

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA
METALURGICA**



TESIS

**Proceso de flotación del cobre reemplazando el RCS con bisulfito de sodio para
mitigar la contaminación de los efluentes líquidos a nivel laboratorio en la
Empresa Minera Nexa Resources S.A.C. Pasco – 2019**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Metalurgista

Autor: Bach. Kleiber Yonatan QUISPE PONCE

Asesor: Mg. Manuel HUAMÁN DE LA CRUZ

Cerro de Pasco – Perú - 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA
METALURGIA



TESIS

**Proceso de flotación del cobre reemplazando el RCS con bisulfito de sodio para
mitigar la contaminación de los efluentes líquidos a nivel laboratorio en la
Empresa Minera Nexa Resources S.A.C. Pasco - 2019**

Sustentada y aprobada ante los miembros de jurado:

Dr. Antonio Florencio BLAS ARAUCO

PRESIDENTE

Mg. Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO

MIEMBRO

Mg.Sc. Ramiro SIUCE BONIFACIO

MIEMBRO

DEDICATORIA

A mis padres Cleber QUISPE A. y Vilma Ponce J,
por su apoyo constante, para la culminación de mi
estudio por quienes guardo un profundo
agradecimiento.

RECONOCIMIENTO

A Dios por fortalecerme cada día mi vida e iluminarme y guiarme por un camino correcto.

A la Unidad Minera Milpo el Porvenir ahora Nexa Resources S.A.C, el área de metalurgia, para realizar pruebas metalúrgicas a escala laboratorio y a la empresa Inspectorate. Por la oportunidad de ser parte del equipo y así crecer profesionalmente, para realizar pruebas metalúrgicas a escala laboratorio.

A mi familia por su lucha incansable para darme la oportunidad de estudiar y ser una persona de bien en la vida, estaré eternamente agradecido con cada uno de ellos.

Al Mg. Manuel HUAMAN DE LA CRUZ, por su asesoría en el desarrollo del presente trabajo de investigación, así como por la confianza y el apoyo incondicional.

A los catedráticos de mi alma mater la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión por haber formado parte de mi formación académica durante los 5 años de mi vida universitaria

Asimismo, hago extensivo mi agradecimiento a todas aquellas personas que colaboraron de una u otra forma en el desarrollo de este trabajo de investigación.

RESUMEN

La presente investigación se orientó al proceso de flotación de cobre reemplazando el RCS con bisulfito de Sodio para mejorar la calidad del concentrado y una mayor recuperación, mitigando así la contaminación de los efluentes líquidos generados por el cromo hexavalente (Cr^{6+} en mg/l), del Bicromato di Sodico Anhídrido ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) que es parte de la mezcla del RCS, reportan concentraciones que exceden los Límites Máximos Permisibles, de 0,05 mg/l para cromo total, según el D.S. N° 031-2010-SA y la Norma nacional vigente para descargas de efluentes líquidos de actividades Minero-Metalúrgica, D.S. N° 010-2010-MINAM.

Se realizaron pruebas metalúrgicas para reemplazar el RCS con bisulfito de Sodio, a nivel laboratorio llegando como resultado final a un grado de concentrado y una recuperación de del 21,59%, 28,60% mejorando la calidad del concentrado y eliminar por completo la mezcla del RCS, como contaminante el cromo hexavalente que viene afectando a las comunidades aledañas y el impacto ambiental del centro poblado san Juan de Milpo – Cerro de Pasco. Por lo tanto, se determinó para el circuito de flotación del cobre, Bisulfito de Sodio para reemplazar al RCS, en la Empresa Minera Nexa Resources S.A.C.

Palabras claves: Bisulfito de Sodio, Flotación del Cobre y Límite Máximo Permisible

ABSTRACT

The present investigation was oriented to the copper flotation process replacing the RCS with sodium bisulfite to improve the quality of the concentrate and a greater recovery, thus mitigating the contamination of the liquid effluents generated by the hexavalent chromium (Cr^{6+} in mg / l), of Sodium Anhydride Bichromate ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) that is part of the RCS mixture, report concentrations that exceed the Maximum Permissible Limits of 0.05 mg / l for total chromium, according to the DS N ° 031-2010-SA and the current National Standard for discharges of liquid effluents from activities Minero-Metalúrgica, D.S. N° 010-2010-MINAM.

Metallurgical tests were carried out to replace the RCS with sodium bisulfite, at the laboratory level, reaching a final grade of a concentrate and a recovery of 21.59%, 28.60% improving the quality of the concentrate and completely eliminating the mixture of the RCS, as a contaminant, the hexavalent chromium that has been affecting the surrounding communities and the environmental impact of the San Juan de Milpo - Cerro de Pasco population center. Therefore, it was determined for the copper flotation circuit, Bisulfite of Sodium to replace the RCS, in Empresa Minera Nexa Resources S.A.C.

Keywords: Sodium Bisulfite, Copper Flotation and maximum permissible limits.

INTRODUCCIÓN

La elección del Bisulfito de Sodio adecuado para el proceso de flotación del cobre, será seleccionada en base a los resultados de las pruebas metalúrgicas, en base a los estándares de calidad de la compañía.

Consta de cuatro capítulos:

En el capítulo I, se presenta la determinación del problema, formulación del problema, objetivos, justificación del problema, importancias, alcances de la investigación y limitaciones.

En el capítulo II, se presenta la fundamentación teórica, tales como: antecedentes, bases teóricas–científicas, definición de términos, hipótesis genéricas y específicas, identificación de variables independientes, dependientes e intervinientes.

En el capítulo III, se presentan el tipo de investigación, diseño de la investigación, población y muestra, métodos de la investigación, técnicas e instrumentos de recolección de datos, técnicas de procesamiento y análisis de datos y tratamientos estadísticos de datos.

En el capítulo IV, tratamientos estadísticos e interpretación de cuadros, presentación de resultados, pruebas de hipótesis y discusión de resultados.

Finalmente se presentan las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexo

INDICE

DEDICATORIA

RECONOCIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2.	DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.2.1.	<i>Delimitación teórica.</i>	<i>3</i>
1.2.2.	<i>Delimitación espacial.</i>	<i>3</i>
1.2.3.	<i>Delimitación temporal.</i>	<i>4</i>
1.3.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.3.1.	<i>Problema principal.</i>	<i>4</i>
1.3.2.	<i>Problemas específicos.....</i>	<i>4</i>
1.4.	FORMULACIÓN DE OBJETIVOS.....	5
1.4.1.	<i>Objetivo general.....</i>	<i>5</i>
1.4.2.	<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>6</i>
1.5.	JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
1.6.	LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	8

CAPITULO II
MARCO TEÓRICO

2.1.	ANTECEDENTES DE ESTUDIO	9
2.1.1.	<i>Antecedentes de la investigación a nivel internacional</i>	9
2.1.2.	<i>Antecedentes de la investigación a nivel nacional.</i>	10
2.2.	BASES TEÓRICAS – CIENTÍFICAS	11
2.2.1.	<i>Teoría de flotación</i>	11
2.2.2.	<i>Minerales hidrofílicos</i>	13
2.2.3.	<i>Minerales hidrofóbicos</i>	14
2.2.4.	<i>Flotación de sulfuros</i>	14
2.2.5.	<i>Teoría química de la oxidación superficial</i>	15
2.2.6.	<i>Potencial electroquímico</i>	15
2.2.7.	<i>Teoría electroquímica</i>	16
2.2.8.	<i>Teoría de la adsorción física</i>	18
2.2.9.	<i>Elementos de la flotación</i>	18
2.2.10.	<i>Termodinámica de la flotación</i>	20
2.2.11.	<i>Fenómenos eléctricos en la interface mineral-agua</i>	21
2.2.12.	<i>Termodinámica del hidrofobización o de interfaces</i>	22
2.2.13.	<i>Angulo de contacto y ecuación de Young</i>	22
2.2.14.	<i>Flotación de sulfuros sin colector</i>	24
2.2.15.	<i>Producto de oxidación</i>	27
2.2.16.	<i>Flotación de sulfuros en presencia de colectores</i>	28
2.2.17.	<i>Reactivos de flotación</i>	31
2.2.18.	<i>Sistema de flotación de diferentes sulfuros</i>	37
2.2.18.1.	Plomo-Zinc	37
2.2.18.2.	Plomo-Zinc-Fierro	37

2.2.18.3. Cobre-Plomo-Zinc-Fierro	38
2.2.18.4. Separación Cobre / Plomo.....	40
2.2.18.5. Depresión de minerales de cobre con cianuro de sodio.....	41
2.2.18.6. Cianuro de sodio y compuestos	41
2.2.18.7. Depresión de minerales de plomo.....	42
2.2.19. <i>Cinética de flotación.</i>	44
2.2.20. <i>Modelación del proceso de flotación.</i>	44
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	49
2.4. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS	52
2.4.1. <i>Hipótesis general</i>	52
2.4.2. <i>Hipótesis específicas.</i>	53
2.5. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES	53
2.5.1. <i>Variable independiente</i>	53
2.5.2. <i>Variable dependiente</i>	54
2.5.3. <i>Variables intervinientes.</i>	54
2.6. DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES E INDICADORES	54
 CAPITULO III METODOLOGÍA Y TÉCNICA DE INVESTIGACIÓN	
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	56
3.2. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	56
3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	57
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA	57
3.4.1. <i>Población</i>	57
3.4.2. <i>Muestra</i>	57
3.5. TÉCNICA E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	58
3.5.1. <i>Técnicas de recolección de datos.</i>	58

3.5.2.	<i>Instrumentos de recolección de datos</i>	60
3.6.	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	61
3.7.	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO	61
3.8.	SELECCIÓN, VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.	61
3.8.1.	SELECCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.....	61
3.8.2.	REQUISITOS DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.....	62
3.9.	ORIENTACIÓN ÉTICA.....	63

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO.	64
4.2.	PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	65
4.2.1.	<i>Presentación del análisis químico, mineralógico y caracterización del mineral de cobre (calcopirita)</i>	65
4.2.2.	<i>Recuperación y leyes de Bisulfito di Sódico (NaHSO₃) y RCS</i>	68
4.2.3.	<i>Flotación cobre con bisulfito de sodio NaHSO₃ mitigando la contaminación de los efluentes líquidos</i>	69
4.3.	PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	74
4.3.1.	<i>Clases de hipótesis</i>	74
4.3.2.	<i>Prueba de hipótesis</i>	74
4.4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	75

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXO

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Orden aproximado de flotación sin colector de minerales sulfurados (orden de flotabilidad descendente).....	25
Tabla 2 Productos de reacción formados por la oxidación de minerales de sulfuro ..	27
<i>Tabla 3: Variables e indicadores</i>	55
<i>Tabla 4 Resultado de análisis de cabeza Fuente:</i>	65
<i>Tabla 5 análisis granulométrico</i>	67
<i>Tabla 6 : Tiempo de molienda en cuatro test</i>	67
<i>Tabla 7 : Balance metalúrgico con RCS</i>	68
<i>Tabla 8: Balance metalúrgico con Bisulfito di Sodio</i>	68
Tabla 9 : Balance del mes de enero del 2019	71
Tabla 10: Balance del mes de Febrero del 2019.....	71
tabla 11: <i>Balance del mes de Marzo del 2019</i>	72
tabla 12: Balance del mes de Abril 2019.....	72
tabla 13: balance del mes de Mayo del 2019.....	73
tabla 14: Bbalance del mes de Junio 2019.....	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ángulo de contacto entre una burbuja de aire y una superficie sólida sumergida en el líquido	13
Figura 2: Clasificación de la flotación de minerales.	15
Figura 3: Formación de la doble capa eléctrica.....	16
Figura 4: Tensión de adhesión.....	23
Figura 5: La estructura molecular de oleato de sodio.....	29
Figura 6: Clasificación de los colectores de flotación.....	30
Figura 7: Adhesión del colector a la superficie del mineral.....	31
Figura 8: Molécula de Colector.....	32
Figura 9: Adhesión del espumante a la partícula de aire.....	36
Figura 10: Molécula de espumante.....	36
Figura 11: Calcopirita (Cp) parcialmente alterada a calcosina en bordes de grano y fisuras	65
Figura 12: Procesos de alteración de pirita (Py) y calcopirita (Cp) a calcosina (Cc).....	66
Figura 13: La alteración de los sulfuros primarios comienza en bordes de grano, fracturas y/o planos de exfoliación.....	66
Figura 14: Tiempo de molienda.	67

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

Todo problema de investigación, es la carencia o presencia de conocimientos, hechos y fenómenos sociales o naturales, que afectan o interfieren en el normal desarrollo de los procesos que tienen lugar en la naturaleza

NEXA Resources S.A.C. Unidad Minera el Porvenir, es una empresa que en sus operaciones extrae minerales polimetálicos y uno de los mayores productores de zinc, en el mundo que opera en el centro del país, y beneficia minerales de zinc, plomo y cobre en la Planta de la unidad minera el Milpo el Porvenir ciudad Cerro de Pasco, siendo la región Pasco rico en minerales polimetálicos, que contienen sus yacimientos elementos metálicos como cobre, plomo (plata y oro), zinc.

En los últimos años las operaciones de la empresa se fueron incrementando para mayor producción de sus concentrados y por lo tanto se ha modificado las instalaciones de la planta concentradora con la instalación de dos molinos

secundarios denominándose estos, molino secundario número cuatro (MS-4) de (5x10) y molino secundario cinco (MS-5) de (5x8) y así incrementando su tonelaje de tratamiento de 4500 TMSP a 6500 TMSP su tonelaje de tratamiento en la actualidad. Así mismo las leyes de cabeza del mineral en un promedio de 2,9% para el Zinc y 1,5 % para el plomo y 0,15% para el cobre, según va variando las leyes en la cabeza.

Unidad minera Milpo El Porvenir Nexa Resources S.A.C viene comercializando concentrados de Cobre, Plomo y Zinc realizan procesos de Flotación en forma diferencial, es decir, plantas polimetálicas flotan un concentrado Bulk en una primera etapa y luego este concentrado es llevado a un proceso de separación Pb-Cu, para lo cual se utilizan reactivos altamente contaminantes como son el Bicromato de Sodio, esto debido a que el bicromato de sodio es muy dañino para la salud de los trabajadores e impacta negativamente en el medio ambiente, especialmente a los efluentes líquidos, incluyendo en el impacto de la relavera, al no controlar derrames de las mismas sustancias, además estos reactivos generan un costo significativo en las operaciones.

En las operaciones de la planta concentrado se viene trabajando con una mezcla de RCS (Bicromato Di Sódico 55%, Metasilicato de Sódico 18% y Carboxy Metil Celulosa 27%) en el proceso de flotación del cobre, obteniendo concentrados de Cobre y así también afectando a los efluentes líquidos del sistema de drenaje alcantarillados, riachuelos del centro poblado San Juan de Milpo – cerro de pasco.

Se la realizado las pruebas metalúrgicas en el laboratorio Milpo el Porvenir Nexa Resources , con Bisulfito de Sodio en reemplazo del RCS, para la mitigación de los efluentes líquidos y mejorar su calidad del concentrado de cobre , para su mejor comercialización, llegando a obtener un grado de concentrado y una

recuperación de 21,59% y 28,60% respectivamente, eliminado así también el cromo hexavalente (Cr^{6+} en mg/l), del Bicromato de Sodio Anhidrido ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) que es parte de la mezcla del RCS.

1.2. Delimitación de la investigación

Uno de los errores que se cometen en la investigación científica es la carencia de delimitaciones del tema, delimitar el problema quiere decir poner límites a la investigación y especificar el alcance de esos límites para que el desarrollo sea realizado sin inconvenientes, es decir se hace más fácil el desarrollo.

Por lo tanto, la delimitación del problema de investigación, conduce a plantear de una manera clara y precisa los aspectos fundamentales del tema que son investigados, es decir debe ser analizados cuidadosamente para circunscribir la problemática a una situación específica, estas son:

1.2.1. Delimitación teórica.

El tema de la presente investigación trata específicamente del proceso de flotación del cobre, mitigando el impacto ambiental de los efluentes líquidos, por lo tanto, el marco teórico es orientado específicamente a las teorías arriba mencionadas.

1.2.2. Delimitación espacial.

La delimitación abarcara el mineral del yacimiento de la unidad Minera Milpo el porvenir Nexa Resources S.A.C.

- Comunidad campesina : San Juan de Milpo
- Distrito : Yarusyacan
- Provincia : Pasco
- Departamento : Pasco
- Región : Pasco

1.2.3. Delimitación temporal.

El desarrollo de la tesis se efectuó en 6 meses del año 2019.

1.3. Formulación del Problema

El problema de investigación debe estar formulado claramente en términos de interrogación o pregunta que dirige a la investigación, relacionado a las variables o factores experimentales de investigación, esta implica la posibilidad de prueba empírica. Ejempló ¿Qué afecto?, ¿En qué condiciones?, ¿Cómo se relaciona conu otros?

1.3.1. Problema general.

La formulación del problema general, guía al investigador como asistente para las formulaciones del objetivo general y la hipótesis general, además en estas se determina el título definitivo del trabajo de tesis, el problema general es:

¿Cómo realizar el proceso de flotación del cobre reemplazando del RCS con bisulfito de Sodio para mitigar la contaminación de los efluentes líquidos a nivel laboratorio en la Empresa Minera Nexa Resources S.A.C. Pasco – 2019?

1.3.2. Problemas específicos.

Los problemas específicos son los elementos muy importantes que permiten el tratamiento detallado del problema general, teniendo como componentes a los factores experimentales correspondientes; además es una guía importante para las formulaciones de los objetivos e hipótesis específicos. La formulación de los problemas específicos es como sigue:

- ¿Qué efectos tendrá el bisulfito de Sodio en el proceso de flotación de cobre a nivel laboratorio en la Empresa Minera Nexa Resources S.A.C. Pasco – 2019?
- ¿Cuál será el efecto de la mitigación de los efluentes líquidos en la flotación del cobre con el uso de Bisulfito de Sodio (NaHSO_3), a nivel laboratorio en la Empresa Minera Nexa Resources S.A.C. Pasco – 2019?
- ¿De qué manera se determinará la dosificación del Bisulfito de Sodio (NaHSO_3), para la flotación del cobre a nivel laboratorio en la Empresa Minera Nexa Resources S.A.C. Pasco – 2019?

1.4. Formulación de Objetivos

Las formulaciones de los objetivos de la investigación, tiene como finalidad fundamental en determinar o señalar la meta o aspiración de la investigación y debe expresarse con claridad, pues son las guías del estudio, en consecuencia, se debe expresar adecuadamente lo que se pretende alcanzar con la investigación del fenómeno. Las formulaciones se realizan con verbo en infinitivo.

1.4.1. Objetivo general

Expresa propósitos generales del trabajo de investigación, traduciéndose en soluciones al problema de investigación; el objetivo general es:

Evaluar y determinar el proceso de flotación del cobre reemplazo del RCS con bisulfito de Sodio (NaHSO_3) para mitigar la contaminación de los efluentes líquidos a nivel laboratorio en la Empresa Minera Nexa Resources S.A.C. Pasco – 2019

1.4.2. Objetivos específicos.

Todo problema de investigación, es la carencia o presencia de conocimientos, hechos y fenómenos sociales o naturales, que afectan o interfieren en el normal desarrollo de los procesos que tienen lugar en la naturaleza

- Determinar el efecto del Bisulfito de Sodio (NaHSO_3), en el proceso de flotación de cobre para mitigar el medio ambiente nivel laboratorio en la Empresa Minera Nexa Resources S.A.C. Pasco – 2019
- Controlar la mitigación los efluentes líquidos en la flotación del cobre con el uso de Bisulfito de Sodio (NaHSO_3), a nivel laboratorio en la Empresa Minera Nexa Resources S.A.C. Pasco – 2019
- Determinar y describir las condiciones de operación en las dosificaciones del Bisulfito de Sodio (NaHSO_3), para la flotación del cobre a nivel laboratorio en la Empresa Minera Nexa Resources S.A.C. Pasco – 2019

1.5. Justificación de la investigación

Es la sustentación, con argumentos convincentes de la necesidad de llevar a cabo un estudio, es decir, el porqué de las investigaciones, las razones por las que se realizan, así como los beneficios que puedan derivarse de ellas. Generalmente los estudios se realizan para solucionar problemas teóricos, prácticas o de ambos tipos.

La justificación, es la sustentación con argumentos precisos o convincentes, de la necesidad de llevar a cabo la investigación científica, es decir, se debe exponer en forma clara y precisa las razones por la que se realiza, así como los beneficios y

utilidades que puedan derivarse de ella. Por lo tanto, generalmente las investigaciones se desarrollan solucionar problemas teóricos, prácticos o de ambos tipos para crear bienestar.

En el presente trabajo de investigación, las razones fundamentales para desarrollar son los siguientes:

- Es conocida la complejidad mineralógica de nuestros yacimientos, cuyo tratamiento varía de mina a mina, por tanto, se hace indispensable realizar estudios metalúrgicos que indiquen los parámetros operativos y para que posteriormente puedan ser optimizados, para evitar el impacto negativo de contaminación a los efluentes líquidos.
- Se mejorará el procesamiento del mineral, para disminuir el impacto ambiental negativo que viene afectando por la presencia del cromo hexavalente del complejo de RCS, mejorando la calidad de concentrados, esto para mejorar la comercialización de los concentrados con mejores ventajas en beneficio económico y ambiental para la Empresa y a todos los que involucren en ella.
- Existe la necesidad de difundir las tecnologías emergentes que resuelven este problema metalúrgico de contaminación al medio ambiente, y una de las formas es la de proponer como materia de tesis para mejorar el procesamiento metalúrgico y no contaminar al medio ambiente.

La importancia metalúrgica de esta investigación radica fundamentalmente en la flotación del cobre reemplazando al complejo RCS con bisulfito de sodio, siendo una contribución importante en el desarrollo científico y experimental en la metalurgia extractiva, siendo este trabajo una investigación donde se encontrará la mejor alternativa de optimizar los

recursos y la calidad de concentrado y recuperación del cobre en la cual será económicamente viable y rentable, mitigando la contaminación al medio ambiente.

La investigación realizada está al alcance de todo el personal de la empresa Minera NEXA el Porvenir tanto profesionales.

1.6. Limitaciones de la investigación

Se continuará el estudio de la investigación metalúrgica con el apoyo del laboratorio metalúrgico – químico de la empresa inspectorate (Laboratorio Químico) y Milpo NEXA Resources (Laboratorio Metalúrgico) para realizar las pruebas experimentales sin ninguna limitación y así poner en marcha las pruebas de la flotación para evaluar los resultados en el laboratorio.

Por lo tanto, durante las pruebas experimentales de flotación no hubo inconvenientes, porque se cuenta con el apoyo de la empresa con los equipos, materiales e insumos químicos (reactivos), así como también las muestras de mineral que se toma en la planta concentradora.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Antecedentes de la investigación a nivel internacional

Según Brunswick, extraído de Bulatovic, (200), la concentración bulk de cobre-plomo es condicionado por 20 minutos con 0,3 kg/t de destrinetanin para deprimir la galena y 0,03 kg/t de carbón activado para absorber exceso de reactivos y contaminantes y entonces el pH es disminuido a 4,8 con el líquido SO_2 , la pulpa es además condicionada a este bajo pH, entonces 0,05 kg/t de Z-200 es adicionada para flotar los minerales de cobre. El concentrado rougher es calentado por una inyección de flujo a 40 o C y entonces es limpiado tres veces para producir un concentrado que contenga 23% Cu, 6% Pb, y 2% Zn.

Bulatovic, (2000). El uso del bisulfito de sodio para deprimir galena a nivel industrial se llevó a cabo por primera vez en la ex Unión Soviética en el año 1964 en la fábrica de Bierzovsk donde lo usaron mezclando con sulfato de hierro a un pH 5,6 – 5,8 con ácido sulfúrico.

2.1.2. Antecedentes de la investigación a nivel nacional.

(Pérez Remigio, 2012): el presente trabajo fue elaborado en las instalaciones del Laboratorio Químico y Metalúrgico de la Empresa Chungar.

El objetivo del estudio de investigación fue la optimización de la ley y el porcentaje recuperación de la Calcopirita (CuFeS_2) en flotación a nivel de laboratorio; el cual fue llevado a cabo mediante el empleo de los diseños experimentales.

Las variables dependientes fueron:(ley y % recuperación de la Calcopirita) mientras que las variables independientes fueron la dosificación de Metabisulfito de Sodio en niveles de 600 y 900 g/t, y la dosificación de Carbón Activado en niveles de 300 y 600 g/t.

Asimismo, se observó que el Metabisulfito de Sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) es una variable significativa en la Ley de la Calcopirita así como en el Porcentaje de Recuperación de la misma para lo cual se midió de manera precisa y estadística por el Teorema de Cochran,obteniéndose $F_0 = 9,7$ y $FO = 4,7$ para ambas variables de respuesta; del mismo modo el Carbón Activado es una variable significativa en la Ley de la Calcopirita y en el Porcentaje de Recuperación de la misma, obteniéndose valores de $FO = 5,8$ y $FO = 4,7$, respectivamente.

(CÉSPEDES LOAYZA, 2009): Las características mineralógicas en los minerales que se tratan en la Planta Concentradora San Genaro de Castrovirreyna Compañía Minera S.A. indican que se tratan de minerales polimetálicos, estando constituidos por especies (plomo, zinc, oro y plata);

razón de más para vislumbrar problemas metalúrgicos que se presentan en la concentración de estos.

La investigación de la tesis se ha estudiado el efecto de los iones sulfito en la flotación inducida con xantato de la pirita activada con cobre. Diversas técnicas se han utilizado para identificar los posibles mecanismos de interacción del sulfito con el colector y la superficie de pirita. Se encontró que el sulfito deprimió la flotación inducida con xantato de la pirita activada con cobre con el nitrógeno o purgado del aire a pH 7. Sin embargo, el efecto de la depresión fue mayor cuando se usó aire. Estudios de la solución y espectroscópicos indicaron que el bisulfito de sodio interactuó con la superficie de la pirita, así como con el xantato isobutílico en solución y su estado adsorbido. Sobre la base de los resultados obtenidos, una combinación de los posibles mecanismos se ha propuesto para explicar el efecto de la depresión del sulfito sobre la pirita activada con cobre. Se sugirió que la descomposición del xantato en solución a través de la formación del perxantato y la desorción del dixantógeno de la superficie de la pirita son responsables de la depresión de la pirita. Además, especies hidroxidadas de hierro se formaron sobre la superficie de la pirita, que los hagan hidrofílicos, lo que impide la formación de burbujas con los agregados de partículas de pirita.

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Teoría de flotación

El proceso de flotación es el resultado de muchos procesos fisicoquímicos complejos que ocurren en las interfaces sólido/líquido, líquido/gas y sólido/gas, resultado de tres fases: Fase sólida (partículas

minerales), fase gaseosa (el aire) y fase líquida (el agua). Las energías superficiales son responsables de la adsorción de los reactivos en estas fases interfaciales.

De estas tres fases, la fase de partículas minerales es la más compleja debido a la diferencia entre la propiedad superficial o interfaciales del mineral y la ganga, incluso un mismo mineral puede presentar diferentes propiedades fisicoquímicas, por lo que a menudo son considerados como heterogéneo, lo cual afecta la interacción con diferentes reactivos. La fase líquida es normalmente agua, la cual afecta las propiedades fisicoquímicas de las superficies minerales, sobre todo para la fijación de burbujas de aire y la respuesta de los reactivos. Las propiedades químicas del agua bajo diferentes condiciones son clave para entender completamente cómo el proceso de flotación podría verse afectada. Las propiedades del agua que son importantes para la flotación incluyen: la hidratación de los iones, la solubilidad de los minerales en el agua, los gases disueltos y la influencia de las impurezas. La fase de aire en la flotación tiene distintos aspectos, de los cuales los principales son dos: El aire influye químicamente en el proceso de flotación y es el medio de transporte de las partículas del mineral hasta la superficie de la pulpa.

Las tres fases discutidas anteriormente desempeñan un papel importante en la determinación del grado de humectabilidad de superficies minerales en la pulpa de flotación, en consecuencia, grado de hidrofobicidad, indicador que puede ser medido por el ángulo de contacto, cuando se tiene un estado de equilibrio de las tres fases. Este ángulo se determina por las energías interraciales entre el sólido, líquido y gas.

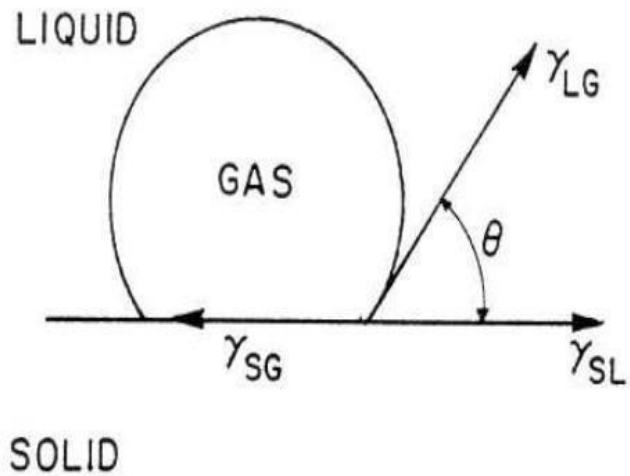


Figura 1: Ángulo de contacto entre una burbuja de aire y una superficie sólida sumergida en el líquido

Fuente: (Fuerstenau, D. & Urbina, R, 1988)

La ecuación de Young/Dupre a continuación se utiliza para determinar este ángulo:

$$\gamma_{lg} \cos \theta = (\gamma_{sg} - \gamma_{sl}) \dots\dots\dots(1)$$

Dónde:

γ_{lg} : es la energía superficial del interfaz líquido/gas, γ_{sg} es la energía superficial de la interfase sólido/gas, γ_{sl} es la energía superficial de la interfase sólido/líquido, y θ es el ángulo de contacto.

2.2.2. Minerales hidrofílicos

Son los minerales son mayormente mojables por el agua, constituidos por: óxidos, sulfatos, silicatos, carbonatos y otros, que generalmente representan la mayoría de los minerales estériles o ganga. Haciendo que se mojen, permanezcan en suspensión en la pulpa para finalmente hundirse (Fuerstenau, D. & Urbina, R, 1988).

2.2.3. Minerales hidrofóbicos

Son aquellos minerales que no son mojados o son poco mojados por el agua, dentro de ellos tenemos:

Los metales nativos, sulfuros de metales o especies tales como:

Grafito, carbón bituminoso, talco y otros, haciendo de que evite el

mojado de las partículas minerales, que pueden adherirse a las

burbujas de aire y ascender (Fuerstenau, D. & Urbina, R, 1988).

2.2.4. Flotación de sulfuros

Los sulfuros son fuertemente hidrófobos, lo cual permite que tengan una buena flotabilidad. Sin embargo, este comportamiento se ve afectado negativamente cuando existe una oxidación superficial o hay presencia de lamas.

Para que la flotación de sulfuros sea efectiva, es necesaria la presencia de oxígeno con colectores sulfhídricos, y así ocurra la adsorción de este reactivo en el mineral. Se han tratado de explicar con varias hipótesis el mecanismo de la flotación, dentro del contexto podríamos exponer cuatro mecanismos que han sido aceptados para la explicación de la interacción mineral sulfurado/colectores:



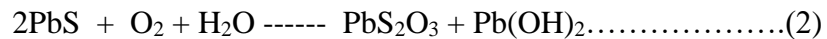
Figura 2: Clasificación de la flotación de minerales.

Fuente: (Petróvskaya, 2007)

2.2.5. Teoría química de la oxidación superficial

En medio acuoso alcalino, la mayoría de los minerales sulfurados sufren oxidación superficial. Para el caso particular de la galena, existen numerosos estudios que demuestran que la superficie estaría recubierta por especies oxidadas, especialmente tiosulfato básico de plomo.

La reacción con un xantato ocurriría por mediación de esta capa oxidada, operando un mecanismo de intercambio iónico. (Taggart A. , 1962). El mecanismo propuesto puede resumirse en las siguientes reacciones:



De esta forma se explica la formación de un recubrimiento de colector formado por xantato de plomo, el que sería responsable de la hidrofobización de la partícula. Sin embargo, resultados experimentales de varios autores, han mostrado que superficies de plomo recubiertas con este compuesto conservan su hidrofobicidad.

Este mecanismo de oxidación superficial es poco realista para metales como platino y oro, y ha mostrado ser poco importante para cobre y galena, en algunas experiencias en que se ha adicionado xantato a superficies libres de especies oxidadas.

2.2.6. Potencial electroquímico

El proceso de hidratación se desarrolla generalmente en forma dispereja. Por ejemplo, al hidratarse una red cristalina de carácter iónico,

los cationes se hidratan y posteriormente se disuelven con mayor velocidad que los aniones. Esto inmediatamente produce un desequilibrio eléctrico del sistema, pues las superficies de los sólidos se cargan negativamente. Para equilibrar el sistema sólido – líquido, la superficie cargada negativamente en primer lugar cesará o frenará la disolución de cationes todavía presentes en la red cristalina y en seguida, desde la solución atraerá los iones cargados positivamente. De este modo entre la superficie y el líquido se formará un potencial eléctrico cuyo origen se encuentra en la doble capa de cargas eléctricas recién señalada (ver Fig. 3). El potencial eléctrico formado por la capa eléctrica de iones de la solución junto con la superficie cargada eléctricamente se llama potencial electroquímico

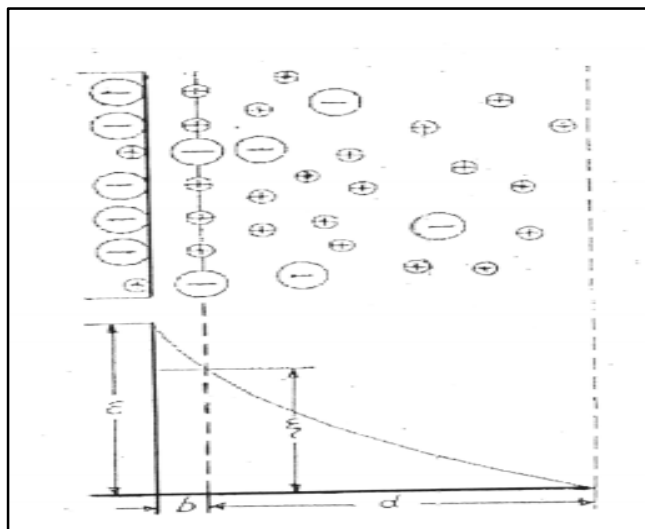
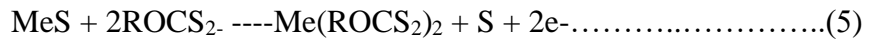
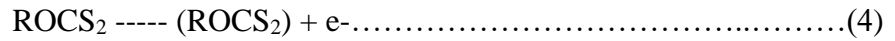


Figura 3: Formación de la doble capa eléctrica

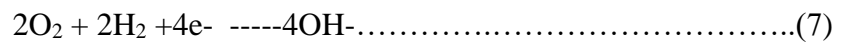
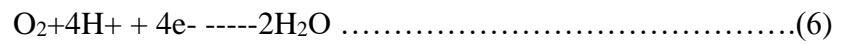
Fuente: (Flores D)

2.2.7. Teoría electroquímica

Según la literatura, el mecanismo más común de interacción entre xantato y sulfuros es de naturaleza electroquímica. Iones xantatos son oxidados a dixantógeno o xantato del metal, de acuerdo con una de las siguientes reacciones.



Independientemente de la trayectoria de oxidación del xantato, este proceso anódico precisa ser balanceado por una reacción catódica. Uno de los papeles importantes del oxígeno en sistemas xantato/mineral sulfurado es entregar la reacción catódica. El producto real de la reducción de oxígeno en ambiente acuoso puede ser H₂O o, OH⁻ de acuerdo con una de las reacciones:



La primera de estas reacciones es más apropiada para describir el proceso en medio ácido (bajo acción catalítica de la superficie mineral). La segunda reacción es más realista en medio alcalino.

El mecanismo electroquímico es coherente con varias evidencias experimentales, tales como, la presencia de xantato de metal o dixantógeno, la adsorción no uniforme del colector en la superficie (debido a la diferencia de potencial entre varios puntos) y la necesidad de oxígeno para la flotación de sulfuros.

Esta teoría establece que el desarrollo de la hidrofobicidad de las partículas sulfuradas del mineral en la flotación de mineral se basa en el proceso anódico que involucra la descomposición del colector y que es completado a una reacción de celda con un proceso catódico que generalmente comprende la reducción del oxígeno : (Flores D)

2.2.8. Teoría de la adsorción física

Hidrólisis y formación de ácido xántico en una pulpa alcalina. Se considera finalmente que el mineral con cristales de estructura atómica favorece la adsorción física y los minerales con estructura iónica favorecen la fijación por intercambio iónico.

En este último caso el potencial de la superficie del mineral no influirá la reacción porque ella se desarrollará según la afinidad de los iones para la formación del nuevo compuesto.

Sin embargo, en el caso de una adsorción física, potencial de superficie es de gran importancia y será más activa cuando este potencial sea igual a cero. Finalmente se puede señalar que los compuestos adsorbidos se mueven sobre la superficie del mineral tratando de recubrirlo en forma pareja y este movimiento está limitado solo a la superficie del mineral sin disolución en agua y posterior re adsorción (Flores D).

2.2.9. Elementos de la flotación

a. Fase sólida.

Está representada por los sólidos a separar (minerales) que tienen generalmente una estructura cristalina. Esta estructura es una consecuencia de la comparación química de las moléculas, iones y átomos componentes que son cada uno, un cuerpo completo. Los factores de importancia en el proceso de flotación, en lo que se refiere a los sólidos, son los siguientes:

- Carácter de la superficie aireada en la ruptura del sólido (Tipo de superficie, fuerzas residuales de enlaces)
- Imperfecciones en la red cristalina

➤ Contaminantes provenientes de los sólidos, líquidos y gases

b. Fase líquida:

Es el agua debido a su abundancia y bajo precio; y también debido a sus propiedades específicas, constituye un medio ideal para dichas separaciones

La estructura de una molécula de agua investigada por espectroscopia es bastante compleja; aparece que aproximadamente el 46% de los enlaces es covalente y 54% es iónico.

Finalmente hay que subrayar la importancia de las impurezas y contaminaciones que tiene toda agua natural o industrial. En primer lugar, hay que mencionar la dureza del agua ósea la contaminación natural causada por sales de calcio, magnesio y sodio. Estas sales y otro tipo de contaminaciones no solo pueden cambiar la naturaleza de la flotabilidad de ciertos minerales sino también son casi siempre causa de un considerable consumo de reactivos de flotación con los cuáles a menudo forman sales solubles.

c. Fase gaseosa.

Es el aire que se inyecta en la pulpa neumática o mecánicamente para poder formar las burbujas que son los centros sobre los cuales se adhieren las partículas sólidas. La función del aire en la flotación tiene distintos aspectos de los cuales los principales son:

- ✓ El aire influye químicamente en el proceso de flotación
- ✓ Es el medio de transporte de las partículas de mineral hasta la superficie de la pulpa

El aire es una mezcla de nitrógeno (78,10%) y oxígeno (20,96%) con pequeñas cantidades de dióxido de carbono (0,04%) y gases inertes como argón y otros.

2.2.10. Termodinámica de la flotación

En procesamiento de minerales, el método de concentración por flotación de espumas es indiscutiblemente, la técnica de separación de minerales valiosos de los no valiosos más importante y representa una de las aplicaciones más desafiantes de la química de superficies.

El proceso de flotación está controlado por la termodinámica, la cinética e hidrodinámica del sistema. En consecuencia, incluye aspectos fundamentales, tales como:

- La creación de una superficie hidrofóbica en una especie mineral en particular (condición termodinámica).
- Previsión de tiempo suficiente para la adhesión de la partícula hidrofóbica con la burbuja de aire (condición cinética).
- La estabilización de los agregados partícula-burbuja bajo el flujo de pulpa prevaleciente (condición hidrodinámica)

Para tener un conocimiento ampliamente claro que nos conlleve a comprender, interpretar y evaluar los procesos metalúrgicos que intervienen en la concentración de minerales es necesario estudiar las principales propiedades físicas y químicas de las superficies de los minerales (sulfuros, óxidos, carbonatos, silicatos, sales solubles, etc.), es decir, la química de superficies, fases interfases, etc. puesto que es necesario también entender las relaciones que existen entre las fases

masivas o condensadas sólida, líquida y gaseosa y la interfases que ocurren entre ellas.

La teoría de flotación de espumas es bastante compleja y aún no está estudiada en forma completa. Sin embargo, existen grandes avances en el estudio de este importante proceso de flotación de minerales. En nuestro estudio, trataremos dos aspectos que creemos son los más importantes.

Ellos son:

- Química de superficies relacionada a la inter fase mineral-agua (capa eléctrica doble).
- Termodinámica de superficies, relacionada con el ángulo de contacto (mojabilidad de superficies minerales). (BRAVO GÁLVEZ, 2004).

2.2.11. Fenómenos eléctricos en la interface mineral-agua

Cuando se pone en contacto un mineral finamente molido en un líquido polar como el agua, las regiones interfaciales de las dos fases cambian para ajustarse al nuevo ambiente y a partir de este momento, las propiedades que determinan su comportamiento son las propiedades superficiales determinadas por cada una de las fases presentes: sólida, líquida y gaseosa y las interfases o intercaras generadas entre estas fases.

Entre estas propiedades superficiales están la carga superficial y el potencial eléctrico generado en la interfase, es decir, se establece una doble capa eléctrica en la interfase mineral-agua más claramente, mineral-pulpa la cual balancea la carga eléctrica global en el sistema.

Esta afecta al comportamiento de la superficie mineral y su interacción con los reactivos químicos, un factor que es crucial en procesos de separación químico-superficial (BRAVO GÁLVEZ, 2004).

2.2.12. Termodinámica del hidrofobización o de interfaces

La superficie de un mineral desde el punto de vista fisicoquímico se puede caracterizar como:

- Superficies escasamente energizadas, y
- Superficies altamente energizadas.

Esto se debe a que la superficie de un cuerpo cristalino se forma por la ruptura de los cristales de este compuesto, destruyendo cierta cantidad de uniones entre los átomos que lo constituyen. Entendiéndose entonces que cuanto mayores sean las fuerzas que actúan entre los átomos y iones del cristal, tanta más energía se necesita para romperlo y mejor será la insaturación de la superficie recién creada, por ende, tanto más energizada. (BRAVO GÁLVEZ, 2004).

2.2.13. Angulo de contacto y ecuación de Young

Young, T (1805) propuso tratar el ángulo de contacto de una gota de líquido colocada sobre una superficie sólida plana, como un equilibrio mecánico de las tensiones interfaciales sólido-líquido, sólido-gas y líquido-gas.

Que representa la ecuación Young; donde el producto $\cos\theta\gamma_{lg}$ se denomina Tensión de adhesión la cual puede ser considerada como una medida de la fuerza requerida para la hidrofobización del sólido.

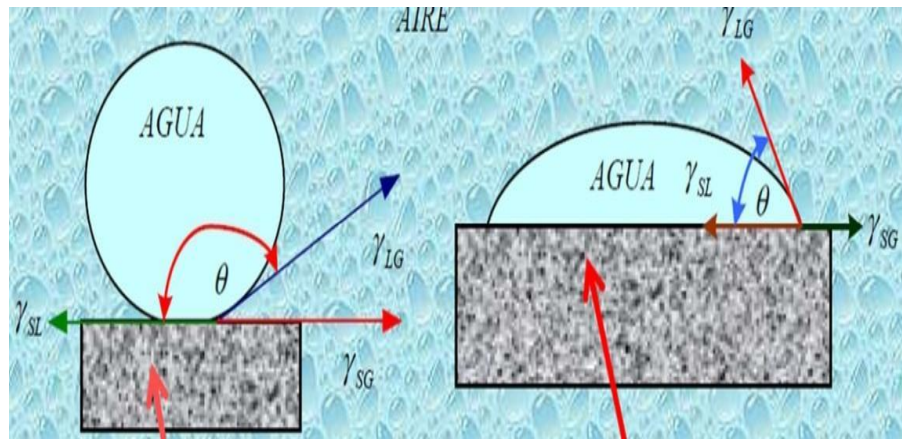


Figura 4: Tensión de adhesión.

Fuente: (Young, 1085)

Donde

$$\begin{aligned} \cos\theta \gamma_{lg} - \gamma_{sl} + \gamma_{sg} &= 0 \longrightarrow \text{En equilibrio} \\ \cos\theta \gamma_{lg} &= \gamma_{sl} - \gamma_{sg} \end{aligned}$$

En consecuencia, la Ecuación de Young establece la condición termodinámica de equilibrio entre las tres fases e introduce el concepto hidrofobicidad que es uno de los factores intervinientes importantes en el proceso de flotación de un mineral.

El ángulo de contacto θ puede definirse como el ángulo formado por el plano tangente a la interfase líquido-gas y el plano formado por el sólido en un contacto trifásico sólido-líquido-gas, que nos da una noción de mojabilidad e indica los parámetros superficiales que se necesitan medir; de modo que, cuando un líquido moja completamente a un sólido, el ángulo de contacto θ será igual a cero y un valor de $\theta > 0^\circ$ indica mojabilidad parcial y mientras mayor sea el ángulo de contacto, menor será la mojabilidad, en consecuencia, mayor el grado de hidrofobicidad.

2.2.14. Flotación de sulfuros sin colector

Minerales de sulfuro pueden adquirir un cierto grado de hidrofobicidad a través de: variación composicional y la textura del mineral; origen de la formación de dicho mineral; o modificación de la superficie. Se ha establecido que algunos minerales flotarán naturalmente sin el uso de colectores. Sin embargo, existe un debate acerca de si todos los minerales de sulfuro son naturalmente flotables, o si su flotabilidad está influenciada por las condiciones de pulpa. Molibdenita y estibina son algunos de los sulfuros que se han identificado para flotar, naturalmente, sin la influencia de las condiciones de pulpa (Bulatovic, 2007). La mayoría de los sulfuros regulares, tales como la pirita, esfalerita, galena, calcopirita y bornita se cree que no son naturalmente flotables, sino más bien su flotabilidad es inducida por las condiciones de pulpa, sobre todo el potencial de la pulpa.

Minerales de sulfuro normalmente no pueden formar enlaces de hidrógeno en la superficie, por lo tanto, no son muy hidrófilos y cualquier cambio en la química en su superficie pueden inducir o deprimir su hidrofobicidad.

Algunas formas en las que se piensa que los sulfuros pueden ganar hidrofobicidad son: a través de la influencia de la adsorción física-química de los productos de oxidación de xantatos; a través de la influencia por adsorción electroquímica por un colector aniónico asistida por la reacción catódica de oxígeno; y por medio de la influencia de la formación de azufre elemental en la superficie del mineral de sulfuro. (Bulatovic, 2007).

La flotabilidad de sulfuros sin el uso de colectores se presume que no poseen flotabilidad natural, a menudo vinculada a la oxidación de las superficies minerales (Hayes, Price, Ralston, & Smith, 1987). Por tanto, esta flotabilidad depende de forma significativa del potencial de pulpa de oxidación / reducción.

Los investigadores han tratado sulfuros acuerdo al rango de su relativa facilidad de flotar sin colector. Esta clasificación es afectada por el pH de la pulpa y algunos resultados de las pruebas realizadas a pH 4 se muestran en la Tabla 1 a continuación.

En general la flotación de minerales de sulfuro sin colector sigue el orden descendente siguiente: calcopirita, galena, pirrotita, pentlandita, covelita, bornita, calcosita, esfalerita, piritita y arsenopirita. (Hayes, Price, Ralston, & Smith, 1987). De esta lista, los primeros cuatro minerales muestran un fuerte comportamiento sin colector en un amplio rango de tamaños de partículas, mientras que los últimos cuatro minerales en esta clasificación muestran un débil comportamiento sin colector. La bornita es significativamente menos flotable, opuesto al comportamiento de calcopirita.

Tabla 1 Orden aproximado de flotación sin colector de minerales sulfurosos (orden de flotabilidad descendente).

Mineral	Chemical formula	Rest Potential (V vs. SHE)
Molybdenite	MoS ₂	0.11
Stibnite	Sb ₂ S ₃	0.12
Argentite	AgS	0.28
Galena	PbS	0.40
Bornite	Cu ₅ FeS ₄	0.42
Covellite	CuS	0.45
Sphalerite	ZnS	0.46
Chalcopyrite* (anomalous)	CuFeS ₂	0.56
Marcasite	(Zn, Fe)S	0.63
Pyrite	FeS	0.66

Fuente: Hayes, Price, Ralston & Smith, 1987.

A partir de los potenciales de reposo reportados en la Tabla 1, el comportamiento de flotación sin colector de los minerales parece coincidir con el orden descendente de sus potenciales de reposo, a excepción de calcopirita.

Se ha de señalar que la importancia de las mediciones de potencial de reposo es cuestionable debido a la posibilidad de que las muestras individuales presentan diferentes potenciales debido a que poseen diferentes composiciones y también debido al grado de oxidación mineral antes de la medición del potencial de reposo.

2.2.15. Producto de oxidación

De las mediciones de potencial de reposo, parece que cuanto más anódico es el potencial de reposo, significa que el mineral se oxida con menos facilidad, más fácilmente flotará sin el uso de un colector. Se cree que si un mineral de sulfuro se oxida fuertemente formara especies superficiales hidrófilos que impidan que flote (Ekmekci & Demirel, 1997).

Productos de oxidación de minerales de sulfuro comunes han sido investigados y los resultados se presentan en la Tabla 2 a continuación:

Tabla 2 Productos de reacción formados por la oxidación de minerales de sulfuro

<i>Mineral</i>	<i>Products from originally neutral (pH 6) suspension</i>	<i>Products from originally alkaline (pH 10 to 11) suspension</i>
Galena	Present: $\text{Cu}^{2+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{SO}_4^{2-}$ Absent: Pb^{2+} , polythionate	Present: $\text{H}^+, \text{Ag}^+, \text{Pb}^{2+}, \text{SO}_4^{2-}$, thio-salts Absent: $\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^+, \text{Cu}^{2+}$
Pyrite	Present: $\text{Fe}^{2+}, \text{H}^+, \text{SO}_4^{2-}$ Absent: Fe^{3+} , polythionate	Present: $\text{H}^+, \text{SO}_4^{2-}, \text{S}_3\text{O}_6^{2-}, \text{S}_4\text{O}_6^{2-}, \text{S}_2\text{O}_3^{2-}, \text{SO}_3^{2-}$ Absent: $\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Cu}^{2+}, \text{S}^{2-}, \text{S}_5\text{O}_6^{2-}, \text{S}_2\text{O}_6^{2-}$
Chalcopyrite	Present: $\text{H}^+, \text{Cu}^{2+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{SO}_4^{2-}$ Absent: Polythionate	Present: $\text{H}^+, \text{SO}_4^{2-}, \text{S}_2\text{O}_3^{2-}, \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$ Absent: $\text{Cu}^{2+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{SO}_3^{2-}$
Sphalerite	Present: SO_4^{2-} , thio-salts Absent: $\text{Zn}^{2+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Cu}^{2+}$	Present: $\text{H}^+, \text{Zn}^{2+}, \text{SO}_4^{2-}, \text{SO}_3^{2-}$ Absent: $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}, \text{S}_2\text{O}_3^{2-}$

Fuente: Hayes, Price, Ralston & Smith, 1987.

El trabajo se ha hecho para evaluar la velocidad de formación y las cantidades de las especies formadas bajo diferentes condiciones de la solución. Se ha encontrado que esta tasa dependerá del área superficial disponible para la reacción; la presión parcial de oxígeno; el tipo y la composición del mineral de sulfuro; pH de la solución y la temperatura (ORTIZ, BARBATO, & GAUTIER, 2000). La presencia de más de una minera de sulfuro en la pulpa también puede cambiar el comportamiento de la flotación sin colector.

2.2.16. Flotación de sulfuros en presencia de colectores

Los colectores son productos químicos orgánicos utilizados para unirse a los minerales seleccionados y hacerlos hidrófobos. Por lo general tienen una estructura molecular que tiene un grupo polar y un grupo no polar. La parte no polar del colector es normalmente una cadena de hidrocarburo repelente al agua que es responsable de la hidrofobicidad del complejo mineral de colector. El efecto repelente al agua es proporcional a la longitud de la cadena hidrocarbonada de la molécula del colector. La parte polar de la molécula se disocia en agua y la cabeza polar se adsorbe sobre la superficie del mineral, logrando la unión del colector a la superficie mineral. La naturaleza de la reacción con la superficie del mineral; la fuerza de la unión colector; y la selectividad del colector depende de la composición y la estructura del grupo solidophilic. (Bulatovic, 2007).

La composición de la estructura de la cabeza polar es el principal responsable de todos estos efectos. La unión del colector al mineral puede

ser de naturaleza química (quimisorción) o debido a las fuerzas físicas (adsorción física). Una estructura molecular de un colector de oleato se muestra en la Figura 5 mostrando las diferentes partes de una molécula de colector.

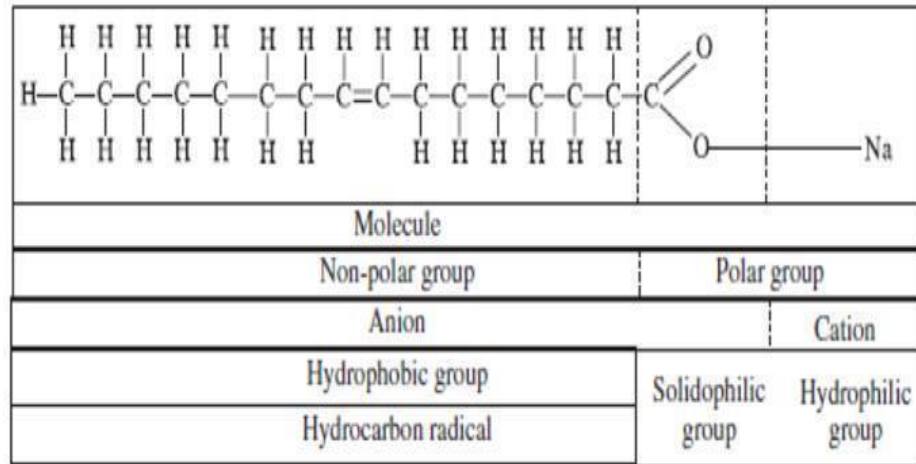


Figura 5: La estructura molecular de oleato de sodio

Fuente: (ORTIZ, BARBATO, & GAUTIER, 2000)

Generalmente los colectores se clasifican en dos grandes grupos: los colectores no ionizantes y los ionizantes. Los colectores ionizantes son aquellos que se disocian en iones cuando se disuelve en agua, mientras que los colectores no ionizantes son no polares y, en general insolubles en agua.

Los colectores no ionizantes son principalmente compuestos de hidrocarburos y se cree que inducen la hidrofobicidad, cubriendo el mineral con una película fina por tanto, hacen hidrófobo el mineral. Los Colectores ionizantes son ampliamente utilizados. Este grupo adicional se puede dividir en: colectores aniónicos y catiónicos. Esta nomenclatura se basa en que ion del grupo polar se une a la superficie del mineral.

En la práctica, los colectores aniónicos son los más utilizados y ellos también se pueden desglosar, sulfhidrilo y sub-grupos sulfuros orgánicos basados en la estructura del grupo solidophilic. Los colectores tienen un grupo solidophilic basado en iones sulfo ácido mientras que en el grupo solidophilic los colectores sulfhidrilo contienen azufre bivalente y, por último, sulfuros orgánicos contienen un átomo de azufre activo, pero no otros donantes de electrones. Colectores anfóteros y quelantes son otros grupos que pertenecen al grupo de colector aniónico.

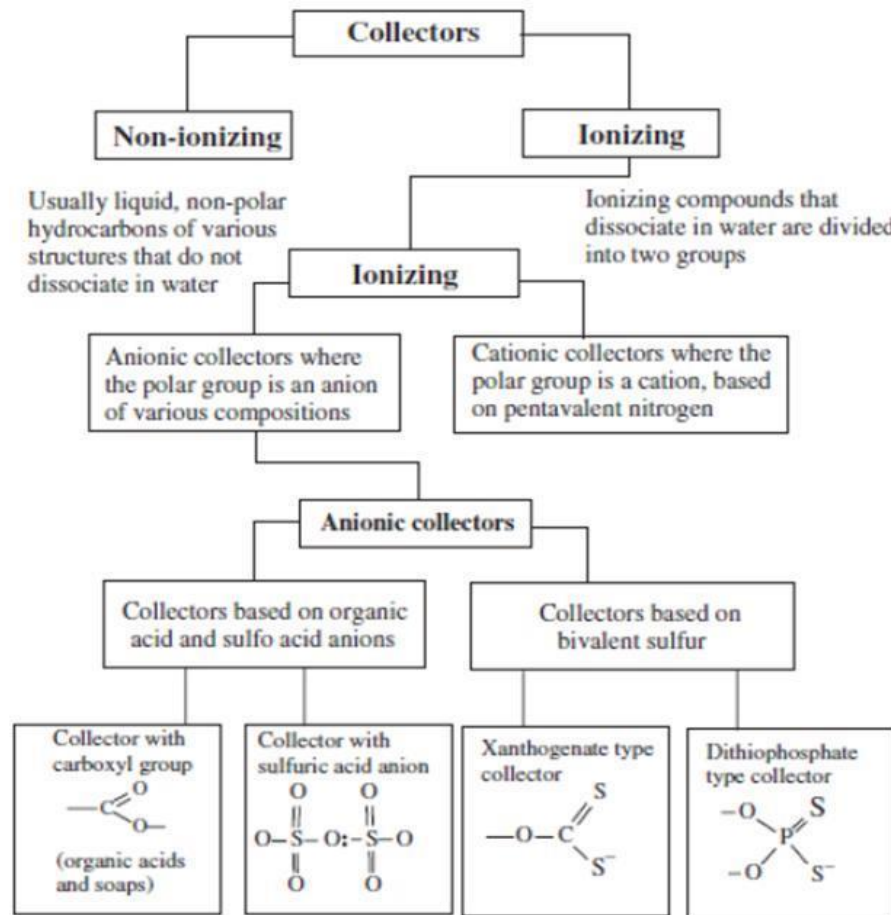
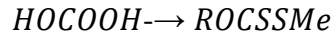


Figura 6: Clasificación de los colectores de flotación

Fuente: (SRDJAN M, 2007)

En este estudio sólo se considerarán los colectores sulfhidrilo, en este caso el xantato que es un derivado del ácido carbónico. Los xantatos

se forman cuando dos átomos de oxígeno de un ácido carbónico son reemplazados por azufre y un grupo alquilo que reemplaza a un átomo de hidrógeno como se muestra a continuación:



Donde Me = K

2.2.17. Reactivos de flotación

Existen distintos tipos de reactivos utilizados en el proceso de flotación de minerales, entre los cuales destacan los colectores, los espumantes y los modificadores.

a. Colectores

Los colectores son sustancias orgánicas cuyo anión o catión tiene una estructura integrada por una parte polar y otra apolar. La parte polar del ión se adsorbe en la superficie del mineral. Por otro lado, la parte apolar, constituida por una cadena de hidrocarburos, queda orientada hacia la fase acuosa, dando el carácter hidrófobo al mineral.

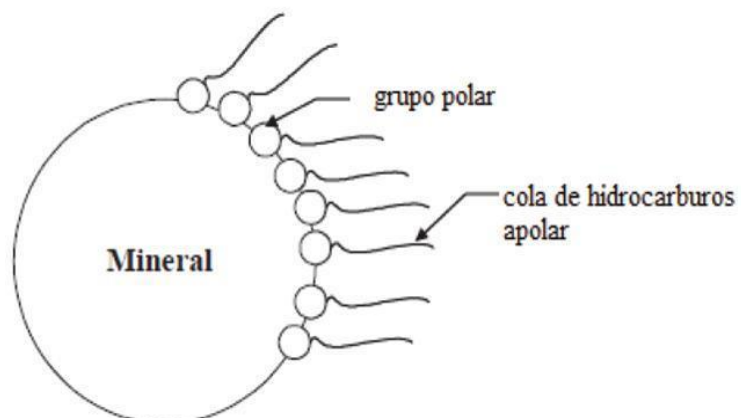


Figura 7: Adhesión del colector a la superficie del mineral

Fuente: (Yiantos B, 2005)

El largo de la cadena de hidrocarburos está asociado a la mayor o menor repelencia al agua. La parte que se adhiere al mineral dará la fuerza y selectividad. Lo anterior explica la diferencia de comportamiento de los diferentes colectores. Por lo tanto, la colección estará íntimamente condicionada por la naturaleza de la superficie del mineral y la estructura química del colector. La unión química entre el colector y el mineral deberá ser más fuerte que la que pueda existir entre el mineral y el agua.



Figura 8: Molécula de Colector

Fuente: (Yianatos, 2008)

Los tres factores más importantes que regulan la absorción del colector son:

- La concentración de oxígeno en la pulpa.
- El flujo de electrones conocido como potencial de pulpa
- El pH o más específicamente la concentración de iones (OH)

b. Modificadores

Tienen como función mejorar las condiciones de colección y/o la selectividad del proceso. En esta categoría se incluyen:

- Activadores: Aumentan la adsorción de los colectores sobre la superficie de los minerales para fortalecer el enlace entre la superficie y el colector.
- Depresores: Disminuyen la flotabilidad de un mineral haciendo su superficie más hidrofílica o impidiendo la adsorción de colectores que pueden hidrofobizarla.
- Reguladores de pH: Se agrega para operar en medio alcalino o ácido.

c. Activadores

Generalmente son sales solubles que se ionizan en solución y los iones reaccionan entonces con la superficie mineral. Un ejemplo clásico es la activación de la esfalerita por el cobre en solución. La esfalerita no flota satisfactoriamente con un xantato de colector, ya que los productos que se forman, tales como el xantato de zinc, son relativamente solubles en agua y por lo tanto no proporcionan una película hidrofóbica en el mineral, al usar sulfato de cobre como activador se disuelve rápidamente y se disocia en iones de cobre dentro de la solución. La activación se debe a la formación de moléculas de sulfuro de cobre sobre la superficie de la esfalerita debido al hecho que el cobre es más electronegativo que el zinc y por consiguiente se ioniza menos rápidamente. El sulfuro de cobre que se deposita sobre la superficie de la esfalerita reacciona rápidamente con el xantato para formar un xantato de cobre insoluble que hace hidrofóbica la superficie de la esfalerita.

Los principales activadores son:

- Las sales solubles en agua de los metales no ferrosos pesados (Ejemplo: sulfato de cobre), que activan la esfalerita, pirita, estibina, arsenopirita, cuarzo y ciertos minerales no sulfurados.
- Sulfuro de sodio y otros sulfuros solubles en agua.
- Oxígeno disuelto en la pulpa, que, de acuerdo a las teorías de la flotación, activa la flotación de minerales sulfurados y de minerales no sulfurados.

d. Depresores

Estos reactivos se usan para incrementar la selectividad de la flotación volviendo hidrofílico a ciertos minerales evitando así su flotación. Estos reactivos pueden dividirse en compuestos orgánicos y compuestos inorgánicos.

El mecanismo de acción de los compuestos inorgánicos está representado por:

- El ión cianuro (cianuro de sodio o cianuro de calcio) que deprime a los sulfuros de zinc, de cobre, de fierro, de plata, debido a que la estabilidad de los cianuros complejos de estos elementos es más estable que la de sus correspondientes tiolatos.
- El cromato y el bicromato que deprime al sulfuro de plomo por la correspondiente formación de la sal de plomo en la superficie del mineral.
- El silicato de sodio que tiene una función muy compleja de dispersante, depresor y modificador de espuma.
- El sulfito de sodio que deprimen los sulfuros de zinc y de fierro, generalmente en combinación con el sulfato de zinc y el cianuro.

e. Reguladores de pH

Son aquellos reactivos que controlan la acidez o alcalinidad de la pulpa. Los reguladores de pH más usuales son de dos tipos:

- Alcalinizantes: Como la cal, el carbonato de sodio y el hidróxido de sodio.
- Acidificantes: Como el ácido sulfúrico.

f. Espumantes

Los espumantes son agentes tenso-activos o surfactantes que consisten en una parte polar (hidrofílica) y una parte apolar (hidrofóbica). La parte apolar es una cadena hidrocarbonada y la parte polar es típicamente un grupo OH. En la superficie de la burbuja (interfase aire-agua), la cadena hidrocarbonada se orienta hacia el lado del aire y el grupo polar hacia el lado del agua. La estabilidad de la burbuja contra la coalescencia es incrementada por la fuerte interacción del grupo polar/dipolo del agua (hidratación) en la interfase aire-líquido, que produce la capa de enlace.

Su estructura heteropolar causa preferencia en la adsorción en la interfase agua-aire. En el momento de la generación de burbujas, las moléculas de espumante se adsorben en la superficie de las burbujas con la cadena hidrocarbonada en el lado del aire y el grupo polar en el lado del agua donde su hidrógeno enlaza con las moléculas de agua.

Tienen la capacidad de reducir el tamaño de burbuja previniendo la coalescencia y generar una espuma estable capaz de contener el mineral enriquecido captado por las burbujas.

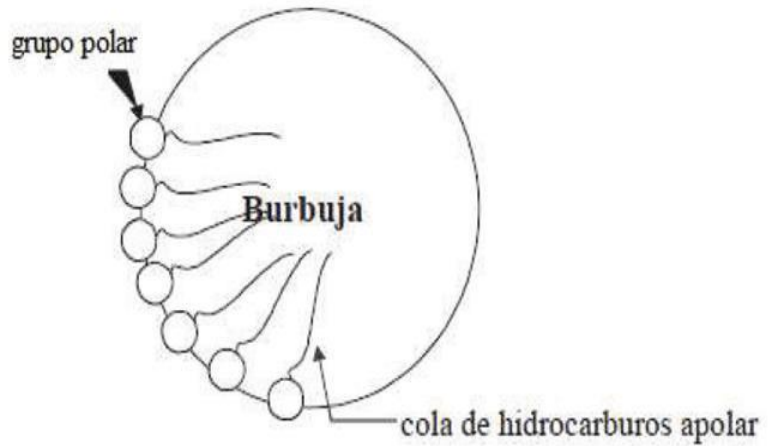


Figura 9: Adhesión del espumante a la partícula de aire

Fuente: (Taggart A. , 1966)

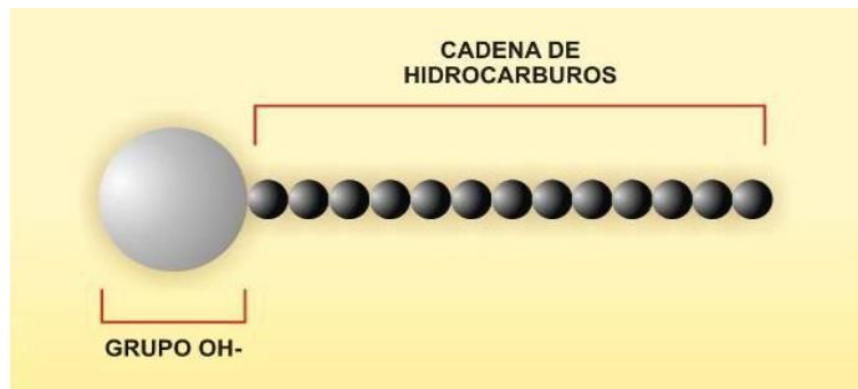


Figura 10: Molécula de espumante

Fuente: Manual flotación, Taggart, 1927

Los espumantes más usados son: Aceite de pino, ácido cresílico, alcoholes en estos últimos tenemos el metil isobutil carbinol (MIBC), DF-250, etc. Para seleccionar un espumante debemos considerar lo siguiente:

- Debe actuar a bajas concentraciones o pocas cantidades.
- Las espumas deben destruirse fácilmente a la salida de las celdas para facilitar su posterior manipuleo.
- El precio del espumante debe ser reducido.

- El poder colector del espumante debe ser lo más débil posible.
- El espumante debe ser poco sensible a las variaciones del pH.
- Las eficacias de los espumantes se miden a partir de las recuperaciones y de los contenidos valiosos que se hallan conseguido en el concentrado.

2.2.18. Sistema de flotación de diferentes sulfuros

2.2.18.1. Plomo-Zinc

Los principales minerales son la galena PbS y la esfalerita o blenda ZnS. Otras especies: wurtzita, marmatita y formas oxidadas. Depósitos conteniendo galena finamente cristalizada en general contienen oro y plata disueltos, actuando como núcleos de cristalización. Metales preciosos pueden aún estar disueltos en otros sulfuros, por ejemplo, a pirita, o estar presente en los contornos de los granos. Los principales minerales de ganga son pirita y pirrotita (sulfuros), dolomita y calcita (básicos) y, cuarzo y silicatos (ácidos).

Las menas tratadas presentan en general una ley combinada de plomo y zinc de 3% a 20%. El procedimiento padrón es flotar secuencialmente el plomo y el zinc, a pesar de existir por lo menos un ejemplo de flotación “bulk”, seguida de separación.

2.2.18.2. Plomo-Zinc-Fierro

En estos sistemas se emplea la flotación diferencial siendo los sulfuros de hierro los últimos a flotarse. En algunos

casos son producidos concentrados separados de pirita (FeS_2) y pirrotita (FeS_x).

2.2.18.3. Cobre-Plomo-Zinc-Fierro

Las menas complejas que contienen cobre, plomo, zinc y fierro finamente diseminados están entre los sistemas de más difícil beneficiamiento por flotación, especialmente cuando la oxidación superficial lleva a la disolución de iones cúpricos que activan la esfalerita, disminuyendo la selectividad del proceso.

El esquema de flotación es semejante a los anteriores, excepto la primera etapa la cual, generalmente, involucra la producción de un concentrado “bulk” de cobre y plomo, cuya separación puede realizarse deprimiendo tanto uno como otro grupo de sulfuros.

Esta flotación se realiza con una depresión simultánea de sulfuros de zinc y pirita, la flotación cobre – plomo se realiza a pH natural o levemente alcalino utilizando xantatos y ditionofosfatos como colectores, la depresión de la pirita y esfalerita se logra mediante el uso de cal, cianuro, bisulfito y sulfato de zinc.

Durante la flotación bulk Cu-Pb, la pirita se deprime con cianuro y bisulfito de sodio y la esfalerita con sulfato de zinc. Se ha determinado la existencia de $\text{Fe}_4 [\text{Fe} (\text{CN})_6]_3$

(ferrocianuro), sobre la superficie de la pirita, no permitiendo que ésta flote.

El bisulfito deprime la pirita, al descomponer los xantatos, dixantógenos y luego el alcohol componente del xantato.

El motivo por el cual la esfalerita flota indebidamente en el bulk depende de cada mineral, las causas pueden ser:

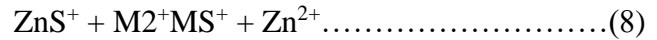
- a. Asociación mineralógica Cu-Zn ó Pb-Zn
- b. Arrastre de sulfuros de zinc durante la flotación bulk por factores mecánicos.
- c. Activación natural de la esfalerita debido a la presencia de iones metálicos Cu, Ag, As, Sb, Cd, en el mineral ó en el agua de tratamiento.

Los dos primeros factores pueden ser regulados mejorando las condiciones de molienda, dosificación de reactivos y eficiencia de remoción de espumas.

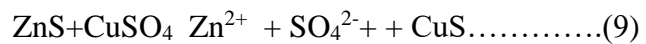
El tercer factor es un tema difícil, aunque puede ser parcialmente controlado por dosificación de reactivos depresores tales como el sulfato de zinc, cianuros, bisulfitos o sulfuro de sodio.

Para la reactivación de la esfalerita que no adsorbe xantatos de cadena corta sin activación previa, esta activación consiste en el recubrimiento de la esfalerita por una capa de un ión activante que formará una superficie que podrá interaccionar con el xantato. El mecanismo de activación está

definido por una reacción general expresada del siguiente modo:



Para la flotación de la esfalerita de las colas de la flotación Cu – Pb, se usa generalmente CuSO₄ como activante.



Simultáneamente es necesario deprimir la pirita usualmente con cal, por elevación del pH hasta valores entre 8,5 – 12, la pirita en este rango de pH no flota al inhibirse la formación de dixantógenos que es la especie colectora.

2.2.18.4. Separación Cobre / Plomo

Estos son clasificados de acuerdo al mineral que va a ser deprimido en:

- Depresión de minerales de cobre
- Depresión de los minerales de plomo

El primer factor a ser considerado es la relación en peso de contenido de cobre / plomo.

En algunos casos de zincado, es una alternativa previa a la separación, cuando se obtenga la liberación y/o desactivación del zinc.

En resumen, sumar a los contenidos de minerales de cobre, esfalerita, pirita e insolubles en el caso de usar el

procedimiento de depresión con NaCN / ZnOx, o sumar a la galena los contenidos de pirita, esfalerita e insolubles en el caso de usar dicromato (Azañero Ortiz, Aramburu Rojas, & Quiñones Lavado, 2010).

2.2.18.5. Depresión de minerales de cobre con cianuro de sodio

La utilización del NaCN solo es posible donde la presencia de minerales de cobre secundarios y/o metales como Ag/Au es nula, es decir donde no existe el peligro de disolución de valores.

En casos extremos y debido al excesivo uso de colectores en la obtención del concentrado bulk es necesario aplicar un lavado previo del concentrado, resorción con Na₂S y/o carbón activado (Azañero Ortiz, Aramburu Rojas, & Quiñones Lavado, 2010).

2.2.18.6. Cianuro de sodio y compuestos

Existen pocos reactivos depresores para minerales de cobre, principalmente se basan en el uso de NaCN tanto puro como en mezcla con ZnSO₄ ó con ZnO adicionalmente se puede utilizar las mezclas en mención con CaO, sulfato de amonio, otros procedimientos son el empleo de permanganato y tiourea.

Permanganatos; su posible aplicación es de gran interés ya que posee algunas ventajas en comparación con el NaCN ó con el complejo NaCN / ZnOx, no produce disolución de valores de Au/Ag ó minerales de cobre secundarios, su

aplicación requiere de condiciones excesivamente críticas (Azañero Ortiz, Aramburu Rojas, & Quiñones Lavado, 2010).

2.2.18.7. Depresión de minerales de plomo

Reactivos con esta característica son: SO_2 , bisulfitos, sulfitos en combinación con sulfato ferroso, tiosulfato, hiposulfitos, bicromatos y CaO , ellos poseen algunas ventajas en comparación con el NaCN / ZnO sobre todo en lo referente a la no disolución de metales preciosos y/o cobres secundarios.

Los bisulfitos y sulfitos, permiten la depresión de los minerales de plomo, pero también presentan efecto depresor sobre los de zinc. Con la presencia de minerales de cobre secundario la precisión de separación es afectada ligeramente por la disolución de cobre, siendo estos iones absorbidos por la galena lo cual impide su depresión, este efecto negativo puede ser contrarrestado por adición de S° , con lo cual se logra precipitar iones de cobre.

El acondicionamiento requerido es casi nulo y la adición por etapas es conveniente, en el caso de la presencia de minerales de cobre secundarios y dependiendo de la proporción existente, el tiempo de acondicionamiento debe ser evaluado cuidadosamente.

El dicromato, Las propiedades oxidantes son similares a las mostradas por los reactivos anteriores, excepto que

presenta un menor poder depresor para los minerales de zinc en comparación con el bisulfito.

En algunas concentradoras se le utiliza junto con el R-610 u otras dextrinas lo cual incrementa su poder depresor sobre la galena.

La eficiencia de separación Cu – Pb es afectada por la calidad del bulk tratado, cuando el desplazamiento de Zn y Fe al concentrado es mayor se reduce la eficiencia de separación, posiblemente debido al mayor nivel de adición de colectores, presencia de sales solubles y/o reducción de reactivos depresores.

El carboximetil celulosa, una de las aplicaciones de la carboximetil celulosa en minería es en el proceso de separación plomo-cobre, actúa como parte del reactivo depresor de plomo.

Facilita la función del dicromato de sodio sobre las superficies de la galena y la del fosfato monosódico que es un dispersor, desde el punto de vista ecológico es una buena alternativa.

Composición del reactivo depresor:

- Dicromato de sodio (60%)
- Carboxy metil celulosa (CMC) (20%) y
- Metasilicato de sodio (20%)

2.2.19. Cinética de flotación.

Arbiter, N y Harris, C (2014) en su artículo "Flotación Kinetics" del libro *Freth Flotation* (1962) definieron como "Cinética de Flotación" a la variación de la cantidad del producto contenido en la espuma de flotación respecto al tiempo de flotación. Según los citados autores se puede emplear cuatro métodos para determinar la ecuación de cinética de flotación.

- Empírico
- Semiempírico
- Analógico
- Analítica

El método empírico consiste en graficar la recuperación del producto flotado versus el tiempo y luego encontrar la relación matemática que presente la curva obtenida.

El método semi-empírico consiste en escoger una ecuación diferencial adecuada que integre entre ciertos límites y origine una ecuación que represente los resultados experimentales.

El método analítico utiliza los conceptos hidrodinámicos y de mecanismo de la flotación para establecer la ecuación cinética. De todos los métodos es el analógico el que mayor implicancia representa.

2.2.20. Modelación del proceso de flotación.

En la práctica, el estudio del sólido finamente dividido se realiza separando las partículas en un número finito de clases de tamaño. Las propiedades como flotabilidad no son modelables por valores únicos ni

bien definidos, ni siquiera para especies puras, y no pueden ser consideradas como intrínsecas de las especies minerales, pues varían no sólo con el acondicionamiento de los reactivos, sino con las condiciones de operación del proceso de separación (Guevara, 2001).

En forma general, en el proceso de flotación se identifican dos zonas, la zona de colección y la zona de espuma que atribuyen de modo complementario al resultado final del proceso de separación. Sin embargo, la dificultad de expresar los fenómenos físicos y químicos que ocurren en ambas zonas, así como la imposibilidad de medir directamente el transporte de mineral entre ambas zonas, limita el uso y confiabilidad de modelos matemáticos teóricos.

Existen distintos tipos de modelos para describir el proceso de flotación:

- Modelos Empíricos
- Modelos Probabilísticos
- Modelos Cinéticos

a. Modelos Empíricos

Los modelos empíricos se basan en la realización de una serie de experimentos, de los cuales se recopila una gran cantidad de datos que deben ser analizados para entregar una información coherente.

Tiene la desventaja que no permite realizar extrapolaciones con los datos obtenidos. Estos modelos pueden ser adaptivos o no. Los modelos fenomenológicos son difíciles de describir ya que son sistemas complejos, que poseen una gran cantidad de variable.

b. Modelos Probabilísticos

Estos modelos son utilizados para realizar el diagnóstico de la operación, comparar reactivos de flotación, etc. Además, con estos modelos se puede caracterizar el comportamiento del mineral frente a diferentes tipos y dosis de reactivos, pH de trabajo, etc.

c. Modelos Cinéticos

Este modelo reconoce el comportamiento exponencial de primer orden, para determinar la cinética de flotación.

La formación del agregado partícula - burbuja en la zona de colección se puede asimilar a una reacción química como se muestra.



Sin embargo, la flotación no sólo consiste en la formación del agregado sino que además, se necesita la separación del mineral sólido, es decir, el transporte a la espuma y finalmente al concentrado.

Para esta operación en particular, se tiene que la variación másica de mineral es proporcional a la masa del mineral en la zona de colección, dada por la ecuación.

$$\frac{dm}{dt} = -k \cdot m \text{ (modelo cinetico de variacion)} \dots \dots \dots (11)$$

2.2.21. Bicromato hexavalente

En el Perú y el mundo se han realizado estudios sobre el cromo en los seres vivos y en el agua, por lo que, aquí citaremos algunos antecedentes relacionados con el cromo en la vida del hombre y en el agua que consume.

A pesar de las recomendaciones y ordenanzas hechas por parte de las autoridades y entidades ambientales, en los últimos años los ambientes naturales han recibido un creciente aporte de efluentes industriales y domésticos que han llevado al deterioro de muchos cursos de agua haciéndolos incompatibles con la vida. Los efluentes industriales que contienen cromo hexavalente son descargados por industrias químicas, principalmente por las curtiembres. Aun cuando los Límites Máximos Permisibles (LMP) para descargas de efluentes líquidos de actividades Minero-Metalúrgica para el cromo hexavalente es de 0,10 mg/l, D.S. N° 010-2010-MINAM y según el Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano, D.S. N° 031- 2010-SA., para el cromo total es de 0,05 mg/L. Las operaciones y procesos de las curtiembres generan líquidos y sólidos residuales que se distinguen por su elevada carga orgánica con presencia de concentraciones altas de agentes químicos, cuyo efecto es tóxico para los organismos vivos, como es el caso de sulfuros (sulfuro de hidrogeno) y cromos (hidróxidos). Las variaciones en cuanto al volumen de descarga de residuos y concentración de contaminantes, está en función a la cantidad de materia prima procesada y a la tecnología empleada. (COSTILLA , 2010)

El cromo hexavalente es uno de los contaminantes, que produce mayores impactos negativos en el crecimiento del país, ya que compromete la salud humana, dañando los procesos ecológicos que sostiene la producción de alimentos (García, 1993, pp. 3-16).

El cromo hexavalente o Cr (VI), por ser un poderoso oxidante de sustancias orgánicas, es peligroso para los organismos vivos y para la

salud humana. El ácido crómico y los cromatos producen intoxicaciones agudas por vía digestiva. El envenenamiento agudo por ingestión produce vértigo, sed intensa, dolor abdominal, vómito, choque y oliguria o anuria. La muerte se produce por uremia. La inhalación de vapores de cromo por largos periodos, causa ulceración indolora, hemorragia y perforación del tabique nasal, acompañado de secreción nasal fétida, también se ha observado conjuntivitis, lagrimeo y hepatitis aguda con ictericia. Los datos de laboratorio indican que en personas que sobrepasan el valor máximo permisible de cromo hexavalente (Cr^{6+}) en el organismo, presentan hematuria, proteinuria y deterioro de la función hepatocelular; así mismo los cromatos son irritantes y destructores para todas las células del organismo. En las muertes por envenenamiento agudo, se diagnostica nefritis hemorrágica. (Calabrese, A. y E. Astolfi, 1972, p. 368; Dreisbach, R. y W. Robertson. 1988, pp. 423-430)

En Trujillo, específicamente en los distritos de La esperanza, Porvenir, Florencia de Mora, Moche y Salaverry, la industria del curtido de cueros, es la industria de mayor auge, la misma que se da mayormente de manera informal. Industria que ha alcanzado en la actualidad un gran desarrollo con el uso de la tecnología moderna, prueba de ello es la obtención de productos de óptima calidad, juntamente con ello se han presentado nuevos problemas como la contaminación ambiental. (Ibáñez, V. y J. Plasencia. 1997. pp. 1-18).

Trujillo, es el segundo productor de pieles y cueros después de Lima, contando con 122 curtiembres formales, distribuidas de siguiente manera: distrito de Trujillo 17,21%, Porvenir 24,59%, Florencia de Mora

8,20%, La Esperanza 46,72% Laredo 0,82% y Moche 2,46%.La curtiembre “Los Líderes S.A” como otras curtiembres de Trujillo, para cumplir con la demanda de cuero, importa materia prima de Ecuador por lo que el proceso de curtido, implica una mayor descarga diaria de soluciones residuales al sistema de alcantarillado (López, M. 1999, pp. 1-15)

2.3. Definición de términos básicos

Flotación: Operación unitaria de la metalurgia extractiva para separar el mineral valioso utilizando métodos fisicoquímicos y obtener las pulpas de concentrados de Plomo, Cobre y Zinc. En la flotación del mineral intervienen elementos que hacen posible que el mineral valioso flote adherido a las burbujas de aire.

Celdas de flotación: Equipo cuya finalidad es la de dar condiciones para la separación del mineral valioso de la pulpa por medio de métodos fisicoquímicos, reactivos y aire.

Reactivos químicos: Productos orgánicos e inorgánicos cuya finalidad es la de otorgar las características específicas a cada mineral, preparándolo para su posterior separación.

Pulpa: Mezcla de mineral y agua cuya finalidad es hacerla fluida.

Concentrado Bulk: Resulta del beneficio simultáneo de las especies de Plomo y Cobre, es decir que en concentrados de este tipo ambos elementos se encuentran presentes mayoritariamente.

Flotación por espumas: Flotación directa, cuando en la espuma se tiene al mineral valioso concentrado y en la pulpa el mineral de ganga relave.

Flotación por películas: Flotación reversa o inversa, cuando en las espumas se capta a la ganga y en la pulpa queda el mineral considerado de valor como relave que es recuperado posteriormente.

Flotación bulk o colectiva: Se obtiene en un concentrado todos los minerales valiosos contenidos en la mena y un relave con el material sin valor o ganga.

Flotación selectiva o diferencial: Acción selectiva de los reactivos permite obtener en un concentrado un sólo mineral valioso, es decir, en mayor concentración.

Espumante: Tienen como propósito la creación de una espuma capaz de mantener las burbujas cargadas de mineral hasta su extracción de la máquina de flotación (celdas)

Colector: Es el reactivo fundamental del proceso de flotación puesto que produce la película hidrofóbica sobre la partícula del mineral

Modificadores: Actúan como depresores, activadores, reguladores de pH, dispersores, etc. Facilitando la acción del colector para flotar el mineral de valor, evitando su acción a todos los otros minerales como es la ganga.

Cianuro de Sodio (NaCN): Son cristales en forma de pellets de color blanquecino, se usan para el recubrimiento y depresión de minerales sulfurados de fierro, cobre y zinc. Los iones de estos metales, forman unos complejos bien estables con el cianuro; asimismo se ha determinado que los minerales con iones metálicos, los cuales no forman tales compuestos con cianuro, por decir: el Pb, Bi, Sn, Sb y As, no son deprimidos por el cianuro. También es depresor de la sílice en medio ácido

Xantatos: Los xantatos o xantogenatos son sales de ácido xantogénico, y se encuentran entre los primeros colectores orgánicos solubles en agua y de aquí que su adopción fuera inmediata y amplia. Los xantatos pueden oxidarse,

convirtiéndose en este caso en dialquilo xantogenatos. Las soluciones acuosas de los xantatos se hidrolizan formando los ácidos xantogénicos. La hidrólisis de los xantatos aumenta con la reducción del pH del medio; mientras que las soluciones acuosas de xantatos en medios alcalinos son bastante estables.

Xantato Isopropilico de Sodio (Z - 11): Este xantato ha llegado a ser el más ampliamente usado de todos los xantatos debido a su bajo costo y elevado poder colector. Generalmente es un poco más lento que los xantatos de etílico y a menudo puede sustituirlos con una definida reducción en la cantidad y costo de colector requerido. Se han obtenido aplicaciones muy exitosas en la flotación de prácticamente todos los minerales sulfurados. Se emplea en gran escala en la flotación de cobre, plomo y zinc; minerales complejos de plomo-zinc y cobre-hierro, en los que los principales minerales sulfurosos son: calcopirita, calcocita, enargita, galena, esfalerita, marmatita, pirita y pirrotita.

Sulfato de Zinc: El $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, son cristales incoloros; es uno de los reactivos reguladores principales de acción depresoras, utilizada para la flotación selectiva de minerales de cobre y plomo de la esfalerita. Generalmente, se emplea en medio ligeramente alcalino en combinación con otros reactivos: NaCN, NaS, $NaHSO_3$ y otros. No obstante, en la práctica se conocen casos en que el $ZnSO_4$ sirve como depresor independiente de la blenda de zinc, asegurando una supresión eficaz del mineral; y también es un depresor de pirita.

Sulfato de Cobre: El $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, sulfato de cobre con 5 moléculas de agua, forma cristales azules brillantes asimétricos del sistema triclinico con una densidad de 2,28 g/ml. Es un activador de la esfalerita, también pirita, calcopirita, pirotita, arsenopirita y cuarzo. La materia prima para la fabricación del sulfato de cobre

sirve el ácido sulfúrico y cobre en forma de chatarra y desperdicios en la industria de labrado de metales o productos metalúrgicos semielaborados

Promotor Aerophine (A-3418): Es un colector único basado en fosfina originalmente desarrollado para la flotación de cobre y minerales de zinc activados y ahora reconocido por sus propiedades selectivas en minerales complejos, polimetálicos y sulfuros masivos. Exhibe aun fuerza, selectividad contra sulfuros de hierro, esfalerita no activada y elementos de penalización y otras propiedades que incluye:

- Bajo nivel de espuma, incluso en minerales que contienen minerales de arcilla.
- Cinética de flotación rápida y recuperación estable de la ley.
- Buena colección de partículas medianas gruesas.
- Altamente estable y resistente al hidrolisis y la oxidación.
- Bajo impacto ambiental.

2.4. Formulación de la hipótesis

Las hipótesis científicas, para las formulaciones se realizan con el apoyo de un sistema de conocimientos organizados y se debe establecer relacionando dos o más variables para explicar y predecir, en la medida de lo posible.

Las cuales son aquellas que establecen relaciones de causa y efecto entre dos o más variables.

La hipótesis no necesariamente son verdaderas, pueden o no serlo, puedan o no probarse con hechos. Son explicaciones tentativas de los hechos en sí. Al formularlas, el investigador no está seguro de demostrar o comprobar.

2.4.1. Hipótesis general

Las formulaciones se realizan o se establecen en el orden de causa-efecto, respondiendo al problema general; la hipótesis es:

La flotación del cobre reemplazando el RCS con bisulfito de sodio (NaSO_3) se mitiga directamente la contaminación de los efluentes líquidos en la Empresa Minera Nexa Resources S.A.C.

2.4.2. Hipótesis específicas.

Guardan estrecha relación con los problemas específicos de la investigación y dan respuestas a ellos, además guía al investigador para la elaboración de las conclusiones parciales, son:

- El efecto del bisulfito de sodio (NaHSO_3), permitirá la obtención de un alto grado de concentrado y recuperación, mitigando a la contaminación de los efluentes líquidos en la Empresa Minera Nexa Resources S.A.C. Pasco – 2019.
- El efecto del bisulfito de Sodio (NaHSO_3), es determinante en la flotación del cobre para mitigar los efluentes líquidos en la Empresa Minera Nexa Resources S.A.C. Pasco – 2019
- La dosificación controlada del bisulfito de sodio (NaHSO_3), es determinante para la flotación óptima del cobre en la Empresa Minera Nexa Resources S.A.C. Pasco – 2019

2.5. Identificación de las variables

Para la identificación de las variables del tema de investigación, primero se debe formular correctamente un buen título del trabajo de tesis en pocas palabras en forma clara y precisa, en el orden de causa-efecto, vale afirmar primero redacta la variable independiente seguido por la variable dependiente, que necesariamente están contenidas en el título.

2.5.1. Variable independiente

Proceso de flotación del cobre reemplazando el RCS con bisulfito de sodio

2.5.2. Variable dependiente

Mitigar la contaminación de los efluentes líquidos a nivel laboratorio en la Empresa Minera Nexa Resources S.A.C. Pasco – 2019

2.5.3. Variables intervinientes.

Las variables intervinientes, son aquellas que modifican o dificultan probablemente la relación entre la variable independiente y la dependiente, además dificultan las relaciones de las interacciones de los factores experimentales.

- Ley del mineral
- Insolubles
- Porcentaje de solidos

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Mediante la operacionalización de la variable independiente, es para determinar a los factores experimentales del proceso de investigación, con la finalidad de manipular y controlar durante las corridas experimentales para la flotación del cobre, estos determinan los efectos de la mejor recuperación del cobre con una buena ley de concentrado.

- Molienda del mineral
- Concentración de cianuro
- Alcalinidad protectora
- Dilución de la pulpa
- Dosificación de reactivos.

Tabla 3: Variables e indicadores

Ítem	VARIABLES	Dimensiones	Indicadores
1	Cromo	LMP	mg/l
2	Molienda	Grado de molienda	Granulometría
3	Flotación	Reactivos	%bisulfito, %espumante y % modificadores
		Tiempo	Minutos
		Velocidad de agitación	RPM

Fuente: Elaboración propia- Laboratorio Metalúrgico

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicado, porque se resuelve problemas prácticos científicamente, esta demostración fueron realizados en el laboratorio. Por lo tanto, se busca la obtención de nuevos conocimientos técnicos, cuya aplicación es mediata a un determinado problema, cuya fundamentación son los resultados de la investigación básica, para crear bienestar social o empresarial. Ambos tipos de investigación no se pueden separar.

3.2. Métodos de investigación

Los métodos de la investigación científica se dividen en dos: empíricos y teóricos, realístamente en un proceso de investigación, estos métodos nunca están separados.

Todo investigador, debe saber que el método va de la mano o en conjunto con la técnica.

En consecuencia, se usó el método científico: pre experimental, descriptivo y experimental.

- **Pre experimental:** Es para determinar o seleccionar a los factores más significativos del proceso.
- **Experimental:** Se realizó la manipulación de los factores más importantes de la variable independiente seleccionados previamente y ver su respuesta en la variable dependiente, mediante la observación científica.
- **Método de la observación científica:** Consistió en observar todas las ocurrencias durante las corridas experimentales, haciendo uso de mis sentidos, en seguida describir y explicar o analizar el comportamiento de los factores experimentales del fenómeno en estudio, finalmente se realizó la recogida de datos adecuados y fiables que serán procesados.

3.3. Diseño de investigación

Es experimental, durante el desarrollo de la tesis se usó los métodos y técnicas más importantes de la investigación metalúrgica, manipulando deliberadamente a los factores vinculados a las causas, para medir el efecto que se tienen en la variable de interés o dependiente.

La mayor parte de autores, el diseño de investigación consiste en la organización de las condiciones experimentales para el control y manipulación de los factores de la variable independiente para la recogida y análisis de datos.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La población está constituida por el mineral Bulk Plomo – Cobre.

3.4.2. Muestra

Las muestras es la representación de los muestreos del mineral Bulk Plomo – Cobre representado por un kilogramo del mineral Bulk.

✓ **Muestreo en campo.**

Las muestras fueron tomadas en la planta concentradora y preparadas mecánicamente con los instrumentos del laboratorio químico, tales como la homogenización, filtrado, secado, cuarteos y otros.

3.5. Técnica e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnicas de recolección de datos.

Las técnicas para el desarrollo de la tesis son los procedimientos e instrumentos utilizados para acceder al conocimiento o para la recolección de datos mediante las observaciones experimentales y todo lo que se deriva de ellas.

Las técnicas de recolección de datos se clasifican en cualitativas, cuantitativas y mixtas.

En el presente caso del desarrollo de tesis los datos fueron cuantitativos, por ser experimental usando factores, variables o indicadores experimentales, las técnicas son:

- **Muestreo.** Los muestreos se realizaron del mineral bulk Pb-Cu en las dos guardias A y B, cada muestra obtenida durante esas dos guardias.
- **Preparación.** En esta etapa se preparó las pulpas del muestreo en litros homogenizando y cuarteando en húmedo y secado.
- **Análisis químico.** Los datos experimentales de la investigación fueron obtenidos mediante análisis químico, usando el equipo de Absorción Atómica, Estos trabajos fueron cumplidos por el personal de la empresa especializada Inspectorate.

- **Experimental.** Se cumplieron con las corridas experimentales de flotación en el laboratorio
- **Observación científica.** Mediante esta técnica se tomaron apuntes de los datos, en seguida se cumplió con las descripciones y las interpretaciones o análisis de las pruebas experimentales.
- **Procedimiento de las pruebas de flotación.**

Las pruebas metalúrgicas de flotación se realizarán del modo siguiente:

- La pulpa del acondicionador bulk Pb-Cu.
- En seguida la muestra es medida en kilos para luego ser homogenizado y cuarteado para las pruebas metalúrgicas.
- Los reactivos que se va utilizar serán pesadas con una balanza de precisión de 4 dígitos. (La dosificación de reactivos se mantienen de la prueba estándar que maneja el laboratorio metalúrgico de Nexa, para pruebas estándar).
- En la prueba de flotación bulk Pb - Cu; se realizaron las dosificaciones de reactivos según el estándar que se maneja el laboratorio metalúrgico
- Para la dosificación con el bisulfito de sodio (NaHSO_3), se hicieron diversas pruebas metalúrgicas para llegar a una dosificación, que mejore la calidad del concentrado y así para reemplazar la mezcla del RCS.
- La velocidad definida 150 RPM para Scavenger, rougher y 120 RPM cleaner. La pulpa fue sometido a un nivel adecuado para el

acondicionamiento, aproximadamente 1,5 cm bajo el nivel de rebalse en la celda de flotación.

3.5.2. Instrumentos de recolección de datos

Un instrumento de medición adecuado es aquel que registra datos observables como consecuencia de la manipulación de los factores experimentales controlados por el observador y luego son registrados o anotados adecuadamente para su posterior procesamiento y análisis.

Los equipos y materiales que fueron usados durante el desarrollo de la tesis, son:

a. Equipos: Equipos de laboratorio como son:

- Celda de flotación.
- Molino de laboratorio 7x7,5”
- Filtro de prensa.
- Estufa de secado de muestras.
- Pulverizadora.
- Rotap.
- Balanzas electrónicas.
- Equipo de absorción atómica.
- Computado, impresora.
- Termómetro de mano.
- Cuarteador Jones.
- Mallas para análisis granulométrico.

b. Materiales: Reactivos de flotación:

- Bisulfito de sodio

- Cianuro de sodio.
- Sulfato de sodio.
- MICB.
- Z-6
- AP- 4234
- Bicromato di Sodio Anhidro ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)
- CMC
- Metasilicato de Sodio Pentahidratado.

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Técnicas que se usaron en la investigación son:

- **Recolección y análisis documental:** Se realizaron análisis de los datos de las fuentes primarias.
- **Estadística.** Los datos obtenidos en el laboratorio fueron procesados y analizados mediante el uso de hoja de cálculo Excel.

3.7. Tratamiento estadístico

Se realizaron las comparaciones de los resultados de las recuperaciones tanto de las pruebas estándar y pruebas de flotación haciendo uso de hoja de cálculo Excel, ver tablas 7 y 8.

3.8. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.

3.8.1. Selección de los instrumentos de investigación.

La selección de los instrumentos de investigación, se hicieron en función a los factores experimentales de procesamiento del cobre. Ver (ítem 3.5.2).

3.8.2. Requisitos de los instrumentos de medición

Los instrumentos de medición usados en el laboratorio para la recolección de datos experimentales; deben reunir tres requisitos fundamentales: confiabilidad, validez y objetividad.

- a. La confiabilidad, es la precisión de los resultados en las mediciones de la muestra o muestras; en el presente caso los instrumentos cumplieron, obteniendo resultados o datos consistentes o confiables.
- b. La validez, el instrumento debe medir a los factores experimentales de la materia que se investiga con seguridad y exactitud, vale afirmar que también los instrumentos usados durante la investigación cumplieron con este objetivo, es decir son válidos.
- c. La objetividad, el instrumento debe ser permeable a la influencia de ciertos factores no controlables (intervenientes); los instrumentos usados cumplieron con este objetivo.

Por lo tanto, la confiabilidad, validez y la objetividad, no se asumen teóricamente, en la presente investigación, los instrumentos fueron probados en el laboratorio; si el instrumento de medición no cumple por lo menos con una de las condiciones, los resultados no son legítimos o confiables, en consecuencia, la investigación debe ser rechazada.

Las mediciones o resultados cuantitativas continuas obtenidos son consistentes, legítimos, confiables o precisas; en consecuencia, vale afirmar que el error cometido en la investigación experimental considero mínimo.

3.9. Orientación ética.

Esta investigación está orientado al grupo de interés de la empresa mejorando los beneficios económicos y la calidad ambiental, previniendo los grades impactos negativos que afectan al medio ambiente y deterioro de los recursos naturales, fundamentalmente a los efluentes líquidos de la localidad

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del Trabajo de Campo.

En el presente trabajo de investigación, se realizaron muestreos de pulpa en los circuitos de flotación bulk Pb – Cu y el análisis general de la cabeza de mineral durante la investigación (compositos mensuales); tanto como el análisis mineralógico, microscópico, granulometría y químico.

Las pruebas metalúrgicas, estándar y experimentales, llevados a cabo con el uso de bisulfito de sodio (NaHSO_3) y RCS, fueron satisfactorios.

Para el trabajo de investigación con el Bisulfito de sodio (NaHSO_3), se tomó muestras de pulpa del acondicionador de separación plomo y cobre, llevando a un filtrado y secado para obtener un kilogramo de muestra seca y posteriormente para la flotación o pruebas metalúrgicas se usó una celda de 2,5 litros.

A los resultados se realizaron los análisis químicos y el balance metalúrgico.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de los resultados

4.2.1. Presentación del análisis químico, mineralógico y caracterización del mineral de cobre (calcopirita).

a. Análisis químico

Los análisis químicos se realizaron con muestras del compuesto mensual (mineral que se alimenta a los molinos 11A -11B).

Tabla 4 Resultado de análisis de cabeza Fuente:

LEY DE CABEZA ENSAYADA DE COMPOSITO						
Ag Oz/TM	Cu %	Pb %	Zn %	Fe%	Bi%	Mm%
2.16	0,14	1,09	3,01	10,41	0,02	0,37

Elaboración propia – laboratorio químico

b. Análisis mineralógicos

Se realizaron los estudios y análisis por microscopía óptica cuantitativa, para identificar como se encuentran las especies mineralógicas en nuestro proceso.



Figura 11: Calcopirita (Cp) parcialmente alterada a calcosina en bordes de grano y fisuras

Fuente: Elaboración propia – laboratorio Metalúrgico

Comentario: análisis microscópico del mineral de cobre (calcopirita)

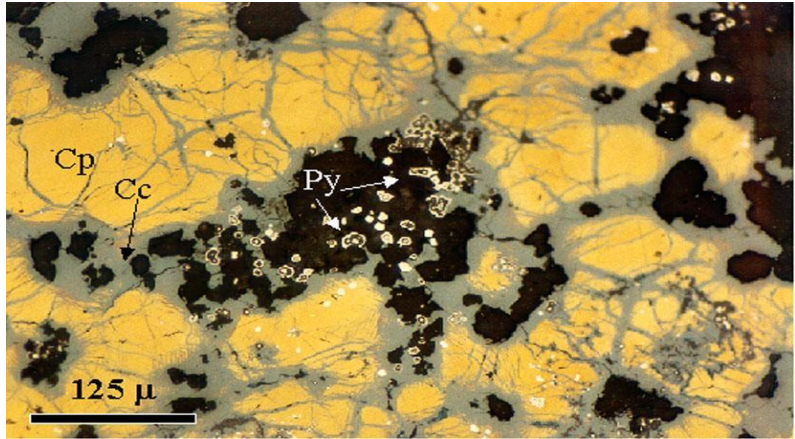


Figura 12: Procesos de alteración de pirita (Py) y calcopirita (Cp) a calcosina (Cc)

Fuente: Elaboración propia – laboratorio Metalúrgico.

Comentario: análisis microscópico del mineral de cobre (calcopirita)

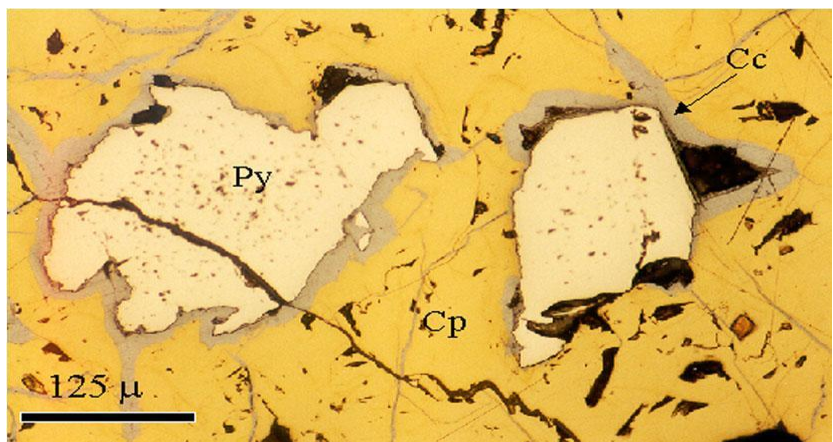


Figura 13: La alteración de los sulfuros primarios comienza en bordes de grano, fracturas y/o planos de exfoliación

Fuente: Elaboración propia – laboratorio Metalúrgico.

Comentario: análisis microscópico del mineral de cobre (calcopirita)

c. Análisis granulométrico

Los análisis granulométricos que se realizaron para análisis la malla # 200 (75 um) encontrándose con un 52,5% a nivel planta.

Tabla 5 análisis granulométrico

MALLA	MICRONES	COMPOSITO MENSUAL		
		PESO(gr)	%PESO	ACUM (-)
70	212	37,67	3,73	96,3
100	150	103,41	10,24	86
140	106	172,85	17,11	68,9
200	75	165,9	16,43	52,5
-200	0	530,17	52,49	0
TOTAL		1010	100	

Fuente: elaboración propia – laboratorio Metalúrgico

d. Prueba de moliendabilidad

Se tomaron 4 kilogramos de muestra de mineral de los compósito que se preparó a malla # -10 y se sometieron a diferentes tiempos de molienda desde 4 minutos hasta 10 minutos.

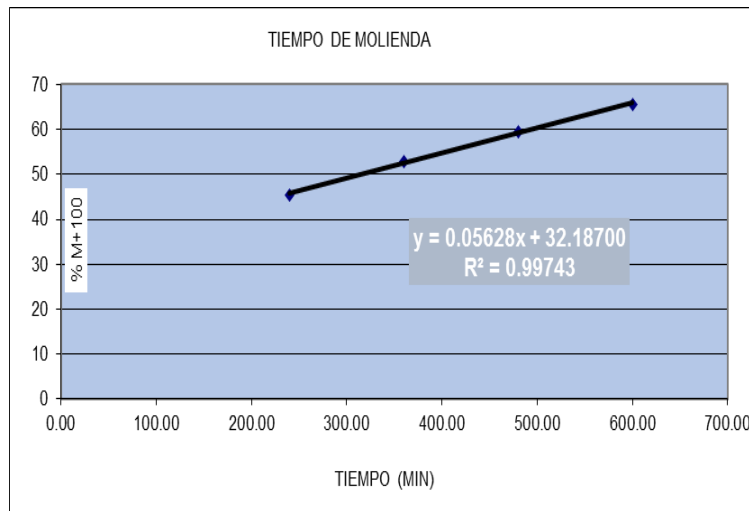
Se realizaron tiempo de molienda para varios tiempos llegando un tiempo óptimo de 5,5 minutos para un 52,5% malla #200.

Tabla 6 : Tiempo de molienda en cuatro test

	TIEMPO (min)	P80	M200
TEST 1	4	215,7	45,28
TEST2	5,5	161,3	52,50
TEST 3	8	129,1	59,45
TEST 4	10	109,5	65,62

Fuente: Elaboración propia – laboratorio Metalúrgico

Figura 14: Tiempo de molienda.



Fuente: Elaboración propia – laboratorio Metalúrgico

4.2.2. Recuperación y leyes de Bisulfito di Sódico (NaHSO₃) y RCS.

A continuación, se realizó la prueba de flotación bulk y el resultado de análisis químico y sus respectivas recuperaciones con Sódico (NaHSO₃) y RCS presenta en la tabla 7 y 8.

Tabla 7 : Balance metalúrgico con RCS

	LEYES, %,Ag* (oz/tms)							RECUPERACION, %						
	Ag*	Pb	Zn	Cu	Fe	Bi	Mn	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	Bi	Mn
Conc.	70,0	8,3	8,5	20,5	22,2	0,5	0,2	6,5	2,2	0,5	24,0	0,4	5,8	0,0
Cu	3	2	1	0	3	6	6	5	3	0	7	1	6	1

Fuente: Elaboración propia – laboratorio químico

Tabla 8: Balance metalúrgico con Bisulfito di Sodio

	LEYES, %,Ag* OZ/tms							RECUPERACION, %						
	Ag*	Pb	Zn	Cu	Fe	Bi	Mn	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	Bi	Mn
Conc.	51.0	3.8	3.9	21.5	28.9	0.3	2.0	2.7	0.4	0.1	28.6	0.3	0.8	0.0
Cu	8	5	0	9	3	6	1	5	3	5	0	9	1	3

Fuente: Elaboración propia – laboratorio químico

Durante las pruebas de flotación se obtiene 20,50 % en ley y 24,07% de recuperación con la mezcla RCS, mientras con bisulfito de Sodio (NaHSO₃), se obtiene 21,59% en ley y 28,60% de recuperación mayores, mientras que el grado de contaminación a los efluentes líquidos no hay ningún efecto negativo de

contaminación del cromo hexavalente (Cr^{6+}), ya que se reemplazó el RCS con bisulfito de Sodio.

4.2.3. Flotación cobre con bisulfito de sodio NaHSO_3 mitigando la contaminación de los efluentes líquidos.

En la flotación con Bisulfito de Sódio (NaHSO_3), se llegan a mayores recuperaciones y aumenta la ley de la calidad del concentrado de cobre 28,60% y 21,59% como muestra en la Tabla 8.

Mientras que el grado de contaminación a los efluentes líquidos no hay presencia del cromo hexavalente Cr^{+6} debido al Bicromato di Sódico Anhídrido ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), que es parte de la mezcla del RCS. Afectando así hinchazón y enrojecimiento agudo de la piel; mientras que inhalar niveles altos de Cromo hexavalente, provoca irritación en las membranas respiratorias y nasales. Estos efectos se han observado principalmente en obreros que producen o utilizan Cromo hexavalente durante varios meses o muchos años, Según (Otiniano G, et al, 2007, p.4) en su investigación del Cromo hexavalente. Y así como en la mayoría de las plantas, animales y bacterias que habitan ambientes acuáticos y actuando como un fuerte agente oxidante que causa graves daños a las membranas celulares según (Marchese *et al.*, 2008).

4.2.4. Dosificaciones para el Bisulfito de Sodio (NaHSO_3)

Se realizaron pruebas metalúrgicas para determinar la dosificación adecuada para su mayor recuperación y ley de concentrado llegando a optimizar las dosificaciones exactas para mejoras la calidad del concentrado como indica en la Tabla 8.

Dosificaciones para Bisulfito de Sodio (NaHSO_3)

- **Acondicionador 5 min.**

Rougher Separación Pb – Cu.

Tiempo acond. = 5 min

MIBC = 18 gr/ton

F – 4234 = 40 gr/ton

NaHSO₃ (solido) = 10 gramos.

- **Scavenger Separación Pb – Cu.**

Tiempo acond. = 1 min

MIBC = 9 gr/ton

F – 4234 = 10 gr/ton

- **1^{ra} Limpieza**

Tiempo acond. = 1 min

MIBC = 9 gr/ton

- **2^{da} Limpieza**

Tiempo acond . = 1 min

Nota: 1 cm³ = 10 gr/ton

1 gota = 9 gr/ton

4.2.5. Pruebas de flotación con bisulfito de sodio según la ley de cabeza durante los meses de investigación.

Tabla 9 : Balance del mes de enero del 2019

LEY DE CABEZA ENSAYADA ENERO 2019						
Ag Oz/TM	Cu %	Pb %	Zn %	Fe%	Bi%	Mn%
2,12	0,12	1,07	2,93	9,02	0,02	0,38

	LEYES, %,Ag* OZ/tms							RECUPERACION, %						
	Ag*	Pb	Zn	Cu	Fe	Bi	Mn	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	Bi	Mn
Conc. Cu	58,19	8,06	14,33	20,18	21,22	0,43	0,47	2,07	0,57	0,28	12,61	0,14	1,21	0,02

Fuente: Elaboración propia – laboratorio químico

Tabla 10: Balance del mes de Febrero del 2019

LEY DE CABEZA ENSAYADA FEBRERO 2019						
Ag Oz/TM	Cu %	Pb %	Zn %	Fe%	Bi%	Mn%
1,66	0,12	0,58	2,40	11,09	0,02	0,45

	LEYES, %,Ag* OZ/tms							RECUPERACION, %						
	Ag*	Pb	Zn	Cu	Fe	Bi	Mn	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	Bi	Mn
Conc. Cu	54,98	9,84	13,34	18,86	18,72	0,38	0,28	1,69	0,52	0,31	8,22	0,12	1,26	0,01

Fuente: Elaboración propia – laboratorio químico

tabla 11: Balance del mes de Marzo del 2019

LEY DE CABEZA ENSAYADA Marzo 2019						
Ag Oz/TM	Cu %	Pb %	Zn %	Fe%	Bi%	Mn%
2,56	0,16	1,25	3,22	9,25	0,01	0,26

	LEYES, %,Ag* OZ/tms							RECUPERACION, %						
	Ag*	Pb	Zn	Cu	Fe	Bi	Mn	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	Bi	Mn
Conc. Cu	71,03	10,32	7,51	18,50	22,23	0,56	0,24	6,55	2,23	0,50	24,07	0,39	5,86	0,02

Fuente: Elaboración propia – laboratorio químico

tabla 12: Balance del mes de Abril 2019

LEY DE CABEZA ENSAYADA ABRIL 2019						
Ag Oz/TM	Cu %	Pb %	Zn %	Fe%	Bi%	Mn%
2,33	0,13	1,16	2,64	9,94	0,02	0,34

	LEYES, %,Ag* OZ/tms							RECUPERACION, %						
	Ag*	Pb	Zn	Cu	Fe	Bi	Mn	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	Bi	Mn
Conc. Cu	56,86	7,77	10,16	13,47	22,57	0,51	0,25	7,95	2,43	1,09	25,60	0,55	6,76	0,03

Fuente: Elaboración propia – laboratorio químico

tabla 13:balance del mes de Mayo del 2019

LEY DE CABEZA ENSAYADA MAYO 2019						
Ag Oz/TM	Cu %	Pb %	Zn %	Fe%	Bi%	Mn%
2,10	0,15	1,29	3,44	13,57	0,02	0,36

	LEYES, %, Ag* OZ/tms							RECUPERACION, %						
	Ag*	Pb	Zn	Cu	Fe	Bi	Mn	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	Bi	Mn
Conc. Cu	79,06	13,15	9,00	20,44	21,33	0,34	0,22	2,02	0,67	0,15	9,02	0,07	0,82	0,05

Fuente: Elaboración propia – laboratorio químico

tabla 14: Bbalance del mes de Junio 2019

LEY DE CABEZA ENSAYADA JUNIO						
Ag Oz/TM	Cu %	Pb %	Zn %	Fe%	Bi%	Mm%
2,19	0,14	1,21	3,46	9,57	0,02	0,43

	LEYES, %, Ag* OZ/tms							RECUPERACION, %						
	Ag*	Pb	Zn	Cu	Fe	Bi	Mn	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	Bi	Mn
Conc. Cu	82,63	10,99	9,08	21,24	20,89	0,52	0,28	1,02	0,31	0,09	5,04	0,06	0,71	0,02

Fuente: Elaboración propia – laboratorio químico

4.3. Prueba de hipótesis.

4.3.1. Clases de hipótesis

a. Hipótesis conceptual.

Esta hipótesis se formula teóricamente, relacionando el marco teórico o conceptual (ley o principio general) con los posibles resultados; que finalmente será confirmada o desconfirmada según los resultados de la investigación.

b. Hipótesis de trabajo o experimental.

Conocido como hipótesis empírica, se formula en términos de variables o factores experimentales, al final se analiza la existencia de una relación o relaciones existentes entre los factores que pueden ser, positivas o negativas.

c. Hipótesis estadísticas.

Es la confirmación de las hipótesis de trabajo mediante los análisis o pruebas estadísticas: la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alterna (H_1).

Por lo general en las ciencias naturales son 1% y 5% de nivel de significancia

4.3.2. Prueba de hipótesis.

En el presente trabajo de investigación, la prueba de hipótesis fue realizado tomando en cuenta la hipótesis de trabajo o experimental, el resultado obtenido es de alta confiabilidad y consistente, esto significa rechazar a la hipótesis nula, porque el resultado de las pruebas de flotación

es satisfactorio económicamente y la mejora del impacto ambiental de los efluentes líquidos; el resultado metalúrgico es:

a. Datos cuando se usa como colector al RCS:

% de concentración del cobre = 20,50%

% de recuperación de cobre = 24,07%.

b. Datos cuando se usa como colector al Bisulfito de sodio

% de concentración del cobre = 21,59%

% de recuperación de cobre = 28,60%.

Por lo tanto, no se corre el riesgo de rechazar en falso a la hipótesis nula.

c. Mitigación de los efluentes líquidos con el uso de Bisulfito de Sodio (NaHSO_3)

En el grado de contaminación a los efluentes líquidos no hay ningún efecto negativo de contaminación del cromo hexavalente (Cr^{6+}), ya que se reemplazó el RCS con bisulfito de Sodio.

d. Para las dosificaciones del bisulfito de Sodio (NaHSO_3) se llegaron a optimizar para una mejor ley y recuperación del concentrado de cobre.

4.4. Discusión de Resultados.

a. Sobre el efecto de la contaminación ambiental se mitigó el impacto ambiental reemplazando el Bicromato di Sódico Anhidro con Bisulfito de Sodio, que se encuentra dentro de la mezcla RCS.

b. Flotación de RCS: grado de 20,50%, la recuperación 24,07% respectivamente y de grado de contaminación a los efluentes líquidos debido al cromo hexavalente Cr^{+6} debido al Bicromato di Sódico Anhídrido ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) que es parte de la mezcla del RCS

- c. Flotación de Bisulfito de sodio (NaHSO_3): grado de 21,59%, la recuperación 28,60% respectivamente y de grado de contaminación a los efluentes líquidos no hay ningún efecto negativo ya que se reemplazó el RCS con bisulfito de Sodio

CONCLUSIONES

- Usando el bisulfito de sodio en remplazo de RCS se logró mitigar la contaminación ambiental específicamente a los efluentes líquidos obteniendo resultados en los análisis de muestra de agua del Cromo hexavalente Cr^{+6} de 27,6 mg/l, resultando fuera de los límites Máximos Permisibles (LMP) para descargas de efluentes líquidos de actividades Minero-Metalúrgica para el cromo hexavalente Cr^{+6} es de 0,10 mg/l, D.S. N.º 010-2010-MINAM.
- Con el uso del RCS se obtiene concentrado y recuperación de cobre 20,50% y 24,07% respectivamente; pero, reemplazando con bisulfito de sodio se obtiene concentrado y recuperación de cobre 21,59% y 28,60% respectivamente; por lo tanto, de acuerdo a los resultados de las pruebas de flotación de Cobre con Bisulfito de Sodio, el grado presenta un incremento de 1,09 % y recuperación 4,53% con respecto a las pruebas de flotación estándar con RCS.
- La mejora de los resultados de la investigación reemplazando al RCS con bisulfito de sodio, también mejora los ingresos económicos a la Empresa.

RECOMENDACIONES

- Controlar las emisiones contaminantes de las plantas concentradoras, para mitigar la contaminación ambiental en las diversas etapas de mineras metalúrgicas.
- Realizar evaluaciones de los comportamientos mineralógicos de los minerales para mejorar las pruebas metalúrgicas y obtener calidad de grado y recuperación del cobre.
- Continuar con las evaluaciones de los diversos reactivos de flotación con la finalidad de seguir mejorando la mitigación de la contaminación ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

1. Flores D, J. (s.f.). flotacion de minerales. En j. Flores D, *flotacion de minerales-min 350*. bolivia.
2. Azañero Ortiz, A., Aramburu Rojas, V., & Quiñones Lavado, J. (2010). *FLOTACION DE MINERALES POLIMETÁLICOS SULFURADOS DE Pb, Cu y Z*.
3. BRAVO GÁLVEZ, A. C. (2004). *manual de flotacion*. peru - casapalca.
4. Bulatovic, S. (2007). *Flotación de minerales de sulfuro*.
5. CÉSPEDES LOAYZA, R. (2009). *EFFECTO DEL SULFITO EN LA FLOTACION DE LA PIRITA ACTIVADA CON*. Huancayo - Peru.
6. COSTILLA, S. (2010). *Manual de Prácticas de Análisis Químico e instrumental*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO.trujillo - peru.
7. Fuerstenau, D., w., & Urbina, R, h. (1988). *Flotation Fundamentals. Reagents in Mineral Technology*.
8. Guevara, M. (2001). *Modelamiento en flotacion*. atacama.
9. MINAM. (2010). *LMP de efluentes liquidos de actividades Mineras - Metalurgicas*. Lima.
10. ORTIZ, J., BARBATO, S., & GAUTIER, J. L. (2000). *REDUCCION DEL OXIGENO SOBRE CALCOSITA*. chile: Bol. Soc. Chil. Quím. v.45 n.3.
11. Pérez Remigio, A. (2012). *Optimización del proceso de flotación de calcopirita con metabisulfito de sodio y carbón activado a nivel laboratorio* . Cerro de Pasco Empresa Administradora Chungar S.A.C.
12. Petróvskaya, N. (2007). *FUNDAMENTOS DE LA TEORÍA DE FLOTACIÓN. ESQUEMA DE AGREGADOS EN FLOTACION POR EL PORTADOR*.
13. SRDJAN M, B. (2007). flotacion de minerales. En B. SRDJAN M, *handbook of flotation reagents*. canada: Volumen 1.
14. Taggart, A. (1962). *Química superficial de flotación. PRIMERA FLOTACION* .
15. Taggart, A. (1966). *elemtos de preparacion de minerales* . madrid: primera edicion .
16. Yianatos, J. (3 de Diciembre de 2008). <http://mineriaonline.blogspot.com/2008/12/libro-flotacion-de-minerales.html>. Obtenido de <http://mineriaonline.blogspot.com/2008/12/libro-flotacion-de-minerales.html>.
17. Yiantos B, J. (2005). *fotacion de minerales*. Obtenido de 132342529-Yianatos-Flotacion-de-Minerales-UTFSM.pdf.
18. Young, T. (1085). angulo de conta . *ecuacion de Young*.

ANEXOS

ANEXO N° 1

Hoja de datos de seguridad BISULFITO DE SODIO

Sección 1 – Identificación del producto y de la compañía

Nombre del producto: Bisulfito de sodio

Fórmula química : NaHSO₃

Número de CAS : 007631-90-5

Otras denominaciones: Solución de bisulfito de sodio, solución de sulfito de hidrógeno sódico.

Uso general : Conservante alimentario y farmacéutico, agente de decoloración de aguas residuales, reactivo de laboratorio, agente reductor, suplemento dietario y conservante de color.

Fabricante : Calabrian Corporation 5500 Hwy. 366 Port Neches, Texas 77651

Teléfono : 409-727-1471

Fax : 409-727-5803

Contacto de emergencia: CHEMTREC 800-424-9300

Sección 2 – Identificación de riesgos

Resumen de emergencia

Órganos que ataca : Sistema respiratorio, ojos, piel

Clasificación de GHS : Toxicidad aguda, oral (categoría 4) Toxicidad aguda, dérmica (categoría 5) Irritante grave de los ojos (categoría 2A)

Elementos de etiqueta GHS: Palabra de aviso: Advertencia

Pictogramas



Irritante



Corrosivo

Declaraciones sobre el riesgo: H302 - Es nocivo si se ingiere. H313 – Puede ser nocivo para la piel

H319 – Provoca irritación grave en los ojos

Declaraciones de precaución: P280 – Use equipo de protección personal para las manos, los ojos, el rostro y las vías respiratorias P305, P351 y P338 – SI ENTRA EN CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuague con agua durante varios minutos. Quítese los lentes de contacto, si tiene, y siga enjuagando.

Otros riesgos: El contacto con ácidos libera gas tóxico de dióxido de azufre.

Clasificación de HMIS:

Riesgo de salud 2

Inflamabilidad 0

Físico 0

Clasificación NFPA

- Riesgo de salud 2
- Fuego 0
- Reactividad 0

Posible riesgo para la Inhalación: Irritante para las vías respiratorias

Efectos:

- Ojos: Irritante
- Piel: Irritante
- Ingestión: Es nocivo si se ingiere.

Agravamiento de condición de salud: Puede provocar broncoespasmo en personas asmáticas sensibles al sulfito.

Sección 3 – Composición/información sobre los ingredientes

- **Composición Número de CAS % de peso**
- Agua - 50 – 70
- Bisulfito de sodio 007631-90-5 30 – 50
- Sulfito de sodio 007757-83-7 < 1.0
- Sulfato de sodio 007757-82-6 < 3.5

Sección 4 – Medidas de primeros auxilios

Vía de exposición Síntoma Tratamiento

Inhalación:

Dolor de garganta, falta de aire, tos y congestión.

Contacto con los ojos:

- Irritación en los ojos y en las membranas Lleve al paciente al aire libre. Acuda al médico en casos graves o si la recuperación no es rápida. Lave con agua hasta que no haya evidencia de restos de productos químicos restos de productos químicos. Acuda al médico.

Contacto con la piel:

- Irritación,
- picazón,
- dermatitis

Lave con agua y jabón y empape con agua.

Ingestión:

- Irritación en las membranas mucosas.

- Quite la vestimenta contaminada y lávela antes de reutilizarla.
- Dé de beber grandes cantidades de agua o leche de inmediato. Obtenga atención médica.

Acuda al médico de inmediato y *entregue esta hoja de especificaciones al doctor que lo atienda.*

Nota para el médico: Con la exposición, se pueden agravar el asma crónico o agudo, el enfisema y la bronquitis.

Sección 5 – Medidas para combatir el fuego

Punto de inflamación : No combustible.

Método del punto de inflamación: No aplicable.

Tasa de combustión : No aplicable.

Temperatura de autoignición : No aplicable.

LEL : No aplicable.

UEL : No aplicable.

Clasificación de inflamabilidad : No inflamable.

Medios para extinguir el fuego : Utilice los agentes de extinción de fuego apropiados para las condiciones circundantes de fuego.

Riesgos de fuego y explosión poco comunes: Ninguno indicado.

Productos de descomposición peligrosa: Puede liberar gas peligroso.

Instrucciones para combatir el fuego: No libere el escurrimiento de los métodos de control de fuego a las alcantarillas ni a las vías fluviales.

Equipo para combatir el fuego: Como el fuego puede producir productos tóxicos de descomposición.

Sección 6 – Medidas de liberación accidental

Térmica, debe usar un aparato de respiración autónomo (SCBA) con máscara facial completa, operado en modo de demanda de presión o presión positiva.

Procedimientos en caso de derrame/fuga: Use el PPE apropiado. Ver sección 8.

Derrames/fugas leves: Los derrames se pueden neutralizar con un material alcalino, por ejemplo, soda cáustica. Las fugas se pueden localizar rociando el área con solución de hidróxido de amoníaco, que forma un humo blanco en presencia del dióxido de azufre.

Derrames/fugas grandes: Los derrames grandes se deben atender siguiendo un plan predeterminado.

Contención: Para los derrames grandes, contenga con un dique bien alejado del escurrimiento contaminado para su posterior eliminación.

Sección 7 – Manejo y almacenamiento

Precauciones de manejo: Evite el contacto con el producto. No respire el polvo ni los vapores.

Requisitos de almacenamiento: Guarde el producto en áreas alejadas del calor y de la humedad y protéjalo para que no sufra daño físico. Separe de los ácidos y de los oxidantes.

Sección 8 – Controles de exposición/protección personal:

Componente: Bisulfito de sodio **Número de CAS:** 007631-90-5

ACGIH (TLV) TWA: 5 mg/m

OSHA (PEL) TWA: 5 mg/m

NIOSH (REL) TWA: 5 mg/m

IDLH – Ninguno establecido

IDLH - Peligroso inmediatamente para la vida o la salud

PEL – Límite de exposición permitido

REL – Límite de exposición recomendado

TLV – Valor de límite umbral

**ACGIH – American Conference of Governmental Industrial Hygienists
(Conferencia Estadounidense de Higienistas Industriales gubernamentales)**

TWA – Promedio ponderado en el tiempo según días de exposición de 8 horas y una semana de 40 horas.

Ventilación: Provea sistemas de ventilación por escape generales o locales para mantener las concentraciones en suspensión por debajo del límite de la OSHA (Sec. 2). Se prefiere la ventilación por escape local porque evita la dispersión de contaminantes en el área de trabajo controlándolos en el origen.

Protección respiratoria: Siga las regulaciones sobre respiradores de la OSHA (29 CFR 1910.134) y, si es necesario, use un respirador aprobado por MSHA/NIOSH. Elija el respirador en base a su idoneidad para proteger adecuadamente al empleado en las condiciones de trabajo dadas, en el nivel de contaminación en suspensión y en presencia de oxígeno suficiente.

Para las operaciones de emergencia o no habituales (limpieza de derrames, tanques de reactor o de almacenamiento) use un SCBA.

Advertencia: Los respiradores que purifican el aire no protegen a los empleados en atmósferas con deficiencia de oxígeno.

Vestimenta/equipo de protección: Use guantes, botas y vestimenta de protección cuando sea necesario, a fin de evitar el contacto excesivo con la piel. Use gafas o goggles

de protección, según las regulaciones de la OSHA para protección del rostro y de los ojos (29 CFR1910.133).

Estaciones de seguridad: Debe haber estaciones de emergencia para lavarse los ojos, duchas y otras instalaciones de lavado disponibles en el área de trabajo.

Equipo contaminado: Retire este material del equipo de protección personal, según sea necesario. No coma, beba ni fume en áreas de trabajo. Mantenga buenas prácticas de higiene después de usar este material, especialmente antes de consumir alimentos o bebidas.

Sección 9 – Propiedades físicas y químicas

Estado físico	: Líquido
Solubilidad en agua	: NA
Aspecto	: Amarillo Otros tipos de NA
Umbral olfativo	: Olor ácido del SO ₂
Punto de ebullición	: 205 °F
Presión del vapor	: NA
Punto de ebullición	: 26 °F
Densidad de vapor	: NA Punto de fusión:
Peso de fórmula	: 104 Tasa de evaporación: Normal
Densidad	: NA
pH	: 2.9 – 4.9
Gravedad específica (H₂O=1):	1.3 – 1.4 % volátil: NA

Sección 10 – Estabilidad y reactividad

Estabilidad: Estable en condiciones normales.

Polimerización: No se producirá una polimerización peligrosa.

Incompatibilidades químicas: Las soluciones de bisulfito de sodio pueden liberar humos tóxicos y peligrosos de los óxidos de azufre, incluyendo el dióxido de azufre. El envenenamiento agudo por dióxido de azufre es poco frecuente porque el gas se detecta fácilmente. Es tan irritante que no se puede tolerar el contacto. Entre los síntomas se

incluyen tos, ronquera, estornudos, lagrimeo y dificultad para respirar. Sin embargo, los empleados con una alta exposición inevitable pueden sufrir daño pulmonar importante y posiblemente mortal. El contacto con potasio en polvo, metales de sodio, álcalis y agentes oxidantes producen reacciones violentas. Reacciona con el agua y el vapor y forma ácido sulfuroso corrosivo. Reacciona con los cloratos y forma dióxido de cloro inestable.

Condiciones que se deben evitar: Evite calor excesivo o llama directa.

Descomposición peligrosa Puede liberar gas de dióxido de azufre

Sección 11 – Información toxicológica

- **Efectos en la vista (conejo):** No disponible.
- **Efectos por inhalación aguda (rata):** No disponible.
- **Efectos en la piel (conejo):** No disponible.
- **Efectos orales agudos (rata):** LD50 = 2000 mg/kg
- **Carcinogenicidad:** El bisulfito de sodio no está incluido en las listas de IARC, NTP y OSHA como carcinógeno.
- **Efectos crónicos:** La exposición prolongada o reiterada puede provocar dermatitis y reacciones de **sensibilidad**.

La exposición en personas sensibles al sulfito, asmáticas y atópicas puede provocar broncoconstricción grave y reducir los niveles del volumen espiratorio forzado. La descomposición del bisulfito de sodio puede liberar humos tóxicos y peligrosos de óxidos de azufre, incluyendo el dióxido de azufre, que puede provocar deterioro pulmonar permanente debido a la exposición crónica y aguda. El nivel inmediatamente peligroso para la vida o la salud (IDLH) para SO₂ es 100 ppm.

Toxicidad acuática: Se ha informado que el umbral de toxicidad del bisulfito de sodio (100 h a 23 °C) de Daphnia Magna es de 102 mg/l. En presencia de sales de sodio adicionales, este umbral puede ser inferior. Para el gobio pequeño, expuesto durante 6

horas a la solución de bisulfito de sodio en agua destilada, a 19 °C, fue de 60 a 65 mg/l y de 80 a 85 mg/l en agua dura a 18 °C. El valor LC50 a 24, 48 y 96 horas fue de 240 mg/l para el pez mosquito (*Gambusia affinis*) en agua turbia, a una temperatura de 17 a 22 °C.

Sección 12 – Información ecológica

Ecotoxicidad: El bisulfito de sodio es una solución no peligrosa que se usa comúnmente como agente de dechloración del agua residual. Las altas concentraciones contribuyen a la demanda elevada de oxígeno químico en ambientes acuáticos.

Transporte ambiental: Soluble en agua.

Degradación ambiental: Descomposición biológica rápida.

Absorción del suelo/movilidad: Leve.

Sección 13 – Consideraciones de eliminación

Eliminación: En las determinaciones de residuos generalmente se considera que los materiales contaminados con bisulfito de sodio no son peligrosos.

Requisitos regulatorios para la eliminación: Siga las regulaciones federales, estatales y locales correspondientes.

Limpieza y eliminación de contenedores: Siga las regulaciones federales, estatales y locales correspondientes.

Sección 14 – Información de transporte

Nombre del embarque	: Bisulfitos, soluciones acuosas, sistemas de óxido nitroso
Nombre técnico	: Bisulfito de sodio
Símbolos de embarque	: Corrosivo
Clase de riesgo	: 8 – Corrosivo
Riesgo accesorio	: NA
N.º de ident	: UN2693
Grupo de empaque	: III
Etiqueta	: Obligatoria
Cantidad reconocida	: (RQ) 5000 lb

Sección 15 – Información regulatoria

Regulaciones de la EPA:

Clasificación como residuo peligroso RCRA (40 CFR 261): No incluido.

Número de residuo peligroso RCRA (40 CFR 261): No incluido.

Sustancia peligrosa CERCLA (40 CFR 302.4): Incluido.

Cantidad para informar CERCLA (RQ): 5000 libras

SARA Título III: No incluido.

FIFRA: No regulado.

TSCA: Producto químico incluido en inventario; Se informa según

PAIR; No incluido en el Índice de sustancias químicas tóxicas

Regulaciones de la OSHA:

Contaminante del aire (29 CFR 1910.1000): No incluido.

Sustancia regulada específicamente por la OSHA: No incluido.

Otras regulaciones:

FDA: Regulado cuando se usa como conservante alimentario.

Propuesta 65 (California): No incluido

Sección 16 – Información adicional

Este producto tiene la certificación NSF, según la norma 60 de NSF/ANSI, y está sujeto al límite de uso máximo (MUL) de 46 mg/l para las aplicaciones de decoloración del agua potable.

Fecha de emisión de la SDS anterior: Marzo de 2015

Fecha de emisión de la SDS actual: Mayo de 2015

Motivo de la revisión actual: Cambio en el límite de sulfito de sodio de < 3.5 a < 1.0 % (Sección 3).

La información aquí incluida se considera confiable. Sin embargo, no se hace ninguna garantía, expresa ni implícita, sobre la exactitud, la totalidad ni la aptitud de este material para ningún propósito particular. El fabricante no será responsable de los daños personales ni materiales resultantes del uso.

ANEXO N° 2

HOJA DE DATOS PARA LA SEGURIDAD

MODIFICACIÓN

1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA/PREPARADO Y DE LA SOCIEDAD/EMPRESA

Nombre BICROMATO DI SÓDICO ANHIDRO
CAS No. 10588-01-9
CE No. 234-190-3
Sinónimos Sal Sodico Del Ácido Crómico ($H_2Cr_2O_7$)
Fórmula Molecular $Na_2Cr_2O_7$

Usos previstos/recomendados Fabricación de otros productos químicos de cromo.
 Acabado metálico que contribuye a la resistencia a la corrosión, ayuda a la limpieza de las superficies metálicas y aumenta la adherencia de la pintura.
 Agente oxidante para la elaboración de productos orgánicos.
 Fabricación de pigmentos de cromato inorgánicos.
 Preparación de vidrio coloreado y esmaltes cerámicos.
 Mordiente para tintes ácidos para mejorar las propiedades de solidez de los colores.
 Producción de sulfato de cromo.

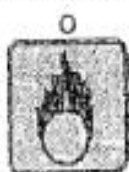
Empresa **ELEMENTIS CHROMIUM**
 Eaglescliffe, Stockton-on-Tees, United Kingdom, TS16 0QG
Teléfono + 44 (0)1642-780682
No.Fax + 44 (0)1642-791866
No.Tel Emergencia + 44 (0)1642-780757

Empresa **ELEMENTIS CHROMIUM LP**
 3800 Buddy Lawrence Drive, PO Box 9912, Corpus Christi, TX 78469
Teléfono 00 1 (361) 883-6421

2. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Análisis Típico*

	%	Núm CAS	Núm EINECS	Clasificación del Suministro
$Na_2Cr_2O_7$	97.35	10588-01-9	234-190-3	O: R8 Carc Cat 2: R49 Muta Cat 2: R46 T+: R26 T: R25 Xn: R21 Xi: R37/38, 41 R42 R43 N: R50, 53 (Para conocer las frases R, consulte la sección 15)
$Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$	2.4	7789-12-0	234-190-3	



Para uso profesional únicamente

5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS Incombustible

Incompatibilidad	Puede reaccionar con materiales oxidables/combustibles, especialmente en temperaturas elevadas.
Descomposición	La descomposición comienza a 400°C, liberando oxígeno, en condiciones de uso normales, no se han producido compuestos nocivos tras la descomposición.
Medidas	Se puede utilizar todo tipo de extintor, seleccionarlo en base a los materiales presentes.
Equipo	Usar aparatos que contengan depósito de respiración. Ropa protectora total.

6. MEDIDAS A TOMAR EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

Tras Caída/Goteo/ Goteo en Polvo	Recoger el material caído en un contenedor de metal cerrado para volverlo a utilizar o tirar.
Precauciones del Personal	Los operadores han de usar Equipo de Protección Personal, como por ejemplo protección ocular, equipo apropiado de protección respiratoria y guantes.
Precauciones con el Medio Ambiente	No vaciar en desagües o alcantarillas, aguas proximas i e Contiene . Si se produjese algún vertido en un desagüe o alcantarilla, se debe informar inmediatamente a las autoridades locales encargadas de la salubridad del agua a la Institución Reguladora Nacional.
Directiva de Aguas Freáticas	El cromo y sus compuestos son sustancias de Lista II. Zonas contaminadas pequeñas que no pueden limpiarse, pueden tratarse con solución de sulfato férrico o solución de metabisulfito sódico para reducir el cromo hexavalente a su forma trivalente y ajustar el pH a 8.5 con carbonato sódico o solución de hidróxido sódico para precipitar el hidróxido de cromo. Utilice Equipo de Protección Personal.

7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Almacenamiento	Almacenar en un lugar seco lejos de alimentos y material fácilmente oxidable/combustible. Mantener al producto lejos del calor y del sol. Mantener el contenedor cerrado cuando no se vaya a utilizar.
Ventilación	El contenedor se deberá abrir sólo cuando haya ventilación de humos próxima.
Manejo	Se debe utilizar el Equipo de Protección Personal para evitar el contacto con la piel, ojos y ropa. Debe de quitarse cualquier ropa contaminada y lavarla antes de volverla usar. Lleve protección respiratoria en donde haya riesgo de exposición al producto.

8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN PERSONAL

<u>REQUERIMIENTOS DE LA EXPOSICIÓN OCUPACIONAL</u>	<u>País</u>	<u>Tipo</u>	<u>8hr TWA</u>	
	UK	HSE	MEL	0.05 mg Cr/m ³
	DE	MAK	TRK	0.05 mg Cr/m ³
	USA	ACGIH	TLV	0.05 mg Cr/m ³
	USA	OSHA	PEL	0.10mg as CrO ₃ (Ceiling)

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad	Bajo condiciones normales de uso, este producto es estable.
Condiciones a Evitar	Esta sustancia es medianamente oxidante cuando se encuentra en solución, pero se convierte en altamente oxidante en soluciones ácidas fuertes.
Materiales a Evitar	Evitar el contacto con materiales orgánicos, aceites, grasas y cualquier material oxidable.
Descomposición Térmica	La descomposición empieza a los 400°C.
Productos de Descomposición Peligrosa	Descomposición térmica puede producir óxido crómico (Cr ₂ O ₃) u otros óxidos de cromo y la sustancia de Cr (VI) cromato de sodio que tienen propiedades peligrosas similares al bicromato de sodio.

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA**TOXICIDAD AGUDA**

Estos valores son aplicables al Dihidrato de Bicromato de Sódico	Oral, LD ₅₀	(rata)	51 mg/kg (ambos sexos)	[5]
	Inhalación LC ₅₀	(rata)	0.124 mg/1/4 hr (ambos sexos)	[6]
	Dérmica LD ₅₀	(conejo)	1000 mg/kg (ambos sexos)	[7]
	Irritante(4hr)	(piel de conejo)	agente no corrosivo	[8]

RUTAS DE EXPOSICIÓN

Inhalación	Posibilidad de sensibilización por inhalación. Puede causar cáncer por inhalación. También muy tóxico por inhalación. Puede causar alteraciones genéticas hereditarias. La inhalación o polvo o neblina de Bicromato de sodico dehidrato puede causar irritación del tabique nasal y del tracto respiratorio. La exposición prolongado repetida al compuesto químico puede causar ulceración y perforación del tabique nasal.	[17]
Ingestión	También tóxico por ingestión. Puede causar efectos sistémicos que pueden desembocar en problemas de hígado y riñón. Su ingestión ocasionar irritación puede del sistema gastro-intestinal superior.	[9]
Contacto con la piel	El contacto directo puede provocar irritaciones, sensibilidad en la piel o dermatitis. El contacto con la piel puede provocar úlceras externas o llagas, que ocurren con más frecuencia en zonas laceradas de la piel, la raíz de las uñas, las estrías de los nudillos, zonas interdigitales, el dorso de la mano y los antebrazos. A través de la piel se pueden absorber cantidades tóxicas que provocarían una intoxicación sistémica y/o lesiones renales/hepáticas.	[9]
Contacto con los Ojos	La exposición a bajos niveles de concentración puede ocasionar irritación o conjuntivitis. Con rojez, hinchazón, lagrimeo y dolor asociados. La sobre exposición causa irritación severa de los ojos y un posible daño permanente a éstos.	[9]
Toxicidad Crónica	Exposición prolongada o repetitiva al polvo/neblina de Bicromato sódico puede producir irritación ocular crónica, ulceración de la piel y perforación del tabique nasal, Rinitis crónica, faringitis, laringitis, lesiones renales/hepáticas, alteraciones sanguíneas, mayor riesgo de desarrollo de cáncer del sistema respiratorio.	

13. CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACIÓN

Sólido	Si se trata de una cantidad sustancial, devuélvala al proveedor o fabricante. Pequeñas cantidades se pueden tirar mediante una empresa de basuras capacitada.
Líquido	Reducir al trivalente Cr(III) de acuerdo con los métodos descritos bajo "Medidas en caso de escape Accidental". Debe deshacerse del material mediante una empresa de basuras capacitada en un lugar designado a tal propósito.
Directiva de Aguas Freáticas	El cromo y sus compuestos son sustancias de Lista II.
Embalaje Contaminado	Se recomienda meter los residuos contaminados en sacos de plástico debidamente sellados antes de deshacerse de éstos mediante un empresa de basuras como "residuos especiales".

14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE (legislación)

Sustancia	Bicromato Sódico Anhidro
Embalaje	Sacos de papel de 25 kg, 0.9 te y 1.0 te I.B.C.
Clasificación del Transporte	Sólidos Tóxico, Inorgánico, NOS
EAC	2X
HI No	60
Identificación de la Sustancia	3288 [No de UN 3288] Grupo de Embalaje III
Clase ICAO/IATA	6.1 No de UN:3288, PGIII
• Clase IMDG	6.1 No de UN:3288, PGIII, EMS No 6.1-04
• ADR/RID	Clase 6.1 T5
Símbolo de Transporte Peligroso	



Otra información	Puede causar irritación a los ojos y la piel. Mantener lejos de los alimentos.
------------------	--------------------------------------------------------------------------------

15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA (Suministro Y Etiquetaje)

[17]

Sustancia	Bicromato Sódico Anhidro	CAS No. 10588-01-9 EINECS No. 234-190-3
Clasificación de Suministro	Oxidante: R8 Carc Cat 2: R49 Muta Cat 2: R46 T+ Muy Tóxico: R26 T - Tóxico: R25 Xn - Nocivo: R21 Xi - Irrita R37/38, 41 Sensitiser: R42, R43 N - Pernicioso al medio ambiente: R50, 53	

Pictograma de Peligro



Para uso profesional únicamente

REFERENCIAS

- [1] Correspondence with National Poisons Information Service (Birmingham Centre) 11.9.93.
- [2] Control of Substances Hazardous to Health General ACOP L5 (revised annually).
- [2a] Reg. 7, para 33.
- [2b] Regs. 6, 10 and Reg. 7, para 36.
- [2c] Reg. 7, para 48/49.
- [3] The selection, use and maintenance of respiratory protective equipment; HSE publication HS(G)53.
- [4] Personal Protective Equipment at Work. HSE publication - Guidance on Regulations; L25.
- [5] Allied Corp. Data, Report No. MA-285-84-5, Dec. 3, (1984).
- [6] Allied Corp. Data; Report No. MA-285-84-8, Jan. 22, (1985).
- [7] Allied Corp. Data, Report No. MA-285-84-10, May 3, (1985).
- [8] Allied Corp. Data, Report No. MA-285-84-1, Dec. 1, (1984).
- [9] Toxicity Review 21, The toxicity of chromium and inorganic chromium compounds. HSE publication.
- [10] ATSDR, Toxicological Profile for Chromium, April 1993
- [11] Petruzzelli G., et al., Water Air Soil Pollut. 32, 389-395 (1987).
- [12] WRc. Report - Revised Environmental Quality Standards for Chromium in Water. DoE 2858 (P) June 1994.
- [13] Cary E E, Langards S, ed. Elsevier Science Publ. 49-64 (1982)
- [14] Benoit, D.A.; Water Res. 10, 497 (1976).
- [15] Bringmann G, and Kuehn R., Z. fuer Wasser- und Abwasserforsch. 10, (3/4), 87-89 (1977).
- [16] Determination of the toxic effect on bacteria in wastewaters. DevL8 (modified). Untersuchungen Bayer AG
- ♦[17] 28th A.T.P. to EC Directive 67/548/EEC.

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el promedio anual
pH		6-9	6-9
Sólidos totales	mg/L	50	25
Suspensión			
Aceites y Grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0.8
Arsénico Total	mg/L	0.1	0.08
Cadmio Total	mg/L	0.05	0.04
Cromo hexavalente(*)	mg/L	0.1	0.08
Cobre Total	mg/L	0.5	0.4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1.6
Plomo Total	mg/L	0.2	0.16
Mercurio Total	mg/L	0.002	0.0016
Zinc Total	mg/L	1.5	1.2

Fuente: (MINAM, 2010)



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL

SOLICITANTE : CARLOS QUISPE PONCE
PROCEDENCIA : LIMA
MUESTRA DE : AGUA DE MINERÍA
REFERENCIA : H.R. 69957
BOLETA : 3499
FECHA : 27/09/19

Nº LAB	CLAVES	Cr mg/L
3947	-	27.60



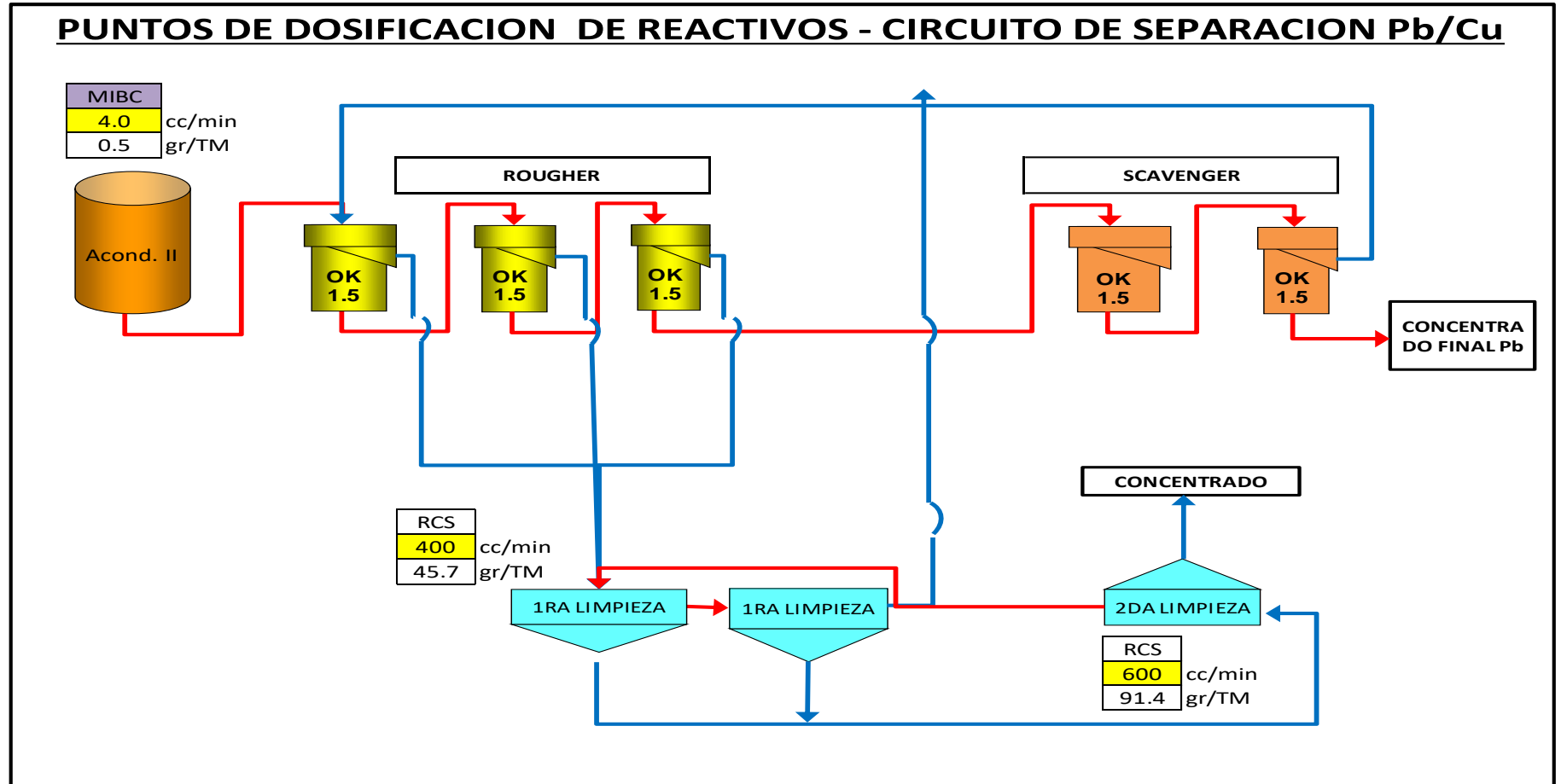
Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Fuente : propia

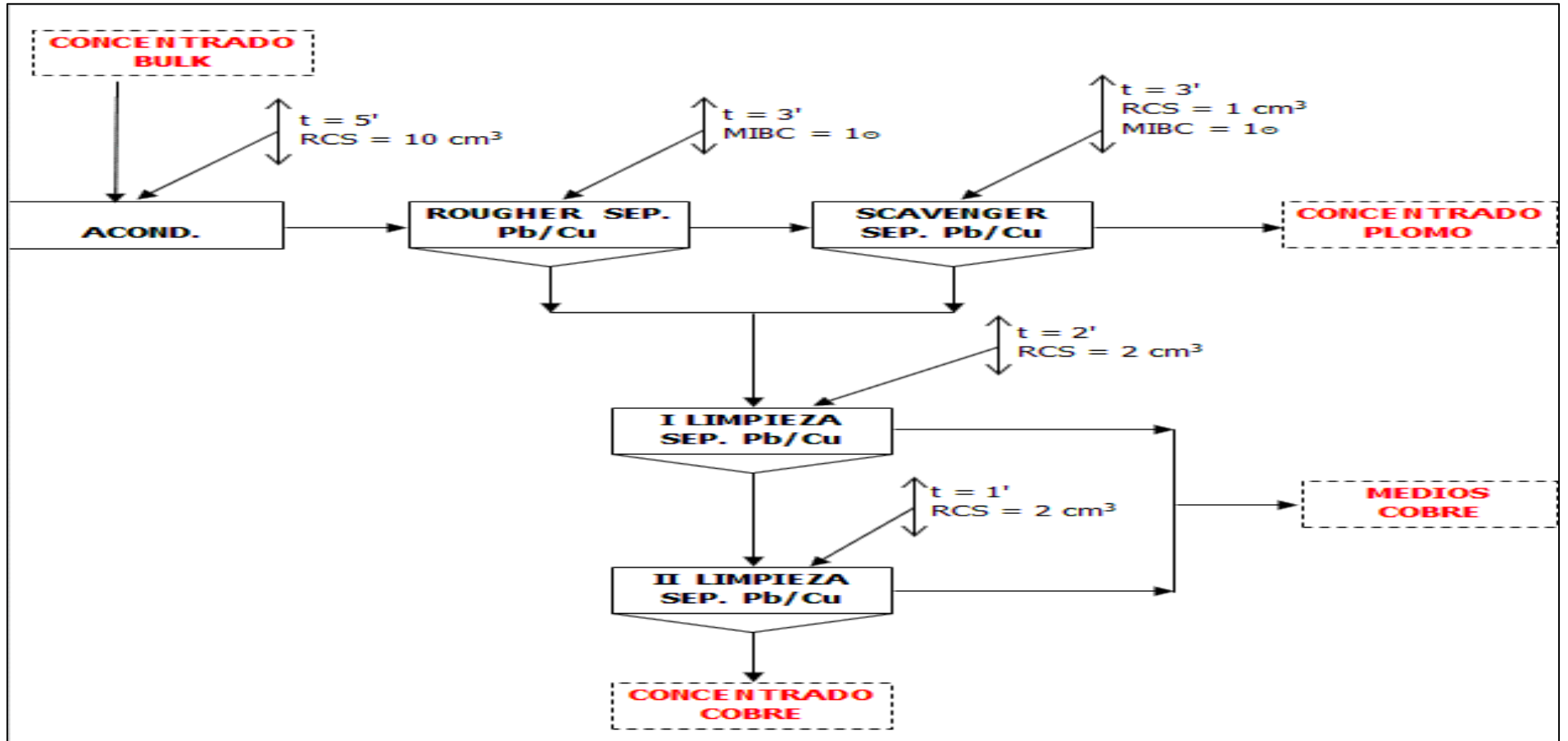
ANEXO N° 3

DIAGRAMA DE CIRCUITO DE SEPARACIÓN Pb- Cu



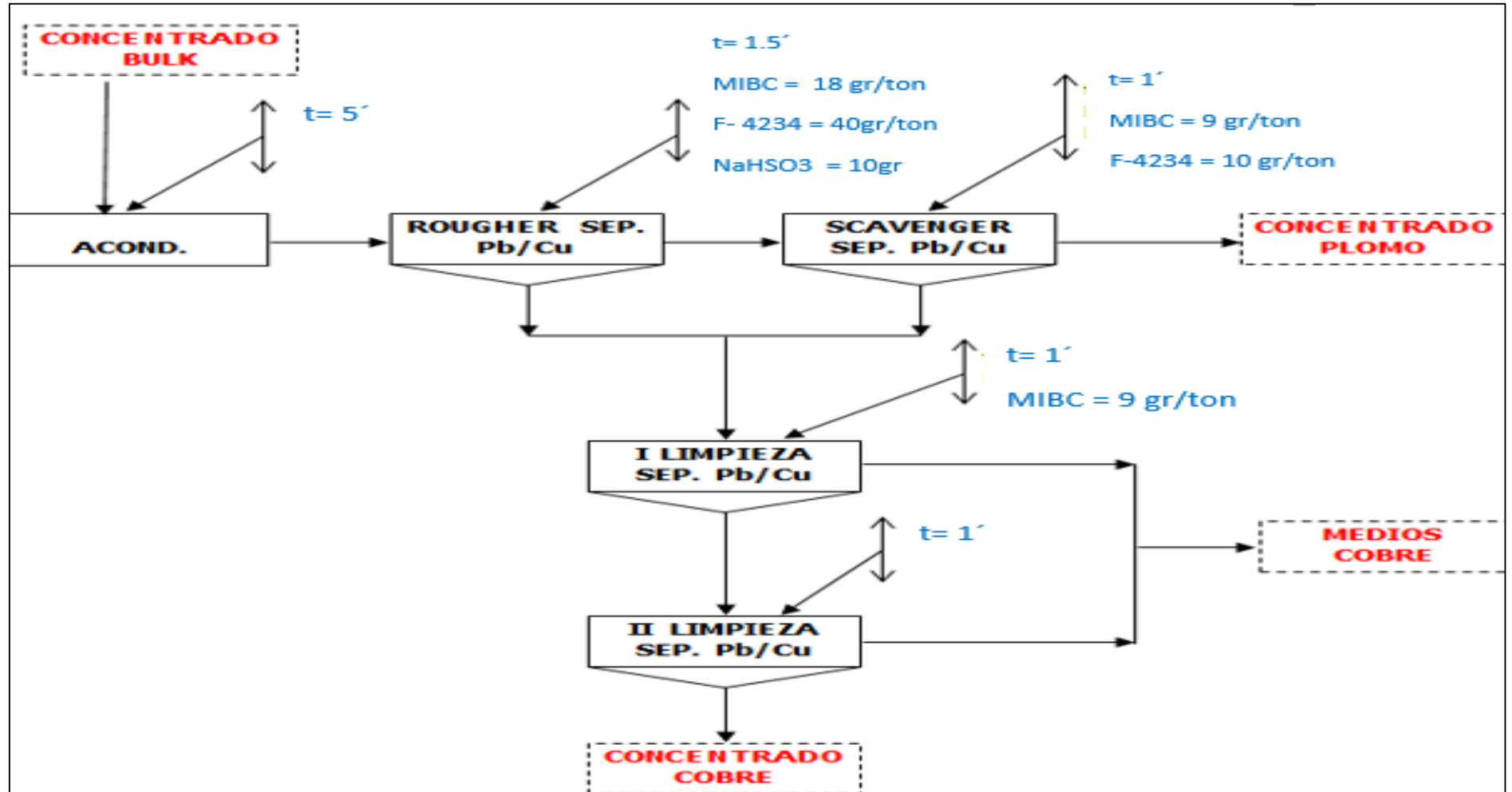
ANEXO N° 4

PUNTOS DE DOSIFICACIÓN CON RCS



ANEXO N° 5

PUNTOS DE DOSIFICACIÓN DE BISULFITO DE SODICO ANHIDRO



ANEXO N° 6
FOTOGRAFÍAS



Almacenamiento de los reactivos en planta



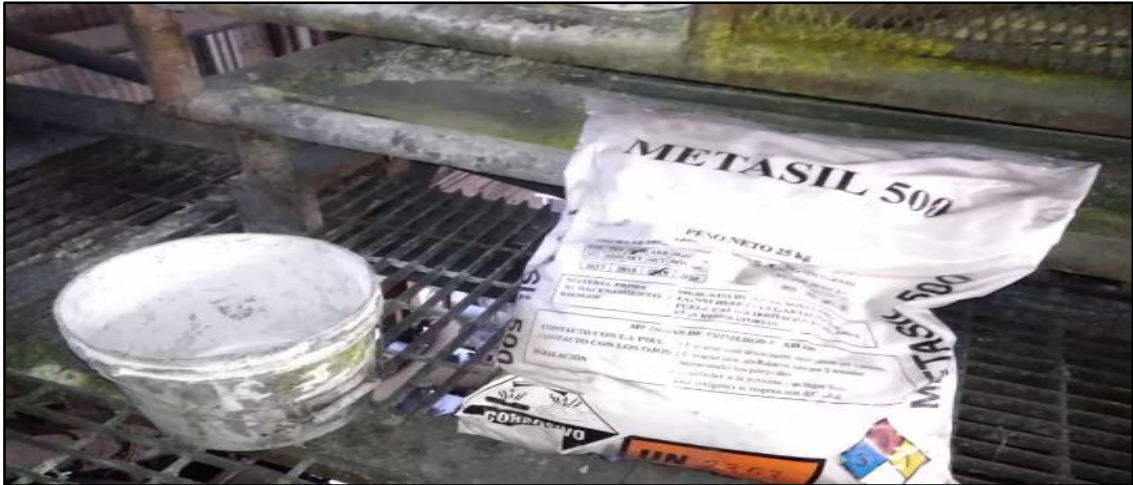
Dosificación de los reactivos RCS



Tanques de preparación del RCS



Bicromato de Sódico Anhidro y CMC



Metasilicato preparado en un balde de 7.4 kg



Bisulfito di Sódico Anhidro NaHSO3



CONCENTRADO DE COBRE



Pruebas de flotación