and generation of the General Composite sample, its mineralogical characterization and mainly the performance of flotation tests of the rougher type, flotation kinetics, open cycle flotation and closed circuit flotation at the laboratory level, which served for the evaluation and definition of the process variables, allowing the recovery of copper, lead, silver and zinc minerals.

The treatment scheme defined for this sample indicates that the recovery of the Pb-Ag-Cu-Zn minerals was carried out in 3 flotation circuits, which are: Cu-Pb bulk circuit for the collective flotation of lead-copper-silver; Separation Circuit for obtaining final copper and lead concentrates and Zinc Circuit for flotation of zinc minerals from the tailings of the bulk Cu-Pb circuit.

The results of the closed cycle flotation test using times of 1 min, 2 min, 4 min and 8 min, applying the best operating conditions, allowed copper recoveries for these flotation tests of 43.55%, 75.30%, 76.94% and 85.11% respectively, and for Zinc recoveries of 58.18%, 68.54%, 83.57% and 86.24% respectively.

Key Words: Grindability, Rougher Flotation, Copper Concentrate, Zinc Concentrate.

INTRODUCCIÓN

En nuestro país que está en vías de desarrollo son de vital importancia los estudios de investigación, evaluación y análisis constantes para mejorar la recuperación e implementación de parámetros que nos ayuden a mejorar las recuperaciones en las plantas concentradoras y con mayor razón la Unidad en mención, ya que procesa minerales polimetálicos.

La PLANTA CONCENTRADORA DE LA UNIDAD MINERA CONTONGA, consta de las siguientes secciones: trituración, molienda, clasificación y flotación.

El presente trabajo tiene por objetivo optimizar en la recuperación del Pb, Cu y Zn en la planta concentradora de la Unidad Minera Contonga; basada en las pruebas experimentales realizadas en la misma Unidad Minera y Laboratorio Especializado en pruebas metalúrgicas de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, contando también con el apoyo de las diferentes áreas que comprende la Minera.

Es por ello que se presenta el presente trabajo titulado **CINÉTICA DE FLOTACIÓN DE MINERALES SULFURADOS PARA OBTENCIÓN DEL CONCENTRADO DE COBRE Y ZINC EN PLANTA CONCENTRADORA DE EMPRESA LOS QUENUALES S.A. UNIDAD MINERA CONTONGA – SAN MARCOS 2021**, el presente trabajo tiene por objeto hacer la evaluación de las principales fases, procesos, variables y evaluar los principales parámetros de flotación para la obtención de concentrados de calidad.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Las dificultades del proceso de flotación se presentan principalmente en minerales polimetálicos en donde los sulfuros presentan diversas características de mineralización. Los problemas que presenta la planta concentradora de minerales de la Empresa Minera Los Quenuales – Unidad Minera Contonga – San Marcos, son: problemas en la separación y recuperación por flotación de concentrados de Cobre y Zinc de minerales que contienen calcopirita y esfalerita (ZnS) está bien establecida y normalmente se logra con bastante eficacia. Las recuperaciones óptimas de cobre se logran generalmente utilizando una buena combinación de xantato y di tiosulfato. Los espumantes usados en la flotación de esfalarita tienden a ser del tipo más débil, tal como el MIBC, porque la galena es fácilmente flotable y tiene una cinética de alta flotación. Sin embargo, por la cinética de alta flotación y la alta densidad del mineral de galena, la capacidad de acarreo de la espuma de mineral puede requerir el uso de una espuma ligeramente más fuerte o una combinación con un componente de espuma más potente para alcanzar óptimos resultados metalúrgicos. La recuperación se realizará por el método de concentración por flotación.

Las posibles causas podrían ser, el tipo de mineral, problemas operacionales y dosificación de reactivos.

Los concentrados de cobre provienen de las celdas de flotación y son el resultado de la trituración, chancado y molienda de los minerales sulfurados de minas subterráneas. Producto de la flotación y sus repasos, de estos minerales pulverizados se obtiene el

concentrado. La composición química de los concentrados declarada, se reduce generalmente a tres elementos: cobre, oro, plata y se informa el contenido porcentual de cobre en el concentrado, del orden del 22% y en grs/ton. los de oro y plata.

Los colectores xantato se emplean comúnmente en la flotación de minerales de cobre. Aunque son muy eficaces para una alta recuperación de sulfuros de cobre, tienen la desventaja de que no son muy selectivos. Como alternativa a estos colectores xantato, se han desarrollado colectores más específicos para minerales de cobre, entre los que se encuentran los del tipo quelato, tales como los tionocarbamatos y la tio urea (Nagaraj,1987). Estos colectores se caracterizan por tener una alta especificidad por el ión cobre. Se ha propuesto que la adsorción de los tionocarbamatos sobre la superficie de calcopirita, es como se ilustra en el esquema que se presenta en la Figura 3 (Ackerman et al., 1984).

Entonces al comercializar el mineral en forma de concentrado se determina su valor en base, principalmente, al precio del cobre actualizado considerando una serie de otras variables que detallaremos en esta tesis. Esta es una compleja transacción entre las empresas mineras, los comercializadores, las refinerías, las fundiciones u otros, que se dedican a transformar el concentrado en metal electrolíticamente puro, apto para ser utilizado en la industria eléctrica, electrónica u otras.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Esta investigación pretende estudiar la recuperación de cobre a partir de sulfuros de cobre, un concentrado de cobre, mediante procesos de flotación con el fin de obtener un producto/compuesto de cobre de la calidad suficiente como para poder competir con los productos ya existentes en el mercado actual.

Para lo cual formularemos la siguiente pregunta:

1.2.1. Problema General

¿Cómo realizamos el control de la cinética de flotación de minerales sulfurados para la obtención del concentrado de cobre y zinc en la planta concentradora de la Empresa LOS QUENUALES S.A. Unidad Minera Contonga -SAN MARCOS 2021?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cómo se determinará la caracterización de la muestra estudio en la cinética de flotación de minerales sulfurados?
- ¿Cómo se realizará el control de las variables en la cinética de flotación para obtener un concentrado de cobre con mayor recuperación?
- ¿Cómo se realizará el control de las variables en la cinética de flotación para obtener un concentrado de zinc con mayor recuperación?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivo General

Realizar un control de las variables operativas en la cinética de flotación de minerales sulfurados para obtener un concentrado de cobre y zinc con buenas recuperaciones y calidad de acuerdo a las exigencias de las fundiciones.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterización de la muestra estudio.
- Obtención del concentrado de cobre.
- Obtención del concentrado de zinc.

1.4. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Delimitación espacial

El estudio de la investigación se centra en la planta de concentradora de la Empresa Los Quenuales S.A. Unidad Minera Contonga, ubicada en el distrito de San Marcos, provincia de Huari, departamento de Ancash.

1.4.2. Delimitación temporal

La presente investigación está delimitada entre los meses de Enero a Mayo 2021.

1.5 JUSTIFICACIÓN

1.5.1 Justificación Teórica

Los resultados de la investigación son consistentes con el control e innovación tecnológica que se quiere aplicar al proceso de flotación para aumentar la recuperación en el concentrado.

1.5.2 Justificación Práctica

La gran mayoría de empresas del sector minero – metalúrgico no operan aplicando cambios tecnológicos a los procesos para optimizarlos, esto les resta competitividad en el mercado local frente a las empresas del extranjero cuyos procesos de flotación de minerales cuentan con equipos, reactivos actualizados que permiten una mayor recuperación del mineral valiosos. La Empresa LOS QUENUALES S.A. siguiendo su dirección estratégica, romper distancias frente a la competencia, busca implementar cambios tecnológicos e investigación aplicada a nivel laboratorio y en su planta concentradora, para obtener productos con mayor recuperación de cobre en este caso específico, consiguiendo aumentar su prestigio, para lograr capacitar a su recurso humano

(profesionales y técnicos) y cumplir lineamientos estratégicos ligados a la productividad logrando una excelente carta de presentación a nivel local e internacional.

1.5.3 Justificación Metodológica

La investigación contribuye a controlar las variables operativas inmersas en el proceso de flotación de minerales sulfurados, para que estas variables actúen eficientemente y permite una mayor recuperación de cobre en el concentrado, ubicando a la empresa en la realidad, como eficiente y consiguiendo un mayor beneficio hacia los colaboradores y consumidores.

1.6 IMPORTANCIA

El presente proyecto es de importancia:

1.6.1 Importancia Tecnológico

Para la Empresa LOE QUENUALES S.A. Unidad Minera Contonga (objeto de estudio) porque se realiza un control eficiente a las variables intervinientes en el proceso de flotación de minerales sulfurados que le permite aumentar la recuperación de cobre de manera más simplificada sin doble esfuerzo, de manera más adecuada y con menos costo.

1.6.2 Importancia Social

Para la sociedad porque es replicable y permite ser usado como referencia para otras plantas concentradoras que permitan incremento económico para el beneficio social y ampliación de la Planta Concentradora de LOS QUENUALES S.A. Unidad Minera Contonga – SAN MARCOS.

1.6.3 Importancia Académica

Para la Empresa LOS QUENUALES S.A. Unidad Minera Contonga – SAN MARCOS porque los controles aplicados a los procesos de flotación, nos brinda aporte académico al aplicar una nueva metodología que permite una mayor recuperación de cobre en el concentrado.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA EMPRESA LOS QUENUALES S.A. – UNIDAD MINERA CONTONGA

2.1.1. Historia

La Unidad Minera Contonga se trabaja desde los años 60, sus inicios fueron a pequeña escala por los Señores J.M. Llanos, P. Rodríguez, La Compañía Minera Santo Toribio S.A., adquiere la propiedad, posteriormente los años 1975-1979 Sociedad Minera Gran Bretaña S.A., toma en opción de compra las concesiones hasta 1990.

El año 2001 Cedimin SAC toma la opción de compra de la empresa liquidadora Itelfin SAC y desde diciembre de 2003 Minera Huallanca SAC es el titular de la mina Contonga y desde 2006 pasa a ser Compañía Minera Huallanca S.A.

Nyrstar Perú S.A., adquiere la propiedad a Minera Huallanca y actualmente es propietaria de la unidad minera Contonga.

2.1.2. Geomorfología

Las operaciones de la UM Contonga se desarrollan a 11 km del Parque Nacional Huascarán, los derechos mineros ocupan una extensión de 2,048.2 hectáreas (ha).

2.1.3. Geología y recursos minerales

En el área de la UM. Contonga afloran predominantemente rocas sedimentarias e intrusitas.

Las rocas sedimentarias están representadas por lutitas del Grupo Goyllar; limonitas

calcáreas, lutitas de la Formación Chulec; rocas calcáreas de la Formación Pariatambo; arcillas calcáreas y grauvacas de la Formación Jumasha y afloramientos dispersos de calcáreos de la Formación Celendín.

Las rocas intrusivas cortan a la secuencia de rocas sedimentarias, aflorando como stocks: Stock Contonga, Stock Taully y Stock Ango. Los intrusitos tienen principalmente cuarzo y feldespatos, mostrando texturas porfiríticas; localmente gradan a monzonitas porfiríticas y están cruzados por diques félsicos.

Los tipos de mineralización observados son reemplazamientos de calcosilicatos (skarn), y brechas mineralizadas; el primer tipo se desarrolla en el contacto Norte mientras que las brechas mineralizadas ocurren en los contacto Este y Oeste. La mineralización en el skarn, está constituida de pirita, esfalerita, galena, calcopirita, marmatita, cuarzo, calcita, bismutina, tetrahedrita y pirrotita.

En las brechas, ocurren los mismos minerales que en los calcosilicatos, con la diferencia que hay presencia de minerales de plata como la galena argentífera y otras sulfosales poco diferenciadas.

La mina tiene reservas para trabajar los próximos dieciséis años. Lo cual quiere decir que a la fecha tienen reservas para cinco años a partir del 2022.

Tabla 1

Especies Mineralógicas Relevantes

Nombre	Abreviatura	Fomula Quimica	Peso Especifico
Arsenopirita	apy	FeAsS	6.0
Calcopirita	cp	CuFeS ₂	4.2
Calcopirita Tipo 2	cpPS	CuFeS ₂ .CuS	4.6
Cobre Secundario	Cu Sec	CuS _n	5.7
Cobres-Grises	CuGRs	CuSbAs.S.Ag	4.8
Covelita	cv	CuS	4.8
Digenita	dg	Cu ₂ S	4.8
Estalerita	ef	ZnS	4.2
Esfalerita tipo 2	ef 2	ZnS-CuFeS ₂	4.2
Esfalerita tipo 3	ef 3	ZnS-FeS _x	4.2
Esfalerita tipo 4	ef 4	ZnS-CuGrs	4.5
Galena	gn	PbS	7.2
Gangas	GGs	variado	2.7
Hematita	he	Fe ₃ O ₄	4.0
Magnetita	mt	Fe ₂ O ₃	4.0
Pirita	py	FeS ₂	5.0
Pirita tipo 2	pySEC	FeS ₂ .CuS _n	4.8
Pirrotita	po	FeS _x	5.0

2.1.4. Clima y meteorología

Para la caracterización meteorológica del área de ubicación de la Unidad Minera Contonga se han tomado en consideración las estimaciones efectuadas de la serie histórica de las temperaturas mensuales de las estaciones Pomabamba (1995/2004), Huari (1964/1967), Sihuas (2004) y Chavín (1987/2004), proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrológica (SENAMHI). Determinándose que la Estación Meteorológica Chavín Convencional (Chavín CO) es la más representativa. La Precipitación Total Promedio Multianual para el periodo 1986-2012 fue de 1,072.8 mm, alcanzando su valor

máximo absoluto en 1993 (1,890.1 mm) y el mínimo absoluto en 2005 (508.2 mm); considerando los registros del periodo, se determinó que la precipitación promedio multianual es 90,2 mm.

Las temperaturas registradas muestran una diferencia notable entre los mínimos absolutos mensuales y los máximos absolutos mensuales, siendo los meses de noviembre, setiembre y febrero los que presentaron los días más calurosos (máximas absolutas: 16.0°C, 15.6°C y 15.3°C respectivamente). En el caso de las mínimas absolutas, se observa que en abril se presentó la temperatura más baja (5.9°C), seguido del mes de febrero (6.0°C). A nivel multianual, se determinó que la temperatura promedio para el periodo 2015- 2021 fue de 13.9°C.

La mayor humedad se presenta en los meses de verano, donde se presentan las mayores precipitaciones y las temperaturas más altas. La humedad relativa promedio para el periodo de estudio fue del 55.3%, presentándose la máxima absoluta en marzo de 2016 (83.6%) y la mínima absoluta en enero de 2015 (33.3%).

2.1.5. Descripción de la planta

La unidad minera Contonga explota mediante una operación subterránea un yacimiento polimetálico que contiene minerales de zinc, cobre, plomo y plata, la mena que se extrae de la mina es tratada mediante un proceso de flotación convencional en la Planta Concentradora Contonga, la cual tiene una capacidad de tratamiento de 1000 t/día y en la que se obtienen concentrados de cobre, plomo-plata y concentrado de zinc.

Las labores subterráneas con las que cuenta la U.M. Contonga son bocaminas (6) y chimeneas (6).

- **Instalaciones de Procesamiento:** Se trata de la planta concentradora de flotación

convencional, con capacidad de 1000TMD.

- **Instalaciones para el Manejo de Residuos:** El depósito de relaves Tucush, en actual operación y solo como referencia se menciona el antiguo depósito de relaves Pajuscocha, que ha sido cerrado como parte de los pasivos ambientales.
- También se cuenta con cinco botaderos de desmonte (Nivel 240, nivel 300, Nivel 360, Nivel 415 y nivel 455).
- **Instalaciones de Manejo de Aguas:** El agua para consumo doméstico proviene de la laguna Condorcocha, hasta un caudal de 0.15 L/s, conducida por tubería de 2” de diámetro a un tanque de almacenamiento del cual se distribuye al campamento por medio de tubería de ½” de diámetro. El agua para uso industrial para la planta de beneficio proviene de la laguna Contonga, agua que es bombeada y almacenada en un reservorio de 70 m³ de capacidad, a este reservorio también ingresa el agua fresca que viene de la Laguna Condorcocha, desde este punto se abastece a la planta de tratamiento un caudal de 14.52 L/s.
- **Áreas para el Material de Préstamo:** La UM no cuenta con áreas de material de préstamo de agregados. Para la construcción de las obras civiles, infraestructura y otras obras son abastecidas por proveedores del valle de San Marcos.
- **Otras Infraestructuras:** El abastecimiento y consumo de energía, es proveniente de la central térmica. Cuenta con almacenes, talleres, campamentos, laboratorio, oficinas, comedor, Hospital San Andrés, relleno sanitario, planta de relleno hidráulico, pozos sépticos, panadería, comisaría, colegio, mercantil, relleno sanitario, etc.
- **Fuerza de trabajo y obtención de recursos:** La UM Contonga cuenta con 362 trabajadores de compañía (345 varones y 17 mujeres) y 210 trabajadores de contratistas

(202 varones y 8 mujeres). La obtención de recursos se realiza en la ciudad de Lima.

2.1.6. Proceso de Producción

2.1.6.1. Cancha de mineral

Comúnmente denominado Cancha de gruesos fig. (2), en este lugar son almacenados los minerales extraídos de la mina de distintos tajos de 240 para procesamiento, está ubicado en la parte superior oeste de la Planta concentradora, tiene un área aproximadamente de 1.5 hectáreas. El mineral bruto es almacenado en cancha de grueso. Se almacena mineral de un tamaño aproximado que varía desde 50 pulgadas hasta 5-7.5 pulgadas: Los más gruesos son triturados por un rompe banco como (retro excavadora) para romper a un tamaño adecuado para que pase a las rejillas de tolva de grueso.

Figura 01. Cancha de mineral de la planta concentradora Los Quenuales



Fuente: Libro de Reservas Mina Contonga

El traslado de mineral a la tolva de gruesos lo realiza el cargador frontal fig. (3), y los rechazos de la tolva grueso son trasladados en una parte para disminuir el tamaño.

Figura 02. Ruma de mineral bruto llegado de mina



Fuente: Libro de Reservas Mina Contonga

2.1.6.2. Balanza de pesaje

Dentro de la Cancha de Gruesos se encuentra ubicada la Balanza de Pesaje tipo plataforma esta balanza tiene capacidad de 50 mil toneladas y su función es registrar el tonelaje de ingreso del mineral de los diferentes tajos de 240 a la Cancha de Gruesos también es registrado el concentrado que despachan para el comercio. Fig. (4).

Figura 03. Balanza de pesaje de minerales y concentrados.



Fuente: Libro de Reservas Mina Contonga.

2.1.6.3. Tolva de gruesos

Es una caja metálica construido por planchas de acero de ¼” de espesor, que descansa sobre una base de concreto armado, la Tolva de gruesos sirve como depósito, y alimentador Apron feeder también a la Chancadora de Quijadas, donde se da inicio al disminuir el tamaño del mineral.

El Tolva de Gruesos está ubicada en la parte superior de la Planta, a un lado de la Cancha de Gruesos, la alimentación a esta Tolva de Gruesos se realiza por la parte superior de la misma mediante el cargador frontal.

Figura 04. Parrilla de tolva de grueso que tiene una capacidad 250 ton.



Fuente: Libro de Reservas Mina Contonga

2.1.6.4. Chancado primario o trituracion

El mineral es extraído de las tolva de grueso mediante el alimentador de placas de 3’x13’ de fabricación Fundición y Maestranza, hacia el Grizzly vibratorio de 3’x5’ de fabricación Fundición y Maestranza con una abertura entre rieles de 2’ a 4’, el over cae directamente a la faja transportadora N° 1 y el under ingresa a la chancadora de mandíbulas marca Funcal (15’ x 36) que está graduada a un set de descarga 2 1/2”, el producto de la chancadora es transportado por la faja transportadora N° 1 a (24’x55’) hasta la zaranda

vibratoria 4' x 8' de fabricación Fundición y Maestranza (abertura de la malla de $\frac{3}{4}$ '). Sobre la faja N ° 1 se tiene un electroimán marca ERIEZ Serie 7000 que captura el material metálico proveniente de la mina e impide que ingrese a la chancadora secundaria.

Figura 05. Chancadora primario Mandíbula.



Fuente: Libro de Reservas Mina Contonga

2.1.6.5. Chancado secundario

El over pasante de la zaranda vibratoria de 4'x8' cae directamente a la faja transportadora N ° 2 de (30'x44') mientras que el under de la zaranda vibratoria 4'x 8' marca fundición y maestranza, descarga en la faja N ° 8 (30''x32'), que alimenta a la chancadora secundaria marca METSO HP-300 graduada con un set desecar 13mm. Que descarga a la faja transportador N ° 9 a (30'x32', este producto de la chancadora HP-300 se descarga en la faja transportadora N °2 juntándose con el producto tamizado por la zaranda vibratoria 4'x 8', ambos productos son alimentados a la zaranda vibratoria 5'x10' N °1 de fabricación fundición y maestranza, (abertura de la malla de $\frac{1}{2}$ '') el over pasante alimenta directamente a la tolva de finos N ° 1, con una capacidad TM, el under sigue el transcurso para ser liberado constituye la alimentación a la etapa de chancado terciario.

Figura 06. Chancadora secundaria HP-300



Fuente: Libro de Reservas Mina Contonga

2.1.6.6. Chancado terciario

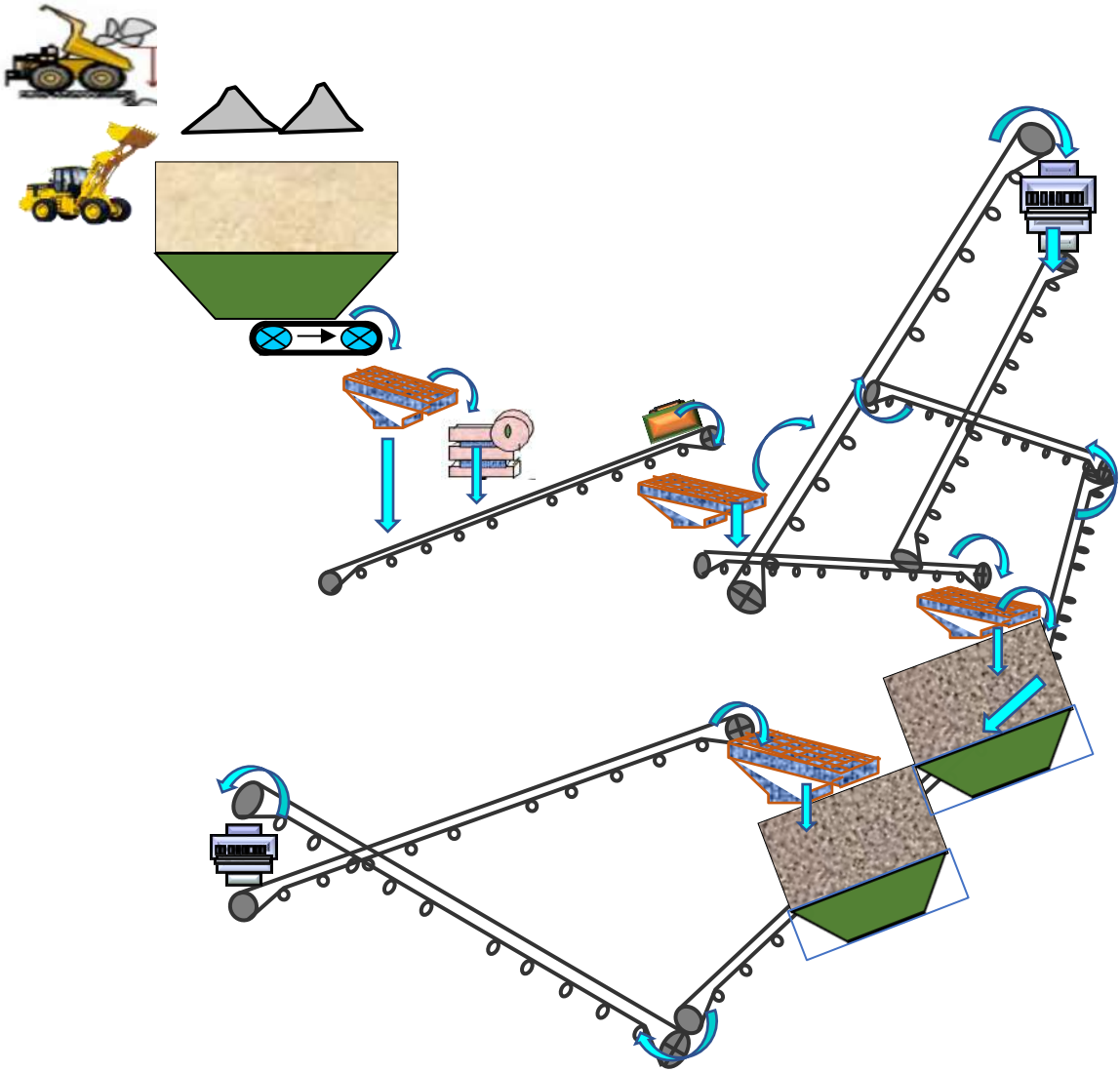
El over pasante de la zaranda vibratoria 5' x 10' N ° 4 de fabricación Fundición y Maestranza descarga en la faja transportadora N ° 3 (30"x10') y mediante las fajas transportadoras N ° 5 a (30x16') y 6 a (30"x45') son alimentados a la chancadora terciaria short head de 4' cuyo set de descarga es de 10 mm, el producto de esta trituradora es transportada por la faja N ° 7 a (30x42') hacia la zaranda vibratoria 5' x 10' N ° 2 de fabricación Fundición y Maestranza (abertura de la malla de 3/8'), el over ingresa a la tolva de finos N ° 2 que también tiene una capacidad de 350 TM y el under que constituye la carga circulante retorna a la trituradora terciaria, formando de esta manera el circuito cerrado.

Figura 07. Chancadora terciaria



Fuente: Libro de Reservas Mina Contonga

Figura 8. FLOW SHEET DE CIRCUITO DE CHANCADO - PLANTA CONCENTRADORA UNIDAD MINERA CONTONGA- LOS QUENUALES



2.1.7. Área de molienda

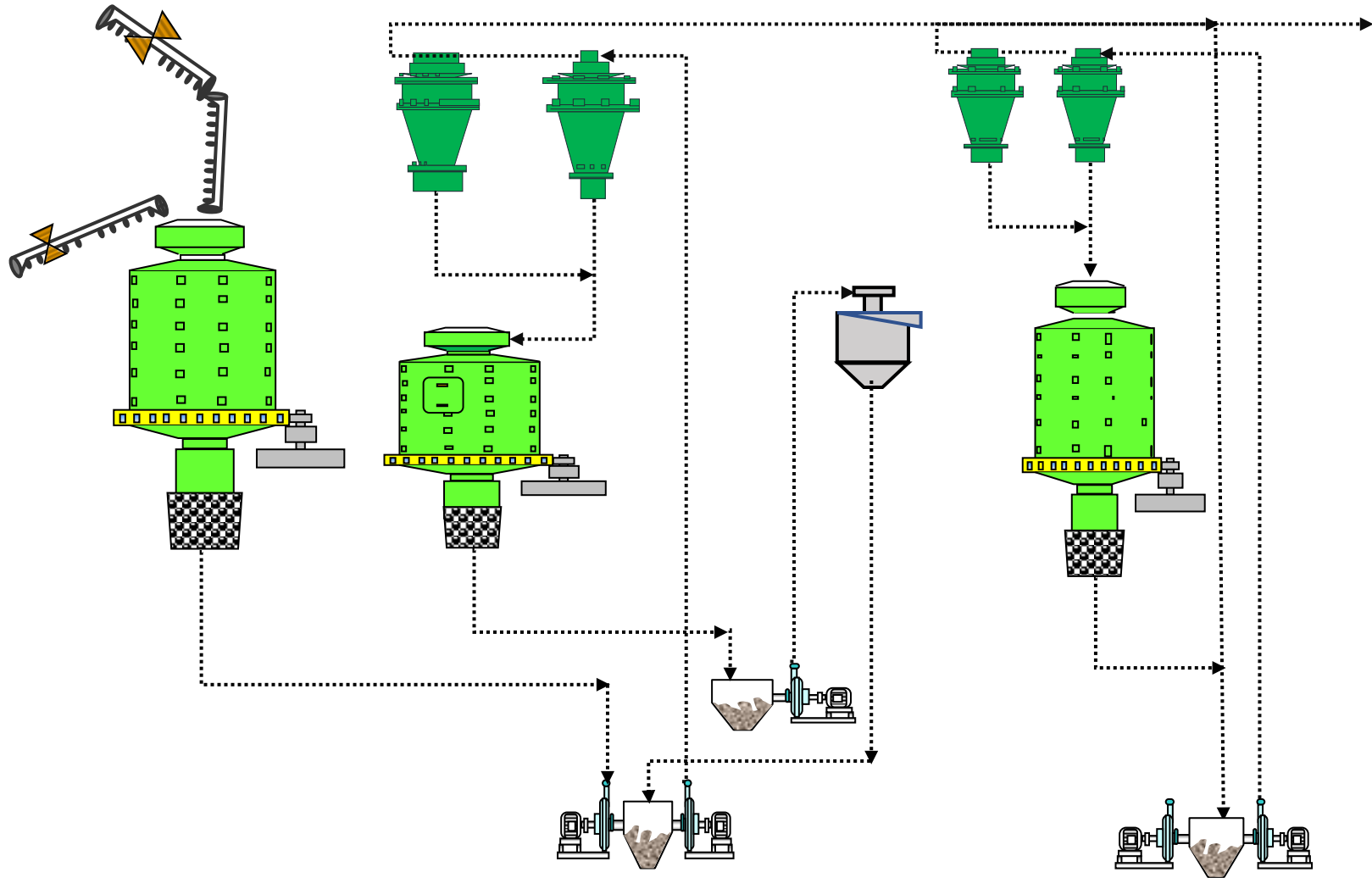
Corresponde entre los límites de la Tolva de Finos hasta la salida del OVER del hidrociclón D-15, dentro del área de molienda se realiza el acondicionamiento del mineral, con agua y con algunos reactivos (Complejo), la función principal de esta etapa es la buena Liberación del mineral para su posterior tratamiento de concentración por flotación se representa de mejor manera en el siguiente diagrama.

Figura 09. Faja transportadora en el área de la molienda



Fuente: Libro de Reservas Mina Contonga

Figura 10. FLOW SHEET DEL CIRCUITO DE MOLIENDA



2.1.7.1. Molino de barras de (7' x 12') N ° 01

En la etapa de molienda de 7' x 12' se produce el primer contacto entre el mineral y los reactivos químicos como por ejemplo (Complejo) más el agua por esta razón se considera que la molienda define la metalurgia de la flotación y se deben hacer todos los esfuerzos necesarios para optimizarla y reducir su costo de operación. Para tener éxito en la molienda 7' x 12' se necesita:

Controlar la carga que esta ingresando y el porcentaje de agua que ingresa al molino 7' x 12', también es muy importante controlar la velocidad del molino así para tener una buena liberación de partículas.

También es muy importante tener en cuenta el desgaste de barras para adicionar en cada cuanto tiempo se desgasta o cuanto es el consumo de barras al día. Todo el día tenemos que revisando sistema de lubricación de los molinos y así para no tener problemas en nuestra operación.

Figura 11. Molino 7' x 12' interior y exterior.



Fuente: Libro de Reservas Mina Contonga

- Controlar (en la descarga del molino) una densidad de pulpa adecuado para la flotación.

La densidad de pulpa controlado en un día en la descarga del Molino 7' x 12'.

Tabla 02: la densidad descarga de los molinos.

HORA	Dens. Molino 7'x 12'	Dens. Molino 8'x 8'	Dens. Molino 5'x 10'
7:30	2200	2260	2160
08:30	2200	2250	2170
9:30	2210	2260	2180
10:30	2230	2260	2170
11:30	2200	2270	2170
12:30	2200	2270	2170
1:30	2200	2260	2170
2:30	2200	2280	2180
3:30	2210	2280	2180
4:30	2210	2280	2180
5:30	2210	2280	2170
6:30	2200	2270	2170

Fuente: Libro de Reservas Mina Contonga

- Mantener el tamaño óptimo de barras y agregar más barras si el mineral es muy duro o si se va a pasar el máximo tonelaje posible.
- Alimentar mineral chancado hasta ($\frac{3}{4}$ " 1) para molinos de barras. Si el chancado es más fino entonces el producto molido también será más fino y se podrá pasar más tonelaje con el mismo molino.
- La dureza del mineral es la variable predominante tanto en chancado como en molienda y en función a esa variable se deben elegir los equipos a instalar en una planta concentradora; por ejemplo, los minerales muy duros no se muelen bien en molinos de barras es por eso se utiliza dos remoliendas, pero si en molinos de bolas. La representación gráfica de la molienda se muestra en las siguientes figuras.

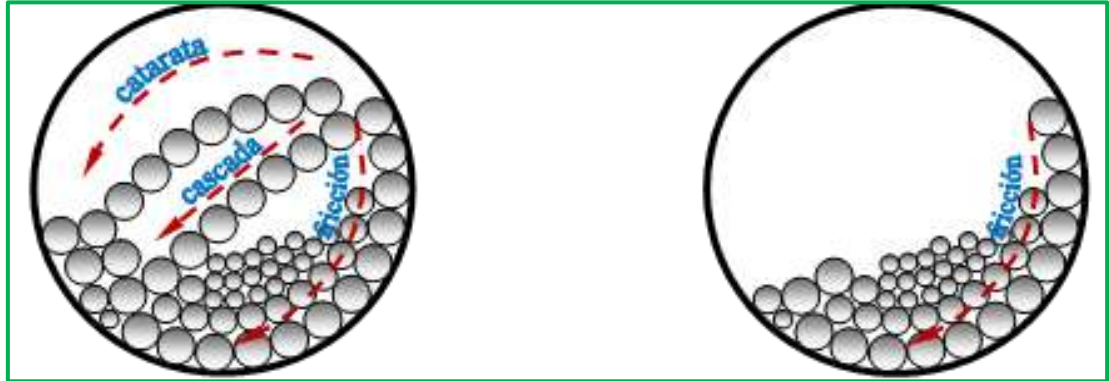
Figura 12. impacto y fracción, solo fracción.

MOLIENDA PRIMARIA

(IMPACTO Y FRICCIÓN)

REMOLIENDA

(SOLO FRICCIÓN)



Fuente: Libro de Reservas Mina Contonga.

Características del Molino 7' x 12'

- bastidor
- chumacera de molino
- jebe del sello
- babi
- tapa del alimento
- tapa de la descarga
- El cilindro
- Chaquetas
- Pernos de chaqueta
- Lubricador de calina
- Chumacera de eje
- Cordilla de catalina
- Espot feeder

2.1.8. Concesiones mineras

La U.M. Contonga está integrada por 15 derechos mineros metálicos en calidad de cesionario, sobre una extensión de 2048.178 ha. En la Tabla 2 se presenta la relación de concesiones vigentes.

Tabla N° 3
Concesiones Mineras

Item	Código	Derecho Minero	Extensión (Ha)	N° de Partida SUNARP
1	10083901	CONTONGA 16	100.000	11633440
2	10021904	CONTONGA13	500.000	120355117
3	10035101	CONTONGA 15	300.000	11635667
4	170903	FLOR DE CONTONGA UNO	200.000	11632828
5	09008738X01	CONTONGA N° 6	1.998	02018217
6	09008736X01	CONTONGA N° 4	59.940	02018212
7	09008735X01	CONTONGA N° 3	149.850	02018215
8	09008734X01	CONTONGA N° 2	150.270	02018214
9	09008733X01	CONTONGA N° 1	511.180	02018213
10	09002127X01	PROSPERIDAD N° DOS	1.000	02016079
11	09000601Y01	CONTONGA N° 5	11.980	02018216
12	09000472Y01	LA INMACULADA	20.000	02009735
13	09000470Y01	DELICIAS	27.970	02009519
14	09000456Y01	PROSPERIDAD	3.990	02006373
15	09000426Y01	LA FLORIDA	10.000	02009434
TOTAL			2048,178	

Fuente: U.M. Contonga

2.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.2.1. Nacionales

Tesis 1

López e Ipanaque (2008) desarrollaron la tesis “Caracterización y optimización de flotación a nivel laboratorio del mineral de cobre de la minera Candelaria” para optar el título de Ingeniero Metalúrgico en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, arribaron a las siguientes objetivos y conclusiones de su investigación, el presente trabajo

fue desarrollado en las instalaciones del departamento de Metalurgia de la Universidad de Santiago de Chile entre los meses Septiembre 2000 a Febrero 2001. El mineral extraído de la Minera Candelaria (tamaño 4”) fue sometido a preparación mecánica para obtener muestras de 1000 gr. mediante ensayos sucesivos de chancado y zarandeo hasta obtener una granulometría 100 % - malla 10 Tyler. Se realizó la caracterización mineralógica para analizar el grado de asociación del mineral de cobre y otros minerales con la ganga, la mayor parte de calcopirita se encuentra asociada con la ganga cuarcífera y no se aprecia encapsulamiento alguno; aquello facilitará su completa liberación en las etapas posteriores de conminución. Se realizó curvas de moliendabilidad a través de pruebas sucesivas de molienda para controlar la granulometría del producto de la molienda a ser investigada en la flotación. Además de la granulometría, el pH de la pulpa, los colectores (SF-323, y Hostafлот LIBC), el espumante MIBC y la velocidad de agitación son las variables de flotación a investigar. El principal objetivo del presente estudio es la obtención de la recuperación óptima de cobre en flotación a nivel de laboratorio; el cual fue llevado a cabo mediante el empleo de los diseños experimentales. El estudio fue realizado en 3 fases. En la primera fase, mediante diseños factoriales fraccionados 2K-1 (k = 6) se obtuvo la ecuación a escala natural de primer orden: $Y_{est} = 76.889 + 0.342Z_1 - 0.0177Z_2$. Donde la recuperación de cobre (Y_{est}) está en función de las dos variables más influyentes, como son el grado de molienda (% pasante a malla 100 Tyler), Z_1 y la velocidad de agitación de la pulpa en rpm, Z_2 . Aquello fue el resultado de una evaluación de seis variables indicadas para la investigación. En la segunda fase se determinó las regiones óptimas mediante la técnica de pendiente del máximo ascendente. En esta fase se obtuvo 91.64 % como la recuperación máxima de cobre con una granulometría de 94.48 % - malla 100 Tyler (Z_1)

y 900 rpm de agitación (Z6). En la tercera fase se realizó la optimización final del proceso mediante un diseño rotatable hexagonal. Dado que por debajo de 900 rpm de velocidad de agitación fue imposible la formación de espumas necesarias para la flotación, se tomó como centro del diseño final agitación de 925 rpm y granulometría de 92 % -malla 100 Tyler, puesto que según los resultados de la etapa anterior la máxima recuperación de cobre estaría alrededor de estos rangos. Realizado los análisis de esta fase se observó que la máxima recuperación de cobre fue 92.57 %, con granulometría de 94% - malla 100 Tyler (Z2), y agitación de 915 rpm (z6). Esta recuperación es significativamente mayor al de la planta concentradora que reporta 87 %. El modelo matemático a escala natural de la optimización final obtenido es: $Y_{est} = 1945.95 - 50.676Z + 1.0646Z + 0.132Z - 0.002Z + 0.029Z$ Donde Z2 y Z6 son las mismas variables consideradas en la segunda etapa.

Tesis 2

NUÑEZ (2018), en su trabajo de investigación “Optimización de la flotación del cobre - oro utilizando el colector MBT en la planta de tratamiento de minerales Corporación Agrominero San Hilarion SAC. – Nazca” para optar el título de Ingeniero Metalúrgico en la Universidad Nacional del Antiplano, realizo los siguientes comentarios, el presente trabajo de investigación se ha realizado durante los meses de Setiembre, Octubre y Noviembre del año 2015. En la planta de tratamiento de minerales corporación agrominero san hilarión SAC. -Nazca, el cual tiene por objetivo optimizar el proceso de flotación de Cobre – Oro determinando la dosificación del colector Mercapto Benzotiazol Sódico (MBT) estipulando la granulometría y estableciendo el tiempo de flotación más óptimo para recuperar los minerales oxidados de cobre de tal manera que floten junto con los sulfuros y así poder aumentar el % de recuperación y minimizar los contenidos de Cobre-

Oro que se van al relave. Para tal efecto se trabajó con el método de investigación experimental para evaluar y optimizar las variables que influyen en el proceso de flotación. Los datos que se aplicaron fue el diseño factorial de tres variables (algoritmo de Yates) para determinar las variables que intervienen en la flotación del Cobre-Oro (Colector MBT, Granulometría y Tiempo de Flotación) con lo que se determinó el comportamiento y el efecto del (colector MBT) es de(0.22 g/Tn) con una granulometría (74% malla 200) y un tiempo aproximado al nivel máximo que es de 43 minutos en sus diferentes etapas, obteniendo un 94 % de Cu - Au en la etapa de Rougher y a nivel de planta concentradora se obtuvo un concentrado de mejor calidad cuya ley es 96%. Con este resultado se concluye que se ha optimizado y mejorado el mayor % de recuperación de Cobre-Oro e incremento económico para el beneficio social y ampliación de la Planta de tratamiento de minerales.

Tesis 3

Valdivia (2016), sustento la siguiente tesis “Análisis y mejora de procesos en la planta de producción de una empresa minera de concentrado de cobre” para optar el título de Ingeniero Industrial en la Pontificia Universidad Católica del Perú, la tesis trata sobre la mejora de procesos en la planta de producción de una empresa minera de concentrado de cobre, y se centra en las áreas previas a los circuitos de producción que son: Balanza, cancha de minerales y circuito de chancado; con la finalidad de optimizar y reducir costos en los procesos inherentes a dichas áreas, incrementando así el ingreso por procesamiento de mineral. En el primer capítulo se trata toda la teoría necesaria para definir, comprender, analizar y proponer mejoras factibles a los procesos en estudio. Seguidamente en el segundo capítulo se muestra un resumen de la actividad general de la empresa y una descripción de los procesos en estudio: Balanza, cancha de minerales y circuito de

chancado. Por consiguiente, en el tercer capítulo se realiza un análisis, detallado y profundo, de la situación actual de los procesos en estudio; y finalmente se determina el diagnóstico de cada proceso analizado, identificando así los puntos críticos a mejorar. En el cuarto capítulo se plantean las propuestas de mejora en función a los puntos críticos identificados en el diagnóstico de cada área de estudio, además cada propuesta va acompañada de su respectiva justificación e impacto en el proceso. En el quinto capítulo se evalúa la factibilidad económica de la implementación de las propuestas de mejora, así también como el beneficio que dicha mejora brindará a la empresa. En el caso del área de Balanza se determinó que con una inversión de \$ 2,396.58, en optimizar la supervisión y la seguridad, se conseguirán ingresos promedios mensuales adicionales de \$ 8,500. En el caso del área de Almacén de minerales se determinó que con la optimización y reingeniería de las operaciones del proceso, se logrará aumentar la capacidad del almacén hasta en 32%, incrementando así, en la misma proporción, el ingreso por procesamiento de mineral. En el caso del circuito de chancado se determinó que invirtiendo \$ 2,044.94 en la automatización propuesta, se logra aumentar la eficiencia del circuito en 17 %, incrementando así el ingreso estimado mensual por procesamiento de mineral hasta en \$ 36,534.00. Finalmente, en el sexto capítulo se plantean las conclusiones de las propuestas de mejora de los procesos analizados y las recomendaciones que hagan factible la implementación y mejora continua de las propuestas.

2.1.2. Internacionales

Tesis 1

En trabajo de investigación “Análisis del proceso de electro-obtención de cátodos de cobre a través de la utilización de técnicas de diseño experimental.” del autor (Torres, Reinike,

Chávez, & Rasmussen, 2004), Concluye que: El análisis de los resultados permitió identificar y confirmar aquellos factores que juegan un rol estadísticamente significativo en la obtención de cátodos de cobre con bajos niveles de impurezas de plomo y azufre, además, permitió determinar que el factor concentración de cobalto no fue estadísticamente significativo como efecto principal y tampoco como efecto importante que interactúa con otro factor de modo que puede ser estudiada su omisión en futuros diseños de esta naturaleza. La experiencia práctica acumulada y observada en torno al desarrollo de este trabajo permitió confirmar la hipótesis que la obtención de cátodos de alta calidad también está influenciada con la observancia, entre otras, de buenas prácticas operacionales durante su manufactura. Lo anterior induce a desarrollar y/o mantener vigentes adecuados procedimientos de operación y control, en especial sobre los parámetros y factores abordados en este estudio, en atención a que, por una parte, los análisis preliminares a las respectivas cartas de control e indicadores de capacidad ofrecen una oportunidad de mejoramiento y, por otra parte, este estudio ofrece una evidencia objetiva para orientar esfuerzos de gestión hacia aquellos factores y niveles que fueron individualizados como estadísticamente significativos.

Tesis 2

Velásquez (2008), en la defensa de su tesis “Optimización de la recuperación de cobre en el circuito de flotación de CODELCO - EL SALVADOR en base a la evaluación de nuevas formulaciones de reactivos de flotación” realizó los siguientes comentarios y resultados, La restricción de explotación de minerales provenientes de Mina Rajo Abierto “Campamento Antiguo” de Codelco, División Salvador, que presentaba alta Ley de cobre y alto potencial de recuperación en Planta Concentradora, obligó a recurrir a Mina Rajo

Abierto “Quebrada M”, la cual presenta un menor desempeño metalúrgico. Esto agudiza la preocupación por generar la rentabilidad esperada en Codelco División Salvador, por lo cual, también se comienza a analizar la opción de recuperar Cu desde escorias provenientes de la fundición Potrerillos. Por ello, el objetivo principal de este trabajo fue seleccionar reactivos de flotación (colectores y espumantes) que permitan incrementar la recuperación metalúrgica en minerales y escorias de fundición en División Salvador. Para responder a la problemática señalada, se realizaron pruebas de laboratorio con un test estándar que se trabajó en condiciones similares a la planta concentradora (granulometría, dilución, dosificación de reactivos, tiempo de acondicionamiento y flotación, nivel de pulpa, RPM) y permitió comparar el rendimiento metalúrgico de los reactivos en estudio, dando la posibilidad de seleccionar el reactivo de mejor rendimiento para pasar a una prueba a escala industrial. Las pruebas a escala industrial fueron realizadas en condiciones “ON-OFF”, entendiéndose por esto un período con la nueva formulación de reactivos y otro período con la formulación estándar. Para el caso especial de la escoria, ésta se procesó por un circuito independiente, que consistió en ocupar la sección 5 de molienda y la línea 5 rougher. Los resultados más importantes obtenidos en las pruebas realizadas fueron los siguientes:

- La mejor recuperación de Cu a nivel de laboratorio para mineral se obtuvo mediante el colector Hostafлот E-501 en comparación con los demás colectores a prueba, aumentando en 2,5 puntos porcentuales la recuperación con respecto a la prueba estándar.
- La mejor formulación de reactivos para optimizar la recuperación de Cu en la escoria proveniente de fundición a nivel de laboratorio es la siguiente: CODELCO Chile – División “Salvador” Prueba Dosis Alternativa 2 Hostafлот NP-107 (50 gpt) Hostafлот E-980 (50 gpt) Flotanol H-70 (40 gpt) Esta logra un aumento de cuatro puntos porcentuales de

recuperación de Cu en comparación con la flotación estándar de laboratorio. • La mejor opción para optimizar la recuperación de Cu de la mezcla alimentada con mayor proporción de material de rajo “QM” es la siguiente: Xantato 343 (g/t) Hostafлот E501 (g/t) Aero-3758 (g/t) Aero-3730 (g/t) Espumante (g/t) - 20 18 12 28 De esta forma se logra aumentar en 2,0 puntos porcentuales la recuperación de Cu con respecto a la formulación estándar de reactivos. • Con respecto a la prueba industrial con escoria, la nueva formulación de colectores aumenta la recuperación de Cu, logrando 4 puntos en promedio más con respecto al estándar en cada fase de prueba (71% vs 67% aproximadamente), bajo condiciones de operación equivalentes (P80, tonelaje o niveles de procesamiento, pH, etc.). • Por otra parte, se debe trabajar con niveles de procesamiento no superior a los 190 t/h de escoria, debido a que al sobrepasar este límite, el p80 empieza a incidir de forma negativa en la recuperación de Cu disminuyendo la recuperación de Cu en 3 puntos porcentuales, en comparación con los períodos restantes de pruebas.

2.3. BASES TEORICAS

2.3.1 Análisis Granulometría del Mineral

El análisis granulométrico es una operación de control metalúrgico que tiene por objeto estudiar la composición granular de las mezclas de minerales con el fin de conocer el tamaño promedio de partículas, su volumen y su superficie.

En el análisis granulométrico se trata de cubrir una variedad muy amplia de tamaños de partículas, teniendo en cuenta que esta variedad sea una de las de mayor importancia industrial, sobre todo cuando se trata de la liberación de los minerales valiosos para ser separados o concentrados. (Manzaneda J, 1989)

2.3.2 Fórmulas matemáticas utilizadas.

2.3.2.1. Función de distribución de Gates-Gaudin-Schuhmann(G-G-S)

$$f_x = 100 \cdot (x/k)^{-a}$$

Donde:

F_x= Porcentaje en peso acumulado, %

X= Abertura de malla, um

K= Tamaño máximo de la distribución, um

a= Constante

si aplicamos logarítmica a la ecuación G-G-S tenemos lo siguiente:

$$\log(f_x) = m \log(x) + \log(100/k_a)$$

$$y = mX + b$$

m= Pendiente y b= intersección

Conociendo los valores de “x”, “m” y “b”, se calcula el nuevo “y” que será el “ycorr”, se

ubica en la gráfica dos curvas: “y” vs “x” y “ycorr” vs “logx”

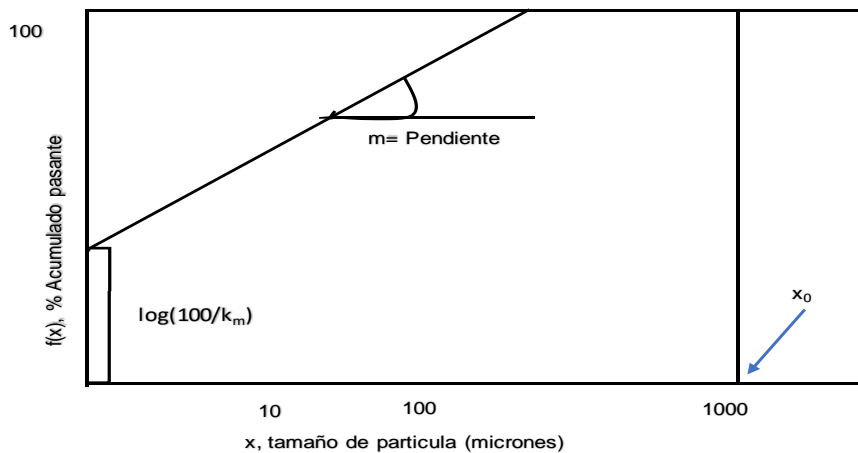


Figura 13. Gráfica de distribución de Gates-Gaudin-Schuhmann(G-G-S)

2.3.3. Molienda.

En la etapa de molienda de 8” x 12” se produce el primer contacto entre el mineral y los reactivos químicos como por ejemplo (Complejo) más el agua por esta razón se considera que la molienda define la metalurgia de la flotación y se deben hacer todos los esfuerzos necesarios para optimizarla y reducir su costo de operación. Para tener una buena conminucion en la molienda 8” x 12” se necesita los sguientes parametros:

La operación de molienda consiste en la reducción del trozo de mineral desde una dimensión máxima de alimentación que va desde 9,000 a 10,000 micrones a partículas más finas cuyo tamaño más grande varía de 35 a 200 mallas (420 a 74 micrones). El tamaño óptimo de liberación se determina usualmente mediante consideraciones técnicas y económicas. Cuanto más fino se muele el mineral, mayor es el costo de molienda y hasta cierto grado, una molienda más fina conlleva a una mejora en la recuperación de valores. De acuerdo a esto, la molienda óptima es aquella malla de molienda en la cual los beneficios son máximos, cuando se considera tanto el costo de energía, así como los retornos netos de los productos. (Rivera J, 2003)

2.3.3.1. Variables en el Procesamiento de Minerales.

Llamamos variables o parámetros de operación a todo lo que se puede controlar; existen muchas en molienda, las más importantes son:

- Carga de mineral.
- Suministro de agua.
- Medios de molienda.
- Condición de los blindajes.
- Tiempo de molienda.

- Velocidad de operación de los molinos.
- Carga Circulante.

Tabla 4. Parámetros de molienda

PARAMETROS	UNIDADES
Masa de Solido (ms)	1000 (gr)
Volumen de Agua (H ₂ O)	668 (ml)
Porcentaje de solido (% S)	60%
# Malla -10	100%
Dilucion (Φ)	0.6667
Volumen de Liquido (ml)	666.7 ml
Densidad de Agua	0.9946 (gr/ml)
Peso de Bolas (kg)	9 (kg)
pH Natural del Mineral	7

2.3.3.2. Velocidad Crítica del Molino.

En la práctica los molinos operan a velocidades de 60 a 80% de la velocidad crítica, la selección de la velocidad está influenciada por consideraciones económicas y técnicas; el aumento en velocidad aumenta la capacidad debido a la mayor generación de potencia, sin embargo, está limitado por consideraciones de diseño.

Los molinos de bolas operan normalmente entre 70 a 80% de la velocidad crítica, frecuentemente se usan las velocidades más altas, para aumentar la cantidad de catarata que se desea para quebrar las alimentaciones gruesas o duras. (Rivera J, 2003)

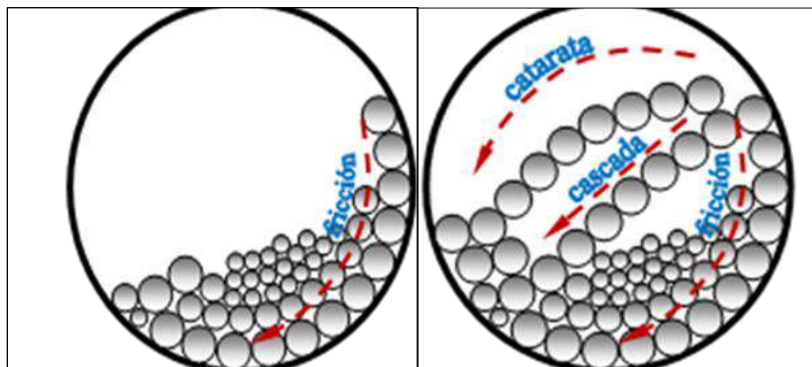


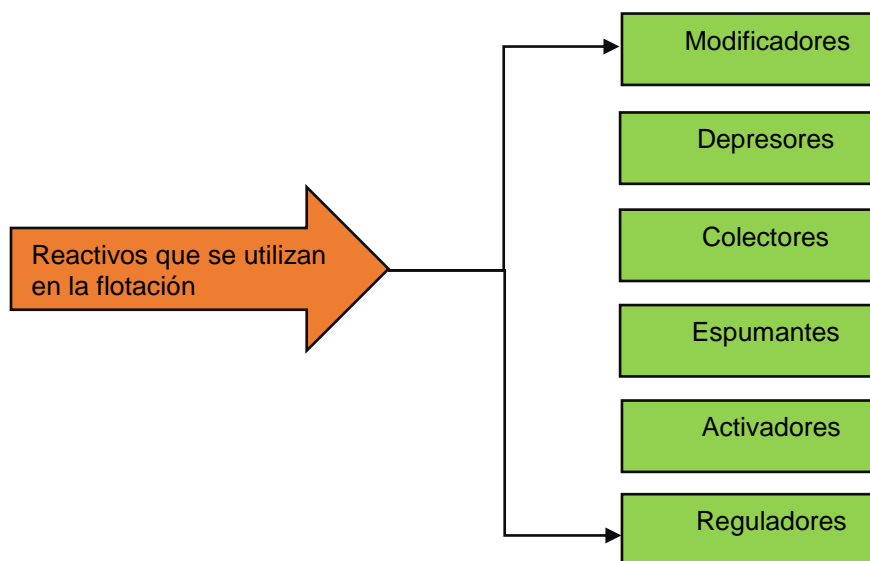
Figura 14. Formación de Catara, Cascada, Fricción en la molienda.

2.3.4 Dosificación de reactivos.

Son sustancias que tienen la función de darles ciertas propiedades a las superficies de las especies mineralógicas para una flotación óptima y selectiva, estos pueden ser:

Colectores: Producen la formación de la película hidrofóbica sobre la partícula del mineral. Espumantes: Deben crear la espuma capaz de mantenerse cargadas de mineral hasta su extracción de la máquina de flotación.

Modificadores: Actúan como depresores, activadores, reguladores de pH, dispersores, etc., facilitando la acción del colector. (Manzaneda J, 1989)



Los reactivos de flotación son el componente y la variable más importante del fenómeno de la flotación debido a que no puede efectuarse esta, sin la participación de los reactivos. Siendo elementos tan importantes para la flotación de minerales, estos reactivos influyen además con una gran sensibilidad, no solo el tipo de reactivo que se utiliza, sino que también influye toda la combinación de reactivos; sus cantidades de dosificación, los puntos y medios en los que se alimentan en los circuitos flotación de bulk también en flotación de zinc y en otros puntos. (ASTACURI, T, 1999)

2.3.4.1 Reactivos de Flotación para los Minerales Polimetálicos

La mayor parte de los reactivos usados en flotación (colectores, depresores, activadores, espumante, etc.) se mezclan con agua antes de agregarse al molino, acondicionador ó celda de flotación; estos reactivos se preparan en concentraciones que varían entre 5 - 20 % según sea el caso. Por ejemplo, para preparar 10 litros de Z-6 al 5 % w/v se toma 0.5 kg de Z-6 y se agrega agua hasta completar el volumen de 10 litros. Hasta las soluciones más concentradas de reactivos tienen < 1.10 g/ml de densidad lo cual para efectos de cálculo se considera igual a la densidad del agua.



Figura 15. Reactivos Utilizados para flotacion.

2.3.4.2 Reguladores.

Actúan directamente en la superficie mineral variando su composición química.

Ejemplo: Esfalerita activada por sales de cobre.

$ZnS + Cu^{++} = CuS + Zn^{++}$ Desactivada por el ion cianuro.

Los reguladores pueden separar un colector de una superficie mineral, luego, impiden una flotación. La introducción en la pulpa de flotación: sulfuro de sodio aumenta la concentración de iones sulfuros e hidrosulfuros, produciendo la separación de xantogenato de la superficie de la galena. Pueden también variar la flotabilidad de un mineral. Debido a la heterogeneidad de la superficie mineral hay superficies libres que son adsorbidas por el regulador, reduciendo la hidrofobicidad del mineral. Algunos reguladores producen marcadas variaciones en la alcalinidad del medio afectando la flotación como la pirita que no puede ser flotada en medio alcalino. Reguladores de pH: (cal).



Figura 16. Reguladores de pH

2.3.4.3. Activadores.

Son reactivos que facilitan la unión de un colector con un mineral; intensifican la acción del colector sobre los minerales. Los que tienen efecto opuesto se llaman depresores. Algunos son activadores con determinados minerales y depresores en relación a otros. Por ejemplo, el sulfuro de sodio activa la flotación de muchos minerales oxidados no ferrosos, pero es un depresor para minerales sulfurados

Ejemplos de activadores:

- a) Sales solubles de metales pesados no ferrosos (Cu, etc.), los cuales activan la pirita, esfalerita, cuarzo y ciertos sulfuros minerales.
- b) Las sales solubles de metales alcalinos térreos (Ca, etc.) activan la flotación del cuarzo y otros minerales no sulfurados.
- c) Sulfuro de sodio y otros sulfuros solubles son usados en la activación de minerales metálicos no - ferrosos oxidados. (Ej. Cerusita, malaquita, etc.).
- d) Oxígeno (como oxígeno atmosférico) activa la flotación de sulfuros y de un número de minerales no sulfurados. (ASTACURI, T, 1999)



Figura 17. Activadores para Flotacion

2.3.4.4 Colectores

Substancias orgánicas que tienen una estructura integrada por una parte polar que se adsorbe en la superficie del mineral, dando la selectividad, y otra parte apolar constituida por una cadena de hidrocarburos, cuyo largo está asociado al carácter hidrófobo al mineral, haciéndolo susceptible a ligarse a las burbujas de aire y ser recuperado. Los colectores más comunes en la flotación de sulfuros de cobre son los xantatos, ditiocarbamatos y ditioposfosatos.

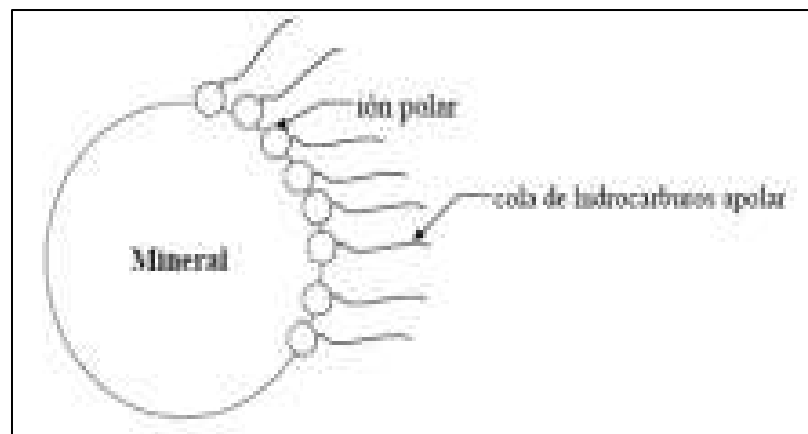


Figura 18. Adhesión del colector a la superficie del mineral

2.3.4.5 Espumante

Estos reactivos modifican las propiedades en la interfase líquido-gas, para reducir el crecimiento y coalescencia de las burbujas presentes, con el fin de generar una zona de espuma estable. Están constituidos por una cabeza polar que orienta la fase líquida y una cola de hidrocarburos apolar que se orienta a la fase gaseosa. Se clasifican principalmente según su comportamiento a diferentes valores de pH, en básicos: fenol y alquil sulfonatos, neutros: alcoholes alifáticos, alcoholes cíclicos y 8 aceites naturales, alcoxis parafinas, polipropilenglicoles éter, poliglicoles éter y glicerol éter, y finalmente ácidos correspondiente a las piridinas. (FLORES D., 2013)

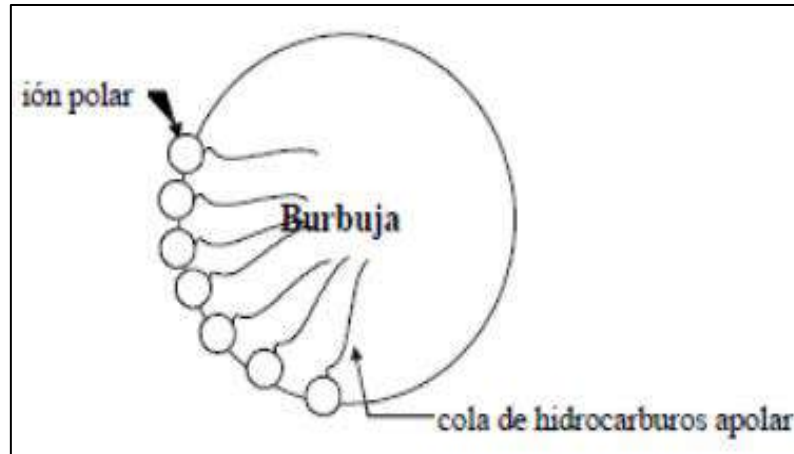


Figura 19. Adhesión espumante a la superficie de la burbuja de aire.

Otra manera de clasificar estos reactivos, es basado en su “poder de espumación” o espumabilidad (capacidad de generar espuma y levantar las partículas de mineral) y su “selectividad” (fijación de la molécula a la burbujas, potenciando la unión partícula burbuja).

La relación entre estas propiedades, puede ser representada en el diagrama donde HBL corresponde al balance hidrófilo-lipófilo o medida del grado hidrófilo del surfactante.

2.3.4.6 Depresores

Pueden ser indistintamente compuestos orgánicos o inorgánicos. Sirven para separar un mineral de otro cuando las propiedades. son muy similares para ambos minerales y cuando se emplea un determinado colector o combinación de colectores.

Ejemplos de depresores:

- a) Sulfuro de sodio y otros sulfuros solubles, usados sobre todo para minerales no sulfurados.

- b) Cianuros son usados en la flotación selectiva de esfalerita, minerales de cobre y pirita.
- c) Sulfitos e hiposulfitos y ciertos sulfatos (por ejemplo, Zn y sulfatos ferrosos) son usados principalmente para flotación selectiva de los minerales sulfurados y la esfalerita.
- d) Sales de cromo (K_2CrO_4 ; $K_2Cr_2O_7$), son usados sobre todo como depresores de la galena.
- e) Silicato de sodio (water, Glass) usado como depresor de cuarzo y para otros típicos minerales de ganga y también en la flotación selectiva de un número de minerales no sulfurados.
- f) Reguladores orgánicos no ionizables (amida, dextrina, ácido tánico, etc.) usados como depresores para un número de minerales no sulfurados.



Figura 20. Depresores.

2.3.5 Cinética del proceso de flotación

La cinética del proceso de flotación de espumas se puede definir como la cantidad de mineral transportado por las espumas como concentrado que se extrae de la máquina en la unidad de tiempo, donde a partir de este concepto se busca un modelo matemático que

describa el proceso de flotación, bajo presunciones basadas en la teoría de los hechos establecidos por el estudio de mecanismo de la flotación, o de las observaciones empíricas.

El proceso de flotación de espumas podemos describirlo como un proceso de concentración basado en el fenómeno físico-químico de superficies del mineral sólido, en el cual se aprovechan las propiedades hidrofóbicas de los minerales (sulfuros, no sulfuros, no metálicos, etc.), donde la mena finamente molida a un grado de liberación de la partícula de mineral valioso en un medio acuoso (pulpa = agua + mineral), en presencia de reactivos (colectores, espumantes, modificadores, Activadores, etc.) se produce o se aumenta la hidrofobización y el contacto partícula-burbuja de aire (gas), separando en la espuma el mineral valioso o la ganga en una máquina denominada Celda de Flotación. Según esto, podemos resumir a la flotación de espumas como un proceso mineralógica-químico-cinético, el cual se puede representar esquemáticamente en el diagrama. (FLORES D., 2013)

2.3.5.1 Máquinas de Flotación Mecánicas o Convencionales

Este tipo de celdas han sido y son en la actualidad las de mayor uso en las Plantas Concentradoras del mundo y del país. Se caracterizan por tener un agitador mecánico formado por un eje vertical unido a un impulsor de diseño especial y un difusor, que mantienen la pulpa en suspensión y dispersa el aire dentro de ella.

- **Zona de mezcla:** localizada en el entorno del mecanismo de agitación (A), donde el aire se dispersa en pequeñas burbujas debido a la alta turbulencia que aquí se produce y toman contacto con las partículas de mineral ya hidrofobizado.

- **Zona de separación**, de movimiento hidrodinámico poco turbulento (B), en donde las burbujas se agrupan unas con otras y drenan partículas indeseables que pudieran haber sido atrapadas o arrastradas.
- **Zona de espuma o concentración**, que es bastante tranquila en relación a las dos primeras C, donde se forma un lecho o colchón de espumas de altura variable y que contienen el mineral valioso en la ley o grado liberación según el circuito de flotación, por lo tanto, es removida o rebosa de la celda, formando el concentrado respectivo. En la figura se muestra las zonas que se producen en una celda mecánica, durante la operación.

2.3.5.2 Flotacion de cobre

Se trata de un proceso de separación de materias de distinto origen.

Esto se efectúa desde sus pulpas acuosas por medio de burbujas de gas y a base de sus propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas. (FLORES D., 2013)



Figura 21. Flotacion de Bulk

Los reactivos de flotación corresponden a sustancias orgánicas que promueven, intensifican y modifican las condiciones óptimas del mecanismo

físico-químico del proceso. -Colectores -Espumantes -Los reactivos Modificadores.

Los reactivos de flotación corresponden a sustancias orgánicas que promueven, intensifican y modifican las condiciones óptimas del mecanismo físico-químico del proceso.

- Colectores
- Espumantes
- Los reactivos Modificadores

2.3.5.3. Principales variables operacionales

Las variables de mayor importancia para el proceso de flotación son:

- Granulometría.
- Tipo de Reactivos.
- Dosis de Reactivo.
- Densidad de Pulpa.
- Aireación.
- Regulación del pH.
- Tiempo de Residencia.
- Calidad del Agua.

2.3.5.4. Conceptos Básicos de Cinética de Flotación

La cinética de flotación es el estudio de la variación en cantidad del producto que rebasa en la espuma con el tiempo y la identificación cuantitativa de todas las variables que controlan la velocidad.

La velocidad de flotación ,o de remoción de concentrado ,es otro índice importante para la evaluación del comportamiento de mineral, junto con su recuperación y leyes de concentrado y cola.

Por esta razón, las restricciones de los modelos aconsejan introducir la siguiente clasificación: Empíricos, Semiempíricos, Análogos y Análíticos.

2.3.6. Análisis de la curva de cinética de flotación

Aquí lo que intentamos es visualizar las propiedades de la flotación, es decir, cómo se comporta el mineral valioso y el no valioso al someterse a este proceso de concentración.

Al analizar la curva cinética obtenida, esta nos puede proporcionar ya información de aparentemente tres propiedades del proceso de flotación, a saber:

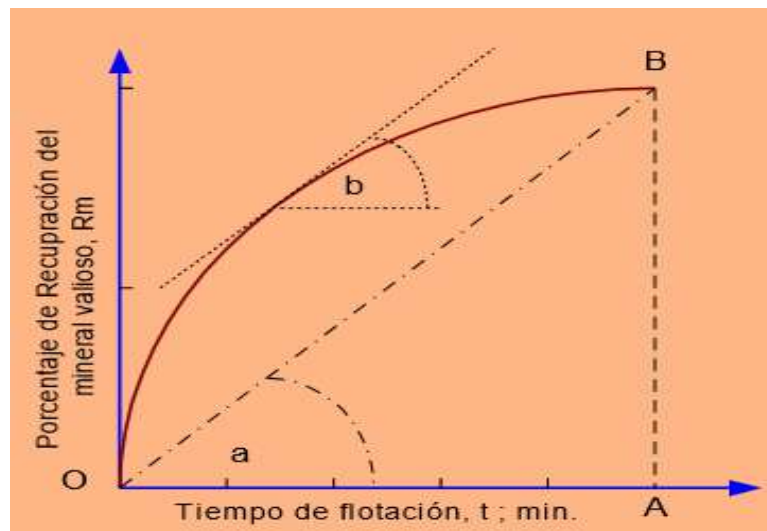


Figura 22. Velocidad de Flotacion vs Tiempo.

- Velocidad de flotación media.
- Velocidad de flotación instantánea.
- Recuperación total.

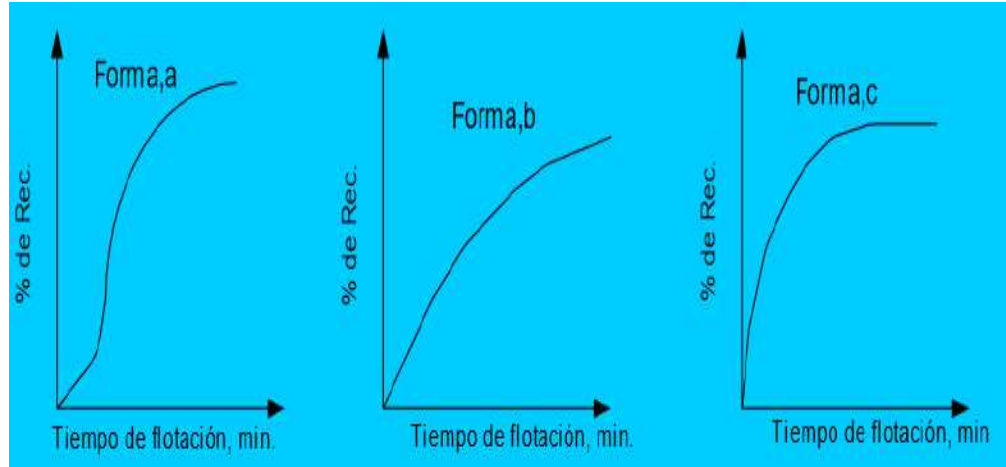


Figura 23. Comparacion de Recuperacion de Concentrado

En esta figura, vemos que la forma (a), corresponde a una curva cuya velocidad inicial baja, se incrementa, alcanzando un punto de inflexión a partir de la cual comienza a disminuir hasta hacerse cero.

En la forma (b), notamos que pertenece a una curva de velocidad inicial regular, luego disminuye hasta hacerse cero.

En la forma (c), vemos una curva cuya velocidad inicial óptima va experimentando aumentos hasta hacerse cero.

Lógicamente cada una de estas tres formas de curvas nos mostrará bajas o altas recuperaciones del mineral valiosos en estudio. Además, estas formas están influenciadas por la acción conjunta de una serie grande de variables inherentes al proceso y sus posibles interrelaciones se hacen tremendamente difícil individualizar su acción.

Pero en función de la calidad del concentrado obtenido y la recuperación lograda, podemos reunir grupos de variables y cómo influyen éstas sobre la velocidad de flotación.

A) Modelos de primer orden GARCÍA-ZUÑIGA.

$$R_t = R_\infty (1 - e^{-kt})$$

B) Con modificación según agar

$$R_t = R_\infty (1 - e^{-k(t+\theta)})$$

C) Modelo de primer orden con distribución rectangular de flotabilidades

R.KLIMPER.

$$R_t = R_\infty \left(1 - \frac{1}{kt} (1 - e^{-kt})\right)$$

2.3.7. Técnicas o procedimientos.

2.3.7.1 Identificación del Mineral.

Para el presente trabajo a realizar se cuenta con un mineral polimetálico cuarcíferos con presencia de pirita se puede describir a continuación.

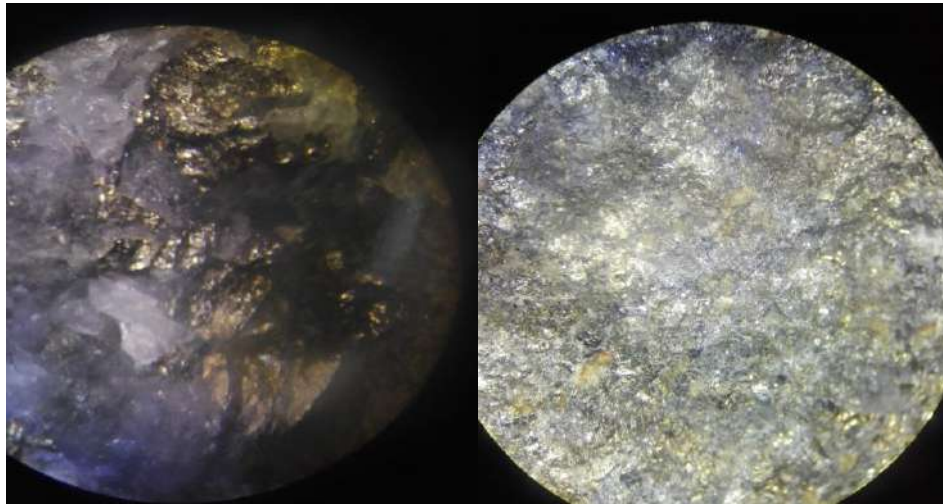


Figura 24. Identificación del mineral polimetálico

2.3.7.2 Preparación de Muestra

La preparación de la muestra está en función a las practica o pruebas que se debe realizar, como para chancado, análisis de malla, molienda, flotación, etc.



Figura 25. Muestra

Tabla 5. Ley de Cabeza

Elementos	Ley de cabeza (%)
Cu	0.81
Zn	3.92
Pb	1.59

2.3.7.3 Chancado y pulverización del mineral.

El mineral se tritura para reducir el tamaño en una chancadora de quijadas de dimensiones (5 x 6), posteriormente se clasifica mediante la malla 10 el producto de la chancadora, el grueso se retorna a la chancadora como carga circulante y los finos pasan al siguiente proceso de preparación de la muestra.



Figura 1 Reduccion del Tamaño del Mineral

Después de pasar por malla 10 se cuarteo por el método de torta para sacar una muestra representativa luego se pulveriza con la finalidad de enviar la muestra para análisis Químico.



Figura 27. Pulverizado del Mineral

2.3.8 Cuarteo de muestra.

La muestra pasada a la malla 10 se realiza un cuarteo por el método de tortas que consiste en hacer un cono posteriormente una torta y su división en cuatro partes iguales y

tomar dos partes en paralelo así sucesivamente hasta llegar a un peso deseado de la muestra en nuestro caso 1 kilogramo de la muestra para realizar las sientes pruebas como análisis granulometría, tiempo de molienda y para la flotación, etc.



Figura 28. Cuarteo del Mineral

2.4. DEFINICIONES CONCEPTUALES

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

Tipo de Reactivos: Los reactivos pueden clasificarse en colectores, espumantes y modificadores. La eficiencia del proceso dependerá de la selección de la mejor fórmula de reactivos.

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

Densidad de Pulpa: Existe un porcentaje de sólidos óptimo para el proceso que tiene influencia en el tiempo de residencia del mineral en los circuitos.

Aireación: La aireación permitirá aumentar o retardar la flotación en beneficio de la recuperación o de la ley, respectivamente. El aire es uno de los tres elementos imprescindibles en el proceso de flotación, junto con el mineral y el agua.

Regulación del pH: La flotación es sumamente sensible al pH, especialmente cuando se trata de flotación selectiva. Cada fórmula de reactivos tiene un pH óptimo ambiente en el cual se obtendría el mejor resultado operacional.

Tiempo de Residencia: El tiempo de residencia dependerá de la cinética de flotación de los minerales de la cinética de acción de reactivos, del volumen de las celdas, del porcentaje de sólidos de las pulpas en las celdas y de las cargas circulantes.

Calidad del Agua: En las Plantas la disponibilidad de agua es un problema. Normalmente se utiliza el agua de recirculación de espesadores que contiene cantidades residuales de reactivos y sólidos en suspensión, con las consecuencias respectivas derivadas por este flujo de recirculación.

2.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.5.1. Hipótesis General

Si realizamos un control eficiente de las variables operativas en el proceso de flotación de minerales sulfurados en la planta concentradora de la Empresa LOS QUENUALES S.A. Unidad Minera Contonga – SAN MARCOS, hará posible un aumento significativo del porcentaje de recuperación.

2.5.2. Hipótesis Específicas

- Si establecemos la dosificación del colector, en la cinética de la flotación de minerales sulfurados, entonces se logrará aumentar el porcentaje de recuperación mejorando la calidad del concentrado.

- Si trabajamos con la granulometría más óptima, directamente relacionándolo con la viscosidad de la pulpa entonces impedirá la dispersión del aire para que haya una buena formación de burbujas y de esa manera aumentara las burbujas y por lo tanto será mayor el % de recuperación en la flotación.
- Si determinamos el tiempo de flotación más óptimo al trabajar en la cinética de la flotación de minerales sulfurados, será mayor el % de recuperación.

2.6. PRUEBAS EXPERIMENTALES

2.6.1 Análisis Granulometría del Mineral

El análisis granulométrico es una operación de control metalúrgico que tiene por objeto estudiar la composición granular de las mezclas de minerales con el fin de conocer el tamaño promedio de partículas, su volumen y su superficie.



Figura 29. Tamizador de Minerales

2.6.5.1 Evaluacion del Analisis Granulometrico.

Del análisis granulométrico es para evaluar el mineral que es el producto del chancado y su clasificación, después de pasar por el rotap se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 6. Analisis Granulometrico

Malla		Peso	Peso	Retenido	Pasante	Micrones	G(x)
Tyler	Micrones	(g)	(%)	F(x)	G(x)	Log(x)	Log(G(X))
35	500	14.0	1.40	1.40	98.60	2.6990	1.9939
50	297	15.0	1.50	2.90	97.10	2.4728	1.9872
70	212	16.0	1.60	4.50	95.50	2.3263	1.98
100	150	19.0	1.90	6.40	93.60	2.1761	1.9713
140	106	70.0	7.00	13.40	86.60	2.0253	1.9375
200	75	138.0	13.80	27.20	72.80	1.8751	1.8621
325	45	80.0	8.00	35.20	64.80	1.6532	1.8116
400	38	147.0	14.70	49.90	50.10	1.5798	1.6998
-400	0	501.0	50.10	100	0.00		
TOTAL		1000.0					

Pendiente(m)	0.2420
Interseccion(b)	1.3971

Interseccion(b)	1.3974
k	308.94

X80corr(um)	122.8640
F(X80)	80.0000

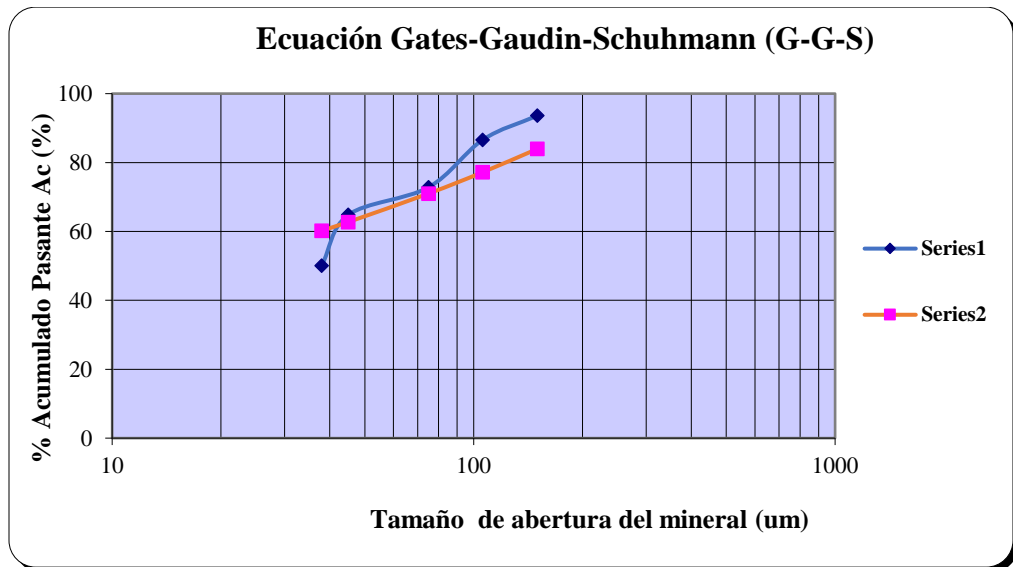


Figura 30. Diagrama de la Ecuación Gates – Gaudin - Schuhmann

Del resultado del mineral triturado y chancado se inició el análisis granulométrico para ello se hizo uso de un nido de cedazos más conocido como tamices de diferentes tamaños de abertura de malla: # 35, #50, #70, #100, #140, #200, #325, #400, #-400 y el rotap se dejó por un tiempo de 15 minutos. El F(X80) se encuentra entre las malas #70 y #100 que nos indica que es pasante a esa malla un 80% del total del mineral.

2.6.2. Determinación de la Gravedad Específica del Mineral Polimetálico

La gravedad específica se determinó empleando el método de la fiola.

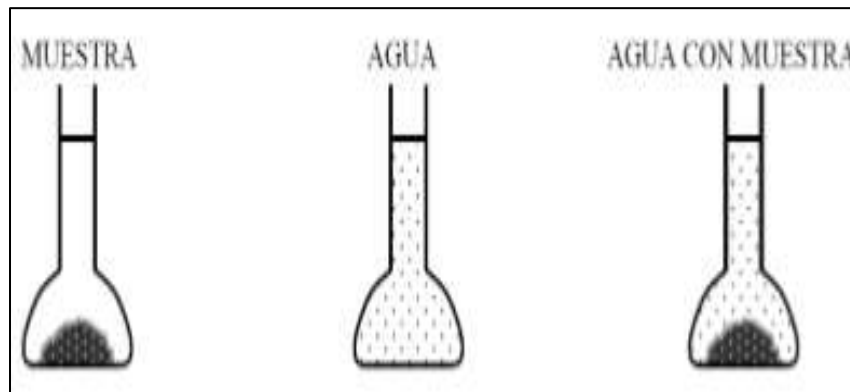


Figura 31. Método de la fiola

$$Ge = \frac{m1}{(m3 - m2) - (m4 - m5)}$$

Donde:

m1 : Peso de Mineral.

m2 : Peso de Fiola.

m3 : Peso de Fiola + Peso del Agua.

m4 : Peso de Fiola + Peso del Mineral.

M5 : Peso de Fiola + Peso del Agua + Peso del Mineral.



Figura 32. Fiolas enzadas con agua

2.6.2.1. Determinación de la Densidad del Mineral

Para ello extraimos el 50% de agua de las fiolas y se adicione la cantidad de mineral que fue utilizado fueron muestras de 5 gr y luego se volvió a enrazar y se agito por 10 minutos, para cada uno de ellos y hallar el peso especifica de dicho mineral.

Tabla 7. Determinación del peso especifico del mineral

Nº Peso Fiola	Peso de Fiola (g)	Peso del Mineral (g)	Peso (g) (Fiola + H ₂ O)	Peso (g) (Fiola + H ₂ O + Min.)	Gravedad Especifico
1	33.69	5	134.56	137.54	3.98
2	32.28	5	132.03	134.88	3.85
3	34.3	5	134.13	137.11	3.98

2.6.6.2. Determinación del pH Natural del Mineral

EL pH indica el grado de alcalinidad o acidez de la pulpa. El pH se mide de 0 a 14 con un aparato llamado potenciómetro de 0 a 6.99 es ácido y de 7.1 a 14

es alcalino. El pH 7 es neutro (ni alcalino ni ácido) y corresponde al agua pura. El pH se regula con la cal si queremos que sea alcalino o se regula con ácido si queremos que sea ácido.

En el bulk flotamos con un pH natural que es casi neutro y en el circuito de Zn operamos con un pH alcalino entre 10 a 11.5.

- **Dilución:**

$$\text{Masa} = 50 \quad \text{g}$$

$$\text{Volumen} = 150 \text{ ml}$$

$$\Phi = \frac{ml}{ms}$$

$$\Phi = \frac{ml}{ms} = \frac{150}{50} = 3$$

- **Porcentaje de sólido:**

$$\delta \text{ mineral} = 3.9367 \text{ g/cm}^3$$

$$\delta \text{ pulpa} = 1.500 \text{ g/cm}^3$$

$$\% s = \frac{pm(pp-1)}{pp(pm-1)} \times 100$$

Donde:

%s : porcentaje sólidos

Pm : densidad de mineral

Pp : densidad de pulpa

$$\% s = \frac{3.967 * (1.55 - 1)}{1.55 * (3.967 - 1)} \times 100 = 47.44\%$$

- **Dilución:**

$$\Phi = \frac{100 - \% s}{\% s}$$

$$\Phi = \frac{100 - \%s}{\%s} = \frac{100 - 47.44}{47.44} = 1.107$$

Se trabajo con 100 gr de mineral para calcular el pH natural del mineral, en un mortero de 300 ml de agua.

Tabla 8. Consumo de cal con respecto al pH

Cal (gr)	Δ Cal	pH
0	0	7
0.1	0.1	7.5
0.2	0.3	8
0.3	0.6	9
0.4	1.0	11.5

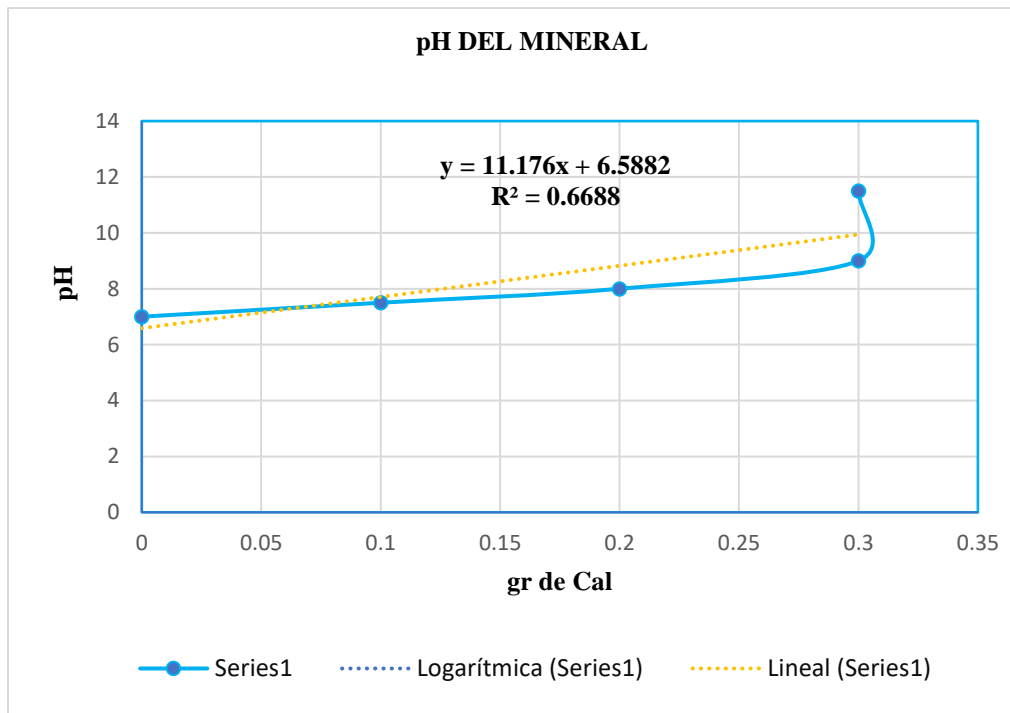


Figura 33. pH vs (gr) cal consumido



Figura 34. Cintas de medida de pH



Figura 35. Determinación del pH

2.6.3 Carga para la Molienda.

a) Carga de Bolas:

Para 1kg de mineral → 9 kg de bolas.

b) Porcentaje de Sólidos: se considera teóricamente que es 60% de sólidos y 40% líquidos

$$\phi = \frac{100 - 60}{60} = 0,6667$$

Masa del líquido = 0.6667 x 1000 g = 666,7 mililitros de agua

Volumen de agua = 666,7 ml

c) Volumen de Agua para la Molienda:

$$V_{H2O} = \frac{666,7 \text{ gr}}{0,9982 \text{ gr/ml}} = 668 \text{ ml}$$

1) Velocidad Crítica del molino de 8 x 12 (ft)

V_c = R.P.M. Velocidad crítica del molino.

V_o = RPM velocidad de operación del molino.

V_o = 75 – 80 % de la V_c

2) Diametro del molino con forros en pies (ft).

$$V_c = \frac{76.62}{\sqrt{d}}$$

Molino 8 x 12 (pulgadas) = 0.66667 Pies

$$V_c = \frac{76.62}{\sqrt{0.666667}} = 93.84 \text{ rpm}$$

V_o (min) = 93.84 x 0.75 = 70.4 rpm

V_o (max) = 93.84 x 0.80 = 75.1 rpm

Tabla 9. Parametro de la velocidad de molienda

HZ	RPM
10	29
15	46
20	58
25	76
30	88
35	106
40	118
45	135

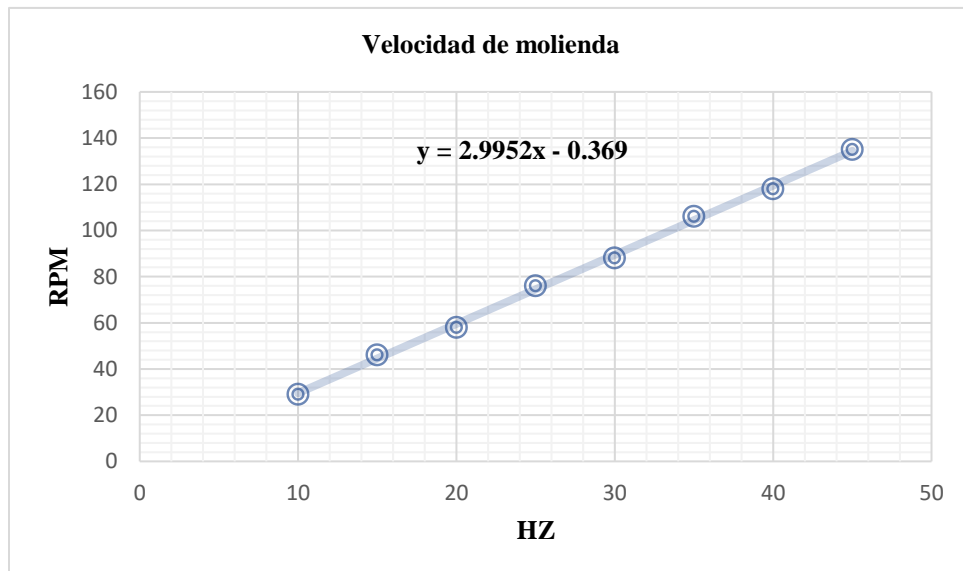


Figura 36. Pendiente de la velocidad de molienda

Tabla 1. Velocidad de Operacion del Molino

y=	2.9952	V (min)	23.38
x =	- 0.369	V (max)	24.95
Velocidad de operación			24.17



Figura 37. Molienda de mineral

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 Diseño Metodológico

3.1.1 Tipo de Investigación.

De acuerdo al propósito de la investigación, naturaleza de los problemas y objetivos reúne las condiciones suficientes para ser calificado como **Investigación Aplicada**.

3.1.2 Nivel de Investigación

Será una investigación descriptiva en un primer momento, luego explicativa y finalmente propositiva.

3.2 Población y Muestra de estudio

3.2.1 Población

La Población está conformado por los análisis rutinarios realizados en el Proceso Normal.

3.2.2 Muestra

La muestra está conformada por análisis realizada a la propuesta de Proceso.

3.2.3 Área de Estudio

La Optimización en el proceso de flotación del cobre para aumentar su recuperación en la Planta Concentradora de la Empresa LOS QUENUALES S.A. UNIDAD MINERA CONTONGA – SAN MARCOS.

3.3 Variables

- **Variables independientes.** - Proceso de Flotación de minerales sulfurados.
- **Variables dependientes.** – Aumento en la recuperación de cobre.
- **Variables intervinientes.** - Método de operación, variables operacionales, etc.

3.4 Técnicas de Recolección de Datos

3.4.1 Instrumentos

Se propone una base de datos relacionados con la toma de muestras y análisis del Proceso propuesta, es decir, el estudio de muestras minerales de cobre.

3.4.2 Técnicas

- **Análisis documentario.** Se realizarán mediante el análisis de la literatura para determinar el estudio del proceso de flotación, así como Control de Calidad; y Control y Análisis Químico – Metalúrgico del concentrado de cobre.
- **Entrevistas.** Serán realizadas a los directivos de las diferentes áreas productivas de la Planta Concentradora de la Empresa LOS QUENUALES S.A. UNIDAD MINERA CONTONGA – SAN MARCOS, para tener una idea de la concepción del problema que ellos perciben.
- **Análisis de laboratorio.** Serán realizadas a todos a todas las variables intervinientes en la propuesta de mejora del proceso de flotación para determinar la validez de la hipótesis y la validez de la solución en que se basa este estudio.

3.5 Técnicas para el procesamiento de información

En el estudio se utilizará los procedimientos siguientes:

- Los datos obtenidos de las variables operacionales serán procesados y analizados por medios electrónicos, clasificados y sistematizados de acuerdo a las unidades de análisis correspondientes, respecto a sus variables a través del programa estadístico SPSS para determinar la validez de la solución.
- Técnicas del análisis lógico-matemático para la deducción y contrastación de los modelos matemáticos relevantes.

- Técnicas numéricas para la solución, e interpretación, de los modelos matemáticos precitados.
- Análisis y evaluación de resultados.
- Retroalimentación y formulación de conclusiones.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1 DETERMINACIÓN DEL GRADO DE MOLIENDABILIDAD

Se realizo 4 pruebas de molienda pasado a malla -10. Se peso 1000 gramos de mineral de la muestra se trabajo con 9 kilos de bolas y 600 ml de agua para calcular el tiempo de molienda se lleva las muestras por 0 minutos solo pasodo a malla -10, 5 minutos, 10 minutos y por ultimo 15 minutos respectivamente y comb una velocidad critica de 76 vueltas por minutoy con revolucion de 25 RPM.

Para 1 kg de mineral → 9 kg de bolas

Volumen de agua = 600

Tabla 11. Análisis Granulométrico de Tiempo de Molienda (0, 5, 10, 15. min)

RESUMEN DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMETRICA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE MOLIENDA					
Tamaño de Particula		PESO PASANTE: %			
		Tiempo de Molienda: Minutos			
Malla Tyler	Micrones	0	5	10	15
8	2380	100.00	100.00	100.00	100.00
10	2000	100.00	100.00	100.00	100.00
12	1680	100.00	100.00	100.00	100.00
20	841	100.00	100.00	100.00	100.00
28	595	100.00	100.00	100.00	100.00
35	500	100.00	100.00	100.00	100.00
50	297	100.00	100.00	100.00	100.00
70	212	37.21	68.04	94.93	98.94
100	150	31.27	55.20	83.85	94.27
150	106	26.66	45.67	70.80	84.65
200	75	23.06	39.50	70.10	75.22
325	45	20.95	33.12	53.04	60.94
400	38	20.53	32.06	51.74	58.74
- 400	0	0.00	0.00	0.00	0.00

4.1.1. Pruebas de Moliendabilidad

Tabla 12. Pasante de la malla # - 70, # -100, # - 200 con respecto al tiempo

ITEM	Tiempo (min)	PASANTE: %		
		% - M70	% - M100	% - M200
1	0	37.21	31.27	23.06
2	5	68.04	55.20	39.50
3	10	94.93	83.85	70.10
4	15	98.94	94.27	75.22

Potencial	
Tiempo	% - M200
3.8	35.00
5.8	45.00
8.0	55.00
10.6	65.00

Polinómica	
Tiempo	% - M200
3.7	35.00
4.3	39.50
6.8	55.00
9.3	65.00

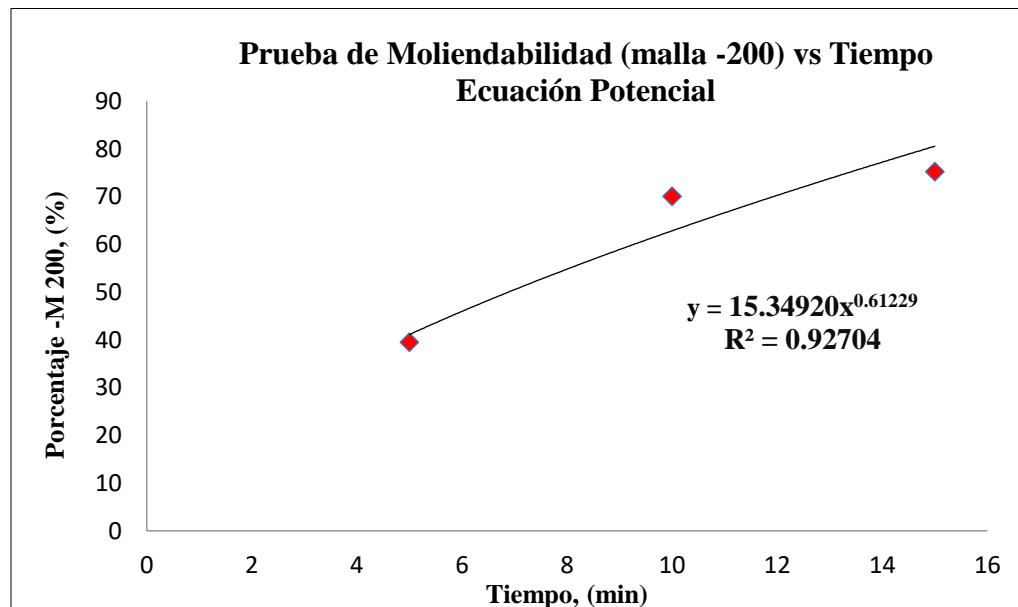


Figura 38. Pasante de malla -200 vs Tiempo – Ecuación Potencial

Iniciamos la prueba de Moliendabilidad vs tiempo para determinar el grado de liberación y tiempo para determinar el 55% pasante a la #-200 realizando los cálculos con la ecuación potencial para determinar el tiempo de molienda, se obtuvo 8 minutos.

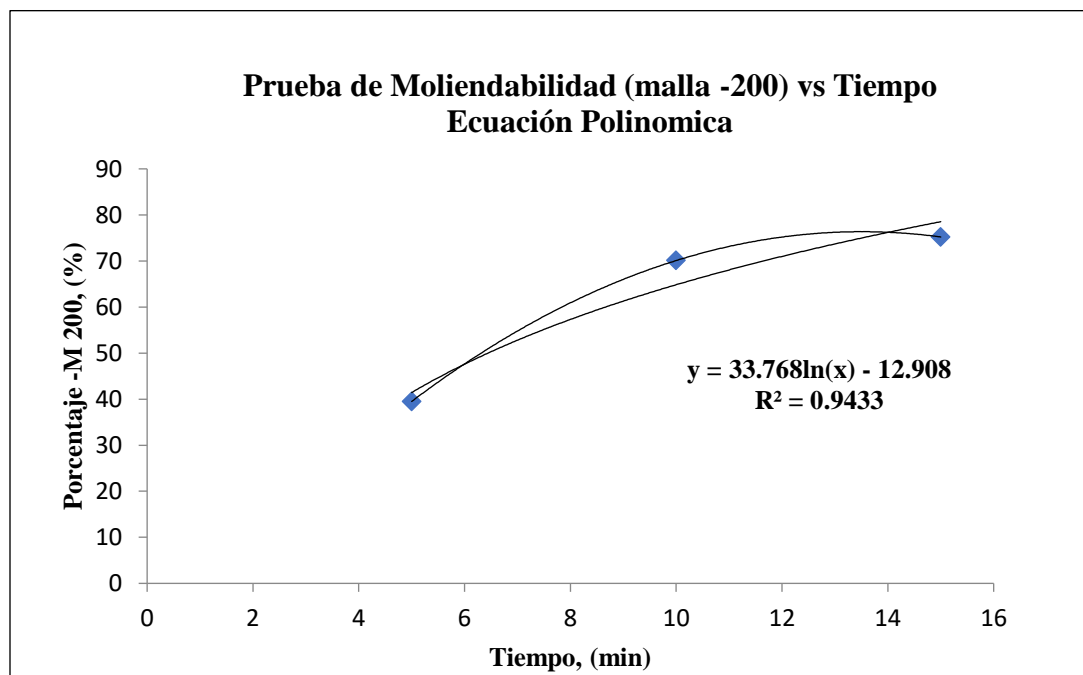


Figura 39. Pasante de malla -200 vs Tiempo – Ecuación Polinómica

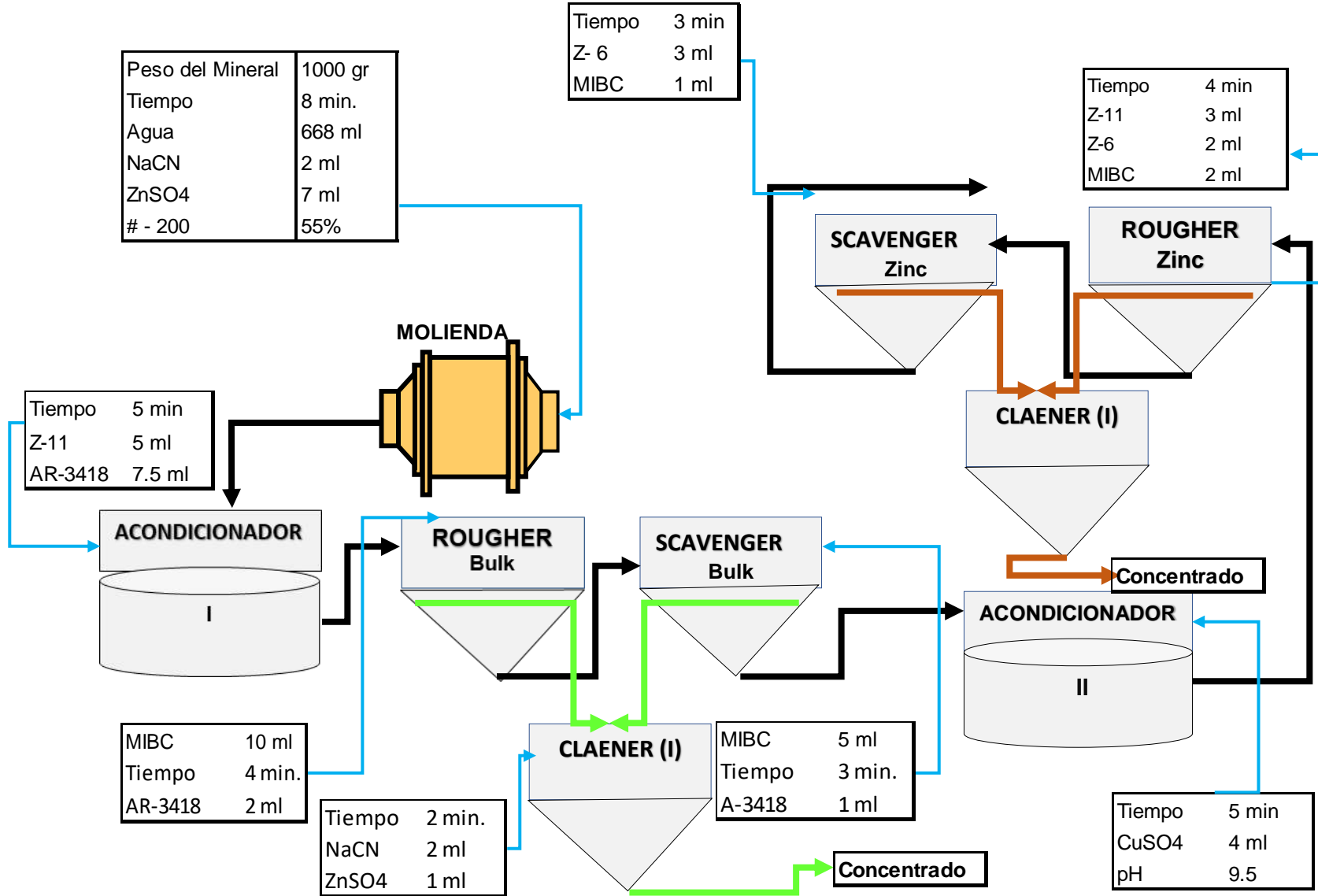
Iniciamos la prueba de Moliendabilidad vs tiempo para determinar el grado de liberación y tiempo para determinar el 55% pasante a la #-200, realizando los cálculos con la ecuación polinomial para determinar el tiempo de molienda se obtuvo 6.8 minutos.

4.1.2. Pruebas Estandar de Moliendabilidad

Esta etapa de la investigación es considerada de gran importancia, porque su función es seleccionar el reactivo(s) de mejor rendimiento que debe pasar a una prueba en planta, previamente es aconsejable hacer pruebas cerradas y piloto, para estar seguros de la bondad del reactivo elegido. Para iniciar las pruebas es conveniente establecer una prueba de referencia o patrón que sirva como medida de comparación, frente a las pruebas que se corran con los reactivos a evaluar, esta prueba de referencia es conocida como PRUEBA STANDARD. Definida a nivel de laboratorio, es la que representa las

condiciones de operación de una planta concentradora que está operando en condiciones normales. Esta prueba que es trabajada en condiciones similares a la planta concentradora nos servirá para comparar el rendimiento metalúrgico de cualquier reactivo u otra variable en estudio. En plantas donde no se tiene establecido el Standard, se diseñará esta prueba con los datos de operación de la planta teniendo en cuenta algunos aspectos como recirculación de productos intermedios que podrían exagerar el consumo de reactivos en pruebas Batch. De este modo cualquier reactivo que supere el standard debe ser tomado en cuenta hasta su confirmación industrial.

Figura 40. Diagrama de Flujo en Laboratorio para las pruebas realizadas



4.2. PREPARACIÓN DE REACTIVOS PARA FLOTACIÓN EN EL LABORATORIO.

Esta investigación tiene por objeto dar a conocer métodos científicoexperimentales, para evaluar correctamente reactivos de flotación usados en concentración de minerales. Se presentan las variables, ecuaciones matemáticas, metodología y otros parámetros importantes que permitirán cuantificar eficientemente en cualquier planta de beneficio minero-metalúrgico, la calidad de los reactivos en proceso de evaluación.

Tabla 2. Dosificación de Reactivos para Flotación.

REACTIVO	FORMULA	CONC. (%)	VOL. (cm ³)	PESO (gr)
Sulfato de Cobre	CuSO ₄	10	100	10
Sulfato de Zinc	ZnSO ₄	10	100	10
Cianuro de Sodio	NaCN	1	100	1
Xantato	Z-11	1	100	1
Xantato	Z-6	1	100	1
A-3418		100		

4.2.1 Preparación de Reactivos Sólidos.

- Primero se realizar los cálculos para determinar las cantidades de reactivos que se va utilizar en la practica de flotacion de minerales polimetalicos.
- Pesar en la balanza 10 gramos de reactivo colocándolo dentro de un vaso de precipitado de 100 ml.
- Tener 5 matraz volumetrica para cada reactivo y Agregar agua destilada en el matraz volumétrico aproximadamente 50 ml y después agregar los reactivos como Z-11, Z-6, Sulfato de cobre, etc.

- Después agregar agua destilada a 100 ml luego mezclar y agitar hasta obtener una mezcla homogénea.



Figura 41. Las Zonas de Flotacion.

4.3. FILTRADO Y SECADO.

Después de flotación el concentrado y relave debe ser filtrado y secado para hacer el balance metalúrgico, para ello se hizo uso del filtro de prensa, el cual suele estar colocado en cilindro de acero vertical u horizontal, con capacidad de resistir altas presiones hidráulicas desde 10 atmósferas. El concentrado es filtrado luego se coloca al horno de secado para su posterior análisis químico que nos va a determinar la ley del concentrado y para obtener el peso del concentrado, de relave para realizar balance Metalúrgico.



Figura 42. Filtro de Prensa y Queque.

4.4. PRUEBAS METALURGICAS

En esta etapa inicial es recomendable hacer las pruebas metalúrgicas con flotaciones rougher, rougher - scavenger, por ser estos rápidos y económicos para esta etapa de trabajo, posteriormente ya con el reactivo(s) seleccionado se puede ir a pruebas más elaboradas donde se incluyan etapas de limpieza y/o pruebas cerradas (cycle test or lock test). Estas pruebas deben llevarse a cabo con el mínimo error posible, solo así se podrá llegar a conclusiones verdaderas. Por ejemplo en pruebas batch o cerradas es muy conveniente tener la suficiente práctica en flotación a fin de no cometer errores que podrían ser perjudiciales hasta para el mejor reactivo. Es conveniente dar preferencia a la práctica de flotación, hasta correr una prueba por triplicado, partiendo de 1 Kg. de muestra se debe obtener casi la misma cantidad de concentrado, con variaciones en un gramo como tolerancia mínima. La evaluación de reactivos será en base a recuperación, radio de concentración, radio de enriquecimiento, eficiencia de separación, índice de selectividad

forma y tamaño de espumas y otros criterios metalúrgicos que uno crea conveniente, como gráficos, etc. A veces es necesario realizar análisis mineralógico de los productos a fin de obtener una idea de la naturaleza y la proporción de los diferentes tipos de partículas presentes. El conocimiento del precio de los reactivos frente a la mejora obtenida por este mayor rendimiento metalúrgico ayudará a tener una mejor idea técnico-económica del reactivo evaluado; en casos donde los resultados metalúrgicos obtenidos con el reactivo evaluado sean ligeramente superior al estándar y la eficiencia del reactivo no está bien definida es recomendable ir a pruebas donde se incluya etapas de limpieza y/o pruebas cerradas para confirmar o descartar las bondades del reactivo.

4.4.1. Balance Metalúrgico

El balance metalúrgico es una herramienta que nos permite evaluar el trabajo de un circuito de flotación y concentración gravimétrica. Con el balance metalúrgico también se evalúa la molienda y dosificación de reactivos. Los esquemas de un balance metalúrgico dependen de la cantidad de concentrados que se producen en la planta concentradora.

Tabla 3. Tiempo de Flotacion - (1 min)

PRODUCTO	gr	% PESO	TIEMPO DE FLOTACION 1 min.						RATIO
			ENSAYADO		CON. METALICO		DISTRIBUCION (%)		
			% Cu	% Zn	% Cu	% Zn	% Cu	% Zn	
CABEZA	1000	1000.00	0.70	2.05	7.00	20.50	100.00	100.00	
CONC. Cu	15.24	0.23	20.00	6.92	3.05	1.05	43.55	5.14	65.61
CONC. Zn	34.07	1.16	2.67	35.01	0.91	11.93	12.99	58.18	29.35
RELAVE	950.69	903.81	0.32	0.38	3.04	3.61	43.46	17.62	
TOTAL	1000						100.00	80.95	

Tabla 4. Tiempo de Flotacion - (2 min)

PRODUCTO	gr	% PESO	ENSAYADO		CON. METALICO		DISTRIBUCION (%)		RATIO
			% Cu	% Zn	% Cu	% Zn	% Cu	% Zn	
CABEZA	1000	1000	0.70	2.05	7.00	20.50	100.00	100.00	
CONC. Cu	23.96	0.57	22.00	6.00	5.27	1.44	75.30	7.01	41.74
CONC. Zn	31.21	0.97	1.00	45.02	0.31	14.05	4.46	68.54	32.04
RELAVE	944.83	892.71	0.15	0.30	1.42	2.83	20.25	13.83	
TOTAL	1000						100.00	89.37	

Tabla 5. Tiempo de Flotacion - (4 min)

TIEMPO DE FLOTACION 4 min.

PRODUCTO	gr	% PESO	ENSAYADO		CONTENIDO METALICO		DISTRIBUCION (%)		RATIO
			% Cu	% Zn	% Cu	% Zn	% Cu	% Zn	
CABEZA	1000	1000	0.70	2.05	7.00	20.50	100.00	100.00	
CONC. Cu	19.95	0.40	27.00	5.00	5.39	1.00	76.94	4.87	50.13
CONC. Zn	31.73	1.01	1.50	54.00	0.48	17.13	6.80	83.57	31.52
RELAVE	948.33	899.32	0.12	0.25	1.14	2.37	16.26	11.56	
TOTAL	1000						100.00	100.00	

Tabla 6. Tiempo de Flotacion - (8 min)

TIEMPO DE FLOTACION 8 min.

PRODUCTO	gr	% PESO	ENSAYADO		CON. METALICO		DISTRIBUCION (%)		RATIO
			% Cu	% Zn	% Cu	% Zn	% Cu	% Zn	
CABEZA	1000.00	1000	0.70	2.05	7.0	20.5	100.00	100.00	
CONC. Cu	20.54	0.42	29	4.5	6.0	0.92	85.11	4.51	48.68
CONC. Zn	31.57	1.00	1.2	56	0.4	17.68	5.41	86.24	31.67
RELAVE	947.89	898.49	0.07	0.2	0.7	1.90	9.48	9.25	
TOTAL	1000.00						100.00	100.00	

4.5. CINÉTICA DE FLOTACIÓN

Con el objeto de no incurrir en error de evaluación y dar a todos los reactivos en prueba la misma oportunidad de demostrar sus propiedades, las pruebas tienen que ser efectuadas en condiciones exactamente iguales a la prueba estándar, es decir, granulometría, dilución, dosificación de reactivos, tiempo de acondicionamiento y flotación, nivel de pulpa, RPM, remoción de espumas etc. En el momento de la flotación es de suma importancia que la técnica empleada durante la flotación estándar sea la misma para las demás pruebas. Esto es lo referente a: inclinación, profundidad, modalidad y frecuencia de remoción de espumas, frecuencia de lavado etc. tratando de eliminar en lo posible el error experimental, que podría ocasionar conclusiones erróneas. Un método de conocer el grado de error que uno es capaz de cometer durante una prueba de flotación es realizar la prueba estándar por triplicado. Si la prueba está bien trabajada, los resultados metalúrgicos incluyendo los pesos de los productos deben ser similares entre sí, esto significa que la preparación de la muestra antes y después de las pruebas sean efectuadas cuidadosamente. Sólo después de alcanzar ese nivel de exactitud, se estará en condiciones de efectuar con seguridad las pruebas metalúrgicas tendientes a evaluar reactivos de flotación. En caso de evaluar uno o más reactivos, para cuantificar su calidad estos se deben comparar con otro reactivo de marca y calidad reconocida al cual denominaremos Reactivo Patrón.

4.5.1. Modelo de Garcia-Zuñiga para el Recuperacion de Cobre.

El modelo desarrollado por García Zúñiga en 1935 representa la ecuación cinética de un proceso de flotación discontinua, donde k y R_{∞} son los parámetros característicos de

cada componente flotable. Este modelo describe a la flotación por espumas de un alimento monodisperso conteniendo partículas que tienen una flotabilidad constante.

Tabla 18. Cinetica de Flotacion Utilizando el Modelo de Garcia- Zuñiga.

Tiempo(min)	Rec.Exp	Rec. Modelo	Error
1	43.55%	44.62%	0.01%
2	68.45%	66.77%	0.03%
4	81.95%	83.24%	0.02%
8	88.78%	88.30%	0.00%
			0.06%

k	0.70
Ra	0.89

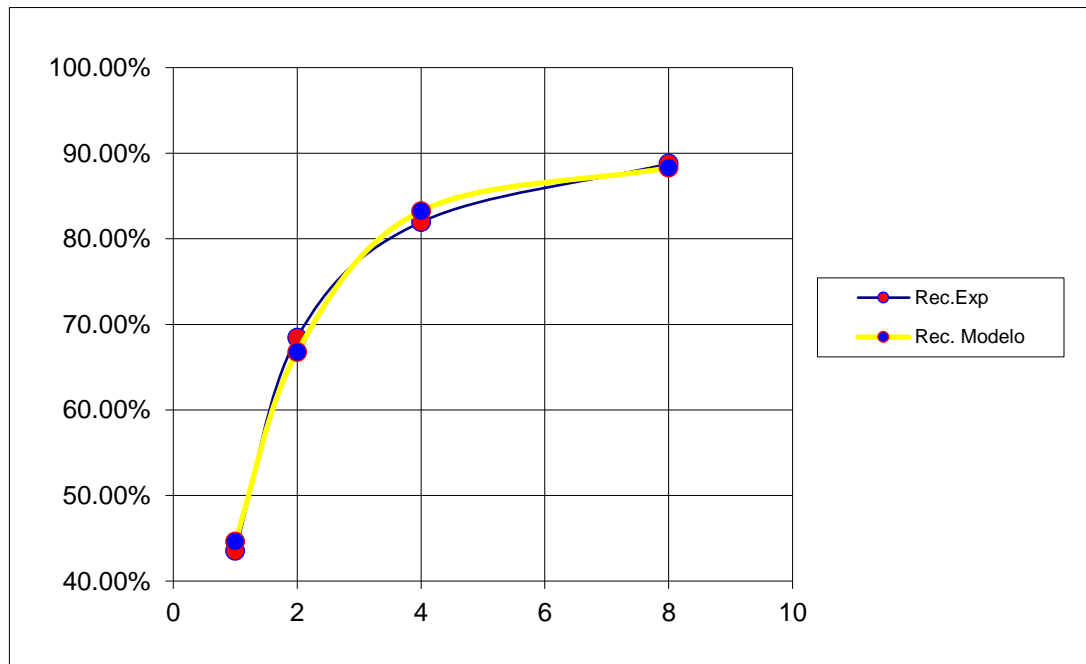


Figura 3. Recuperacion vs Tiempo para el cobre (Cu)

4.5.2. Modelo de Garcia-Zuñiga para el Recuperacion de Zinc.

Tabla 19. Cinetica de Flotacion Utilizando el Modelo de Garcia- Zuñiga.

Tiempo(min)	Rec. de Exp	Rec. Modelo	Error
1	58.18%	53.47%	0.22%
2	68.54%	73.14%	0.21%
4	83.27%	83.04%	0.00%
8	86.24%	84.57%	0.03%
			0.46%

k	1
Ra	0.846

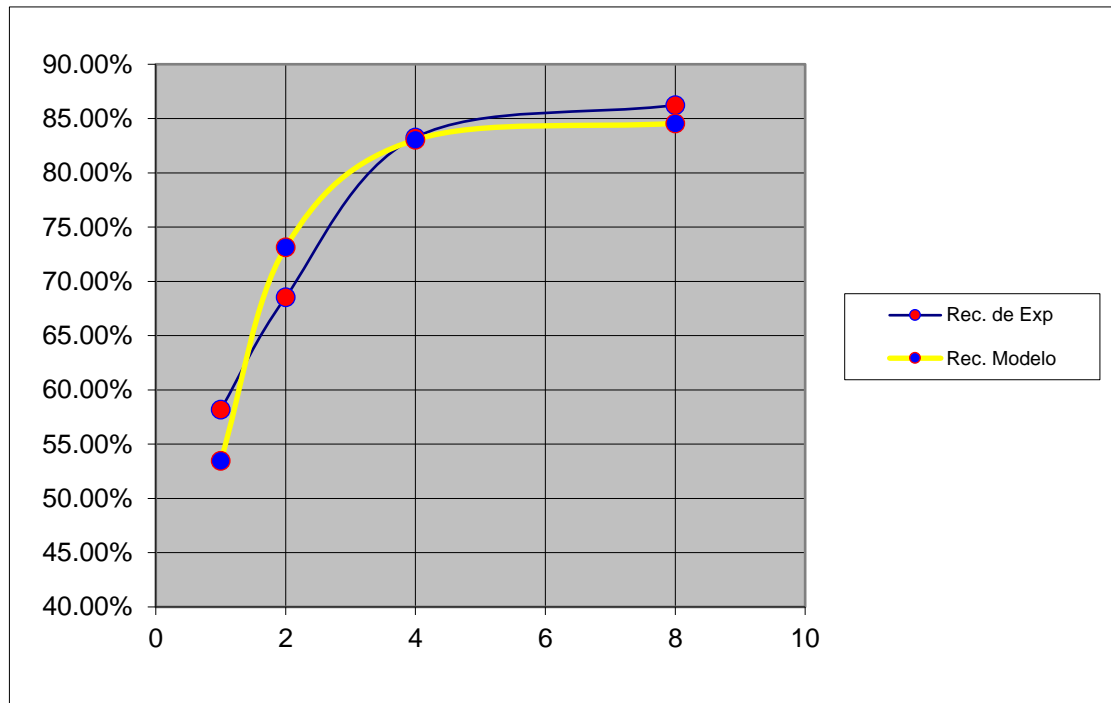


Figura 4. Recuperacion vs Tiempo para el zinc (Zn)

Para estudiar cinetica de flotacion tener en cuenta el tiempo de flotacion y el porcentaje de recuperacion del dicho concentrado, tambien es necesario conocer lo que sucede con la partícula de mineral y una burbuja de aire para que ellos formen una unión estable.

El proceso de Cinética de flotación está basado sobre las propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas de los sólidos a separar. Se trata fundamentalmente de un fenómeno de comportamiento de los sólidos frente al agua, o sea, de mojabilidad de los sólidos. Los metales nativos, sulfuros de metales o especies tales como grafito, carbón bituminoso, talco y otros, son poco mojables por el agua y se llaman minerales hidrofóbicos naturales.

Por otra parte tenemos, los minerales que son óxidos, sulfatos, silicatos, carbonatos y otros son hidrofílicos, o sea, mojables por el agua. Se puede observar además que los minerales hidrofóbicos son aerofílicos, es decir, tienen gran afinidad por las burbujas de aire, mientras que los minerales hidrofílicos son aerofóbicos, o sea, no se adhieren normalmente a ellas.

CAPITULO V

DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. DISCUSIÓN

En el ámbito nacional (Vilca, 2019), en su tesis Titulada “Evaluación de flotación de óxidos de Cobre mediante pruebas de reactivos de laboratorio”, busca Evaluar la aplicación y dosificación de reactivos para la flotación de minerales oxidados de cobre en laboratorio, en la cual concluye: Las pruebas con colectores y modificadores, señalaron que una mayor dosis del colector primario (35 g/t), permitió incrementar en 1.1% más la recuperación de Cu y 11.5% más en la recuperación de Mo. Así también, las pruebas de flotación con reactivos Cytec (MX945 / MX5160) señalaron que son una buena alternativa para utilizarlos en reemplazo a los reactivos estándar (C 4132/Z11) permitieron la recuperación de Cu e incrementar la recuperación de Mo en 3,1%.

Para (Cobos, 2018), en Flotación Rougher de un Mineral Aurífero Complejo asociado a Sulfuros Polimetálicos, “La recuperación, ley del concentrado, el mejor resultado es la prueba #8 del Oro y prueba #7 de Plata. El Sulfato de Zinc no es necesario, no mejora la flotación, solo minora la recuperación e interfiere a otros reactivos”. Para (Molina, 2017), en Estudio del efecto de la aplicación de espumantes en el proceso de flotación de mineral mixto de cobre, “Los poliglicoles generan mayor altura de espuma que el MIBC debido a su estructura y propiedades químicas, el comportamiento de la espuma depende en gran medida de la estructura y propiedades hidrodinámicas que presenta en función del surfactante usado”.

Los reactivos utilizados en la flotación son: sulfato de cobre, sulfato de zinc, cianuro de sodio, xantato z – 6, xantato z – 11 y A – 3418, permitieron una recuperación progresiva de cobre y zinc durante el tiempo de flotación determinado.

Los resultados de la prueba de flotación utilizando tiempos de 1 min, 2 min, 4 min y 8 min, aplicando las mejores condiciones de operación, permitieron recuperaciones de cobre para esas pruebas de flotación de 43,55%, 75,30%, 76,94% y 85,11% respectivamente, y para el Zinc recuperaciones de 58,18%, 68,54%, 83,57% y 86,24% respectivamente

5.2. CONCLUSIONES

En el presente trabajo de investigación realizado durante mi permanencia de la U.M. Contonga se tiene las siguientes conclusiones las cuales se describe a continuación:

- El proceso de liberación de minerales está íntimamente ligado a la distribución de la carga de moledora, densidad de pulpa y tiempo, para genera una adecuada molienda.
- Pude visualizar que el plomo de cierta manera flota al pH natural, pero para el proceso hubo necesidad de expandir el pH a 8 con ayuda de cal para poder regular la flotación.
- Para poder flotar un mineral es preciso hacer un análisis extenso de cada uno de las etapas para a la larga del proyecto no nos presente inconvenientes.
- La coordinación entre el laboratorio químico y planta, debe realizarse de manera frecuente sobre la variabilidad del mineral abastecido, ya que por este medio se ha logrado mejorar la propuesta planteada en el presente estudio de optimización en la Unidad Minera Contonga.
- Como una alternativa adicional podría ser factible una ampliación de tonelaje para incrementar la producción actual ya que el rendimiento operacional de algunos equipos no es el óptimo y la disponibilidad energética es de tan solo el 50-60% de su

capacidad. Al terminar la presente investigación sobre la preparación de reactivos podemos concluir que con el desarrollo experimental, se puede definir que la concentración de una solución depende o directamente de los factores de molaridad y normalidad, las cuales son propiedades que determinan las características de una solución.

- La calidad de los reactivos de flotación debe ser evaluada permanentemente o cuando se va a reemplazar alguno de ellos por otro de mejor rendimiento metalúrgico, el siguiente paso es evaluar el costo del reactivo seleccionado.
- Las técnicas actuales de evaluación se apoyan principalmente en: observaciones experimentales, cálculos de leyes, recuperación y radios de concentración.
- En este trabajo de investigación se incluyen además de los parámetros anteriores, otros como son, radio de enriquecimiento, eficiencia de separación, índice de selectividad etc. que nos permiten evaluar integralmente a los reactivos de flotación.

5.1.3. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un mayor número de pruebas con replicas cuyo análisis permita eliminar el error experimental y obtener resultados más determinantes y adicionalmente evaluar los beneficios frente al costo de estos reactivos.
- Es importante realizar ensayos de caracterización mineralógica más detallados de muestras representativas de minerales mixtos, que permita ampliar la investigación y con ello el respectivo apoyo económico.
- Ampliar la investigación sobre flotación de minerales mi influencia de otras variables del proceso.

CAPITULO V

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

5.1. Bibliografía Específica:

1. AOAC, (2015) **Oficial Methods of Análisis**, 16 ed. Association of Oficial Analytical Chemist, Washington, DC.
2. Kirk Raymond E., Othmer Donald F.(1989); "**Enciclopedia de Tecnología Química**". 5ta. Edición en Español. Edit. Willey. Volumen 18. New York.
3. Arlandis Rubio, José. (199). *La Metalurgia del Cobre*. [en línea]. Asociación de Ingenieros Industriales de Madrid, 1999. [Consulta: noviembre 2009] Disponible en: <http://www.aim.es/publicaciones/bol2/13_Metalurgia_Cobre.pdf>
4. Atlantic Copper. (2010). *El cobre*. [en línea]. Atlantic Copper, 2010. [Consulta: abril 2010]. Disponible en: <<http://www.atlantic-copper.es/2006/index.php?opc=1&cont=5>>
6. Baretino, Deniel et. Al. (2005). *La industria extractiva no energética y el medio ambiente en el marco del desarrollo sostenible*. Baretino, Deniel et. Al. Instituto Geológico Minero de España, 2005
7. Benedito Benet, Ernest. (2010). *Influence of reverse logistics on optimal manufacturing, remanufacturing, and storage capacities*. Tesis Doctoral Universitat Politècnica de Catalunya Barcelona, 2010
8. Barreto, J. (2008). Informe Visita Planta Concentradora Shorey. Lima.
9. Buckleya, A. N., & Woods, R. (1991). Adsorption of ethyl xanthate on freshly exposed galena surfaces. *Colloids and Surfaces*, Vol. 53, 33-45.

10. Bulatovic, S. (2000). Plant Design for Copper Lead Separation at Concentrator Perú. Estados Unidos.
11. Canta, E. (2007). Reemplazo del Bicromato y cianuro de sodio por la mezcla BCS en la separación Plomo – Cobre por flotación en la planta concentradora Amistad. Informe Técnico, PAN AMERICAN SILVER, Lima.
12. Castillo Migone, J. (2006). Investigación metalúrgica a nivel de planta piloto. Obtenidode:http://app.tecsup.edu.pe/file/sga/documentos/revistali/I_i_1/3.pdf
13. Chander, S., & Fuerstenau. (1975). Sulphide minerals with thiol collectors: the chalcocite diethyl dithiophosphate system. 11th International Mineral Processing Congress, 583- 603.
14. Eadington, P., & Prosser, A. P. (1982). Oxidation of lead sulphides in aqueous suspensions. Trans. IMM, Sect. C: Min. Pro. Ext. Metall., 78-74.
15. Esposito, M. C., Chander, S., & Aplan, F. (1987). Characterization of pyrite from coal source. Process Metallurgy, VI, Transaction of Metallurgical Society/American Institute of Mining Engineers, 475–493.
8. Fernández, S. (2007). Optimización del Proceso de Lixiviación en Medio Acido Oxidante de Concentrados de Sulfuro de Cobre. Lima, Perú: UNMSM. Gaudin,
9. Beregovski, V.; Kistiakouski, B. (1974). *Metalurgia del cobre y del niquel*. Moscú, Editorial Mir.

5.2. REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

1. Centro de Estudios del Cobre y la Minería CESCO. (2009). *Informe Financiero de la Minería*. [en línea]. CESCO, 2009. [Consulta: abril 2009]. Disponible en:

- <<http://www.cesco.cl/assets/docs/estudios-y-presentaciones/informe-financiero-mineria-cesco-n4-2T2009.pdf>>
2. [CEDIC, 2009] Centro Español de Información del Cobre CEDIC. *Empresas Asociadas* [en línea]. Centro Español de Información del Cobre, 2009. [Consulta: noviembre 2009] Disponible en: <http://www.infocobre.org.es/>
 3. [CODELCO, 2010] CODELCO. *Zona del Cobre*. [en línea]. CODELCO, 2010 [Consulta: abril 2010]. Disponible en: <http://www.codelco.cl/cu_zonacobre/fr_zona.html>
 4. [Cobre Las Cruces, 2010] Cobre Las Cruces, S.A. *Cobre Las Cruces, S. A: La nueva Industria Minera de Andalucía*. [en línea]. Cobre Las Cruces, S.A, 2010. [Consulta. Mayo 2010]. Disponible en: [http://www.cobrelascruces.com/index.php?option=com_content&task=view&id=20 &Itemid=46](http://www.cobrelascruces.com/index.php?option=com_content&task=view&id=20&Itemid=46)
 5. [Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas, 1996] Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas de España. *La Minería en España : situación actual y posibilidades de desarrollo*. Madrid, Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas, 1996.[Copper Development Association, 2010] Copper Development Association. *Properties and use*. [en línea]. Copper Development Association, 2010 [Consulta: abril 2010]. Disponible en: <<http://www.copperinfo.co.uk/>>
 6. [CopperInfo, 2010] CopperInfo.com. International Copper Association ICA. *Copper properties*. [en línea]. International Copper Association ICA, 2010 [Consulta: abril 2010]. Disponible en: < <http://www.copperinfo.com/aboutcopper/properties.html>>

7. Correa Sabat, Daniel. (2008). *La Globalización del Cobre: Patrones Geopolíticos y Geoeconómicos de su producción y Comercio en Latinoamérica y el Mundo*. [en línea] GCG Georgetown University-Universia, 2008 [Consulta: mayo 2010].
Disponible en:
http://gcg.universia.net/pdfs_revistas/articulo_87_1206609750012.pdf

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia:

CINÉTICA DE FLOTACIÓN DE MINERALES SULFURADOS PARA OBTENCIÓN DEL CONCENTRADO DE COBRE Y ZINC EN PLANTA CONCENTRADORA DE EMPRESA LOS QUENUALES S.A. UNIDAD MINERA CONTONGA – SAN MARCOS 2021

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES	MÉTODOS/ TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
<p>Problema General ¿Cómo realizamos el control de la cinética de flotación de minerales sulfurados para la obtención del concentrado de cobre y zinc en la planta concentradora de la Empresa LOS QUENUALES S.A. Unidad Minera Contonga -SAN MARCOS 2021?</p> <p>Problemas Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ ¿Cómo se determinará la caracterización de la muestra estudio en la cinética de flotación de minerales sulfurados? ▪ ¿Cómo se realizará el control de las variables en la cinética de flotación para obtener un concentrado de cobre con mayor recuperación? ▪ ¿Cómo se realizará el control de las variables en la cinética de flotación para obtener un concentrado de zinc con mayor recuperación? 	<p>Objetivo General Realizar un control de las variables operativas en la cinética de flotación de minerales sulfurados para obtener un concentrado de cobre y zinc con buenas recuperaciones y calidad de acuerdo a las exigencias de las fundiciones.</p> <p>Objetivos Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Caracterización de la muestra estudio. ▪ Obtención del concentrado de cobre. ▪ Obtención del concentrado de zinc. 	<p>Hipótesis General Si realizamos un control eficiente de las variables operativas en el proceso de flotación de minerales sulfurados en la planta concentradora de la Empresa LOS QUENUALES S.A. Unidad Minera Contonga – SAN MARCOS, hará posible un aumento significativo del porcentaje de recuperación.</p> <p>Hipótesis Específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Si establecemos la dosificación del colector, en la cinética de la flotación de minerales sulfurados, entonces se logrará aumentar el porcentaje de recuperación mejorando la calidad del concentrado. ▪ Si trabajamos con la granulometría más óptima, directamente relacionándolo con la viscosidad de la pulpa entonces impedirá la dispersión del aire para que haya una buena formación de burbujas y de esa manera aumentará las burbujas y por lo tanto será mayor el % de recuperación en la flotación. ▪ Si determinamos el tiempo de flotación más óptimo al trabajar en la cinética de la flotación de minerales sulfurados, será mayor el % de recuperación 	<p>Variables Variable Independiente (X): X: Control de variables operacionales en la cinética de flotación</p> <p>Variable dependiente (Y): Y: Aumento en la recuperación del concentrado de cobre y zinc</p> <p>Indicadores: Variables operacionales:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ pH, ▪ grado de agitación, ▪ granulometría, ▪ dosificación de reactivos. <p>Aumento en la recuperación del concentrado de cobre y zinc</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ % cobres/TM 	<p>Tipo de investigación Tesis descriptiva y correlacional.</p> <p>Diseño de investigación Se tomará el enfoque cuantitativo porque se pretende obtener la recolección de datos para conocer o medir el fenómeno en estudio y encontrar soluciones para la misma; la cual trae consigo la afirmación o negación de la hipótesis establecida. La investigación también será cualitativa, la cual consiste en utilizar la recolección de datos sin medición numérica para descubrir o afinar preguntas en el proceso del desarrollo de la tesis.</p> <p>Técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Análisis documental. ▪ Control de las variables del proceso. 	<p>Se usará como instrumento de medición los datos obtenidos de las variables operacionales, las cuales serán procesadas y analizadas por medios físico químicos, clasificados y sistematizados de acuerdo a las unidades de análisis correspondientes, respecto a sus variables a través del programa Excel para determinar la validez de la solución, en la Planta Concentradora de la Empresa LOS QUENUALES S.A. – SAN MARCOS 2021.</p>