



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS

**Concentración de sulfuros de mineral de cobre (calcopirita),
mediante el proceso de flotación con la variación del pH y
tres tipos de colectores.**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERÍA EN MINAS

Autores:

RAQUEL ALEXANDRA CHICA MALLA

GENISIS JHOMARA SALINAS VÁZQUEZ

Director:

TULIO FERNANDO VALENCIA GUARICELA

CUENCA, ECUADOR

2017

DEDICATORIA

Agradezco a mis padres por haberme brindado la mejor educación y lecciones de vida.

A mi padre le doy las gracias que por medio de sus reglas me haya forjado como la persona que soy actualmente y quien me ha enseñado que si algo deseo en la vida debo tener constancia ya que sin esfuerzo no se consigue nada.

Tú, mi madre siempre sacrificándote para brindarme todo, sé que por circunstancias de la vida no me pudo acompañar en cada etapa que he transcurrido durante estos años de estudios, pero también sé que desde lejos usted me cuidaba y me entregaba todo su amor.

Cuando mi mamá no podía acompañarme en cada momento de mi vida por su trabajo, usted ha estado presente siempre dándome sus valiosos consejos y cuidándome, puedo decir y asegurar que más que mi abuelita usted es mi segunda madre, los valores que usted me ha inculcado siempre los llevaré conmigo.

Durante el desarrollo de esta tesis he pasado por algunos momentos duros gracias al apoyo que ustedes, mis dos madres me han brindado he logrado superar todo obstáculo que se me ha presentado.

Jhomara Salinas.

DEDICATORIA.

Por sus esfuerzos sin límites y el apoyo infinito que siempre me brindan, porque a pesar de la distancia han encontrado la manera de estar junto a mi disfrutando de cada logro y alentándome en cada tropiezo, por que como dice una frase: “La mejor herencia que te pueden dar tus padres es la educación”; por eso y mucho más dedico este trabajo a mis padres aquellas personas excepcionales que me dieron la vida, como una muestra de agradecimiento eterno y de un sacrificio correspondido.

A mi abuela Ana porque a pesar de cualquier adversidad ha sabido encontrar la manera de que yo no fallara y siguiera dando lo mejor de mí, con sus consejos guiándome y demostrándome que nada en la vida es inalcanzable.

Mauricio y Liliana personas claves durante estos últimos cinco años, mis amigos, cómplices y sobre todo mis segundos padres a quienes también les debo tanto y espero de alguna manera poder recompensar cada pequeño y gran detalle que me han brindado sin condición.

Raquel Chica.

AGRADECIMIENTO

Primero quiero agradecer a Dios por brindarme un día más de vida y bendecirme con mi familia y seres queridos tan maravillosos quienes han creído en mí siempre y durante todo este tiempo universitario he tenido la gratitud de conocer a muchas personas valiosas quienes han aportado con cada granito de arena con el objetivo de que yo pudiera culminar esta etapa de mi vida.

Agradezco a la empresa minera ExplorCobres S.A. por haberme apoyado con una beca económica durante mi carrera profesional, quienes han tenido fe en mi persona y han sido de gran ayuda todo este tiempo.

Agradezco a mi tutor de tesis Ingeniero Fernando Valencia por compartirnos sus conocimientos y por habernos tenido toda la paciencia del mundo para apoyarnos y corregirnos cada error cometido durante todo el desarrollo de la tesis.

Finalmente agradezco a Raquel Chica, gracias por haber puesto la confianza en mí y haberme elegido como tu compañera de tesis, nos hemos acompañado en las buenas y malas durante todo este transcurso y para mí será un gusto grato llamarte colega.

Jhomara Salinas.

AGRADECIMIENTO.

A mis seres celestiales que nunca me han abandonado y me bendicen cada día, agradezco por permitirme llegar hasta este día y poderlo compartir con aquellas personas que amo y siempre me apoyan.

A ti Jhomara por escogerme como tu compañera en este proyecto, para dar juntas el gran paso hacia una vida profesional.

A nuestro director de tesis Ing. Fernando Valencia, principalmente por su apoyo, sus consejos y ayudarnos en esta ardua tarea, nos vio comenzar y ahora nos ayuda a culminar una etapa más en nuestras vidas.

Y por último a todas aquellas personas que estuvieron pendientes de mi progreso, brindándome su ayuda y apoyo en aquellos momentos que los necesite.

Raquel Chica

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE ECUACIONES	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii

INTRODUCCIÓN	1
--------------------	---

CAPÍTULO I ESTADO DEL ARTE 4

1.1 Principios de la flotación.....	4
1.2 Variables de investigación	7
1.2.1 Colectores.....	7
1.2.2 pH.....	9
1.3 Variables Operacionales.....	9
1.3.1 Variables que dependen de los componentes químicos	9
1.3.2 Espumantes	10
1.3.3 Modificadores o colectores	10
1.4 Variables que dependen del equipamiento	11
1.4.1 Celdas de flotación	11
1.4.2 Sistema de agitación de la pulpa	12
1.5 Variables que dependen de los componentes de operación.....	12
1.5.1 Granulometría	12
1.5.2 Densidad de la pulpa	13
1.5.3 Tiempos de flotación.....	13
1.5.4 Flujo de aire.....	14
1.5.5 Calidad del Agua.....	14
1.5.6 Temperatura	15
1.5.7 Cinética y Tiempo de Flotación	15

1.5.8 Condición de adhesión	15
1.5.9 Ángulo de contacto	16

CAPÍTULO II PRUEBAS DE LABORATORIO 19

2.1 Caracterización física, química y mineralógica del material.....	19
2.1.1 Preparación mecánica del material.....	19
2.1.2 Análisis Granulométrico	21
2.1.3 Análisis mineralógico.....	23
2.2 Equipos y calibración de Instrumentos.....	24
2.2.1 Máquina de flotación.....	24
2.2.2 Preparación de reactivos	25
2.2.3 Equipos auxiliares	30
2.3 Pruebas de laboratorio	33
2.3.1 Procedimiento	33
2.3.2 Secado del mineral	35
2.3.3 Análisis de concentrados.....	36
2.3.4 Análisis de colas.....	37
2.3.5 Análisis de recuperación	39

CAPÍTULO III DISEÑO EXPERIMENTAL 40

3.1 Análisis de diseño experimental.	40
3.2 Validación de datos.....	40
3.3 Prueba de Hipótesis.....	43
3.3.1 Alternativas de pruebas	44
3.3.2 Errores tipo I y II.....	45
3.3.3 Realización de la prueba de hipótesis	46

CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y RESULTADOS	48
4.1 Modelo de distribución de recuperación de sulfuros.	48
4.2 Discusión de resultados.....	50
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
REFERENCIAS	55
BIBLIOGRAFÍA.....	62
ANEXOS	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Enlaces químico de xantatos.....	8
Figura 1.2 Adhesión de mineral a la burbuja.	10
Figura 1.3 Proceso de flotación en celda Denver.....	12
Figura 1.4 Formación del agregado partícula burbuja.	15
Figura 1.5 Capa límite líquido	16
Figura 1.6 Ángulo de contacto.	16
Figura 1.7 Superficie mojable por agua.	17
Figura 1.8 Superficie mojable por aceite.	17
Figura 2.1 Etapas de conminución.	20
Figura 2.2 Tolva cuarteadora.	21
Figura 2.3 Serie numerada de tamices.	22
Figura 2.4 Celda Denver con sus respectivas partes.	24
Figura 2.5 Espumante ER-370	25
Figura 2.6 Colector xantato amílico de potasio Z-6.....	26
Figura 2.7 Colector ditiofosfato AR-1208.	27
Figura 2.8 Colector ditiofosfato AR-1242	29
Figura 2.9 Potenciómetro S20 Seven Easy TM Ph.	31
Figura 2.10 Probeta graduada.	31
Figura 2.11 Pipeta graduada.....	32
Figura 2.12 Proceso de flotación.....	34
Figura 2.13 Horno en el que se realiza el secado de concentrado.....	35
Figura 2.14 Secado de colas al ambiente	35
Figura 2.15 Modelo de recuperación de mineral de cobre de los tres colectores.	36
Figura 2.16 Modelo de recuperación de mineral de cobre en las colas obtenidas del análisis de datos en EXCEL	37
Figura 3.1 Errores y conclusiones correctas en las pruebas de hipótesis.....	45
 Figura 5.1 Relación recuperación pH, colector 1208, cada punto representa la recuperación de mineral de cobre en cada pH.	 98

Figura 5.2 Relación recuperación pH, colector z6; cada punto representa la recuperación de mineral de cobre en cada pH.	99
Figura 5.3 Relación recuperación pH, colector 1242, cada punto representa la recuperación de mineral de cobre en cada pH.	99
Figura 5.4 Valores mínimos y máximos de recuperación con el colector 1208.	101
Figura 5.5 Valores mínimos y máximos de recuperación colector Z6.	102
Figura 5.6 Valores mínimos y máximos de recuperación colector 1242.	102
Figura 5.7 Representación de la distribución deseada de la recuperación de mineral de cobre con el colector 1208.	105
Figura 5.8 Representación de la distribución deseada de la recuperación de mineral de cobre con el colector 1242.	106
Figura 5.9 Representación de la distribución deseada de la recuperación de mineral de cobre con el colector Z-6.....	108
Figura 5.10 Cuarteo de material.....	109
Figura 5.11 Trituración de material.	109
Figura 5.12 Peso de cal para modificación del pH.....	109
Figura 5.13 Proceso de flotación.....	109

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.1 Densidad de la pulpa.	13
Ecuación 1.2 Balance de fuerzas entre las tensiones superficiales	18
Ecuación 2.1 Relación de dosificación de colector por gramo de material.	27
Ecuación 2.2 Relación de dosificación de colector por gramo de material.	28
Ecuación 2.3 Relación de dilución de colector	28
Ecuación 2.4 Relación de dosificación de colector por gramo de material.	29
Ecuación 2.5 Relación de dilución de colector.	30
Ecuación 2.6 Balance de masas.	38
Ecuación 2.7 Concentrado de cobre en relaves.....	38
Ecuación 2.8 Porcentaje de recuperación de cobre en los concentrados	39
Ecuación 3.1 Media poblacional.	41
Ecuación 3.2 Desviación estándar.....	41
Ecuación 3.3 Coeficiente de variación.....	42
Ecuación 3.4 Determinación de Z.....	47
Ecuación 4.1 Ecuación de la pendiente.....	48
Ecuación 4.2 Pendiente de la recta.....	48
Ecuación 4.3 Punto de intercepción	49
Ecuación 4.4 Y esperada	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Datos de los porcentajes de recuperación de mineral de cobre en los concentrados obtenidos del análisis metalúrgico.	36
Tabla 2.2 Datos de los porcentajes de recuperación de mineral de cobre en los concentrados obtenidos mediante el balance de masas.	37
Tabla 5.1. Análisis granulométrico recopilado en el laboratorio de IEM de la Universidad del Azuay.	64
Tabla 5.2 Análisis químico de cabeza realizado en el laboratorio ALBEXXUS.	64
Tabla 5.3. Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 8 obtenidos del balance de masas.	65
Tabla 5.4. Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 10, obtenidos del balance de masas.	65
Tabla 5.5. Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 10, obtenidos del balance de masas.	66
Tabla 5.6. Concentración y recuperación de Cu, colector-Z6, pH 8, obtenidos del balance de masas.	67
Tabla 5.7. Concentración y recuperación de Cu, colector-Z6, pH 10, obtenidos del balance de masas.	67
Tabla 5.8. Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 9, obtenidos del balance de masas.	68
Tabla 5.9 Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 8, obtenidos del balance de masas.	69
Tabla 5.10. Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 10, obtenidos del balance de masas.	69
Tabla 5.11 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 8, obtenidos del balance de masas.	70
Tabla 5.12 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 9, obtenidos del balance de masas.	70
Tabla 5.13 Concentración y recuperación de Cu, colector-Z6, pH 8, obtenidos del balance de masas.	71
Tabla 5.14 Concentración y recuperación de Cu, colector-Z6, pH 9, obtenidos del balance de masas.	72
Tabla 5.15 Concentración y recuperación de Cu, colector-Z6, pH 9, obtenidos del balance de masas.	72
Tabla 5.16. Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 9, obtenidos del balance de masas.	73

Tabla 5.17 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 8, obtenidos del balance de masas.	74
Tabla 5.18 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 8, obtenidos del balance de masas.	74
Tabla 5.19 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 9, obtenidos del balance de masas.	75
Tabla 5.20 Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 9, obtenidos del balance de masas.	76
Tabla 5.21 Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 10, obtenidos del balance de masas.	76
Tabla 5.22 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 9, obtenidos del balance de masas.	77
Tabla 5.23 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 10, obtenidos del balance de masas.	77
Tabla 5.24 Concentración y recuperación de Cu, colector-Z6, pH 9, obtenidos del balance de masas.	78
Tabla 5.25 Concentración y recuperación de Cu, colector-Z6, pH 10, obtenidos del balance de masas.	79
Tabla 5.26 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 9, obtenidos del balance de masas.	79
Tabla 5.27 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 10, obtenidos del balance de masas.	80
Tabla 5.28 Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 8, obtenidos del balance de masas.	81
Tabla 5.29 Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 10, obtenidos del balance de masas.	81
Tabla 5.30 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 10, obtenidos del balance de masas.	82
Tabla 5.31 Concentración y recuperación de Cu, colector-Z6, pH 8, obtenidos del balance de masas.	83
Tabla 5.32 Concentración y recuperación de Cu, colector-Z6, pH 10, obtenidos del balance de masas.	83
Tabla 5.33 Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 9, obtenidos del balance de masas.	84
Tabla 5.34 Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 8, obtenidos del balance de masas.	85
Tabla 5.35 Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 10, obtenidos del balance de masas.	85

Tabla 5.36 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 8, obtenidos del balance de masas.	86
Tabla 5.37 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 9, obtenidos del balance de masas.	87
Tabla 5.38 Concentración y recuperación de Cu, colector-Z6, pH 8, obtenidos del balance de masas.	87
Tabla 5.39 Concentración y recuperación de Cu, colector-Z6, pH 9, obtenidos del balance de masas.	88
Tabla 5.40 Concentración y recuperación de Cu, colector-Z6, pH 10, obtenidos del balance de masas.	89
Tabla 5.41 Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 9, obtenidos del balance de masas.	89
Tabla 5.42 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 8, obtenidos del balance de masas.	90
Tabla 5.43 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 8, obtenidos del balance de masas.	91
Tabla 5.44 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 9, obtenidos del balance de masas.	91
Tabla 5.45 Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 9, obtenidos del balance de masas.	92
Tabla 5.46 Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 10, obtenidos del balance de masas.	93
Tabla 5.47 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 9, obtenidos del balance de masas.	93
Tabla 5.48 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 10, obtenidos del balance de masas.	94
Tabla 5.49 Concentración y recuperación de Cu, colector-Z6, pH 9, obtenidos del balance de masas.	95
Tabla 5.50 Concentración y recuperación de Cu, colector-Z6, pH 10, obtenidos del balance de masas.	95
Tabla 5.51 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 9, obtenidos del balance de masas.	96
Tabla 5.52 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 10, obtenidos del balance de masas.	97
Tabla 5.53. Porcentaje de recuperación de cobre a partir del colector y pH.....	98
Tabla 5.54 Conjunto de valores de recuperación de acuerdo al colector y pH, obtenidos de los experimentos realizados.	100
Tabla 5.55 Análisis estadístico de recuperación de acuerdo al pH, obtenido con fórmulas estadísticas a partir de los resultados de los experimentos.	100

Tabla 5.56 Análisis estadístico de recuperación de acuerdo al colector, obtenido con fórmulas estadísticas a partir de los resultados de los experimentos.	101
Tabla 5.57 Valores máximo de recuperación colector-pH, obtenidos del análisis estadístico.....	103
Tabla 5.58 Análisis de aceptación de hipótesis.....	103
Tabla 5.59 Tabla datos distribución observa colector 1208, obtenidos de los experimentos.	104
Tabla 5.60 Valores de la pendiente y punto de intersección colector 1208, obtenidos con las respectivas fórmulas.....	104
Tabla 5.61 Datos que debe tomar la distribución deseada colector 1208, obtenidos con las respectivas fórmulas.	104
Tabla 5.62 Tabla datos distribución observa colector 1242, obtenidos de los experimentos.	105
Tabla 5.63 Valores de la pendiente y punto de intersección colector 1242, obtenidos con las respectivas fórmulas.....	106
Tabla 5.64 Datos que debe tomar la distribución deseada colector 1242, obtenidos con las respectivas fórmulas.	106
Tabla 5.65 Tabla datos distribución observa colector Z-6, obtenidos de los experimentos.	107
Tabla 5.66 Valores de la pendiente y punto de intersección colector Z-6, obtenido con las respectivas fórmulas.	107
Tabla 5.67 Datos que debe tomar la distribución deseada colector Z-6, obtenido con las respectivas fórmulas.	107

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos 1.....	64
Anexos 2.....	98
Anexos 3.....	104
Anexos 4.....	109

RESUMEN

Esta investigación define las condiciones de recuperación de mineral de cobre calcopirita (CuFeS_2) por medio del proceso de flotación con la variación de los colectores xantato amílico de potasio Z-6, ditiofosfato AR-1208 y AR-1242 a diferentes pH alcalinos (8, 9, 10) y el resto de variables que lo constituyen se mantienen constantes. Con los resultados obtenidos de cada experimento estadísticamente se desarrolla un modelo de recuperación de sulfuros de mineral de Cobre, donde finalmente la investigación concluye que se obtiene una mayor recuperación con un cierto tipo de colector y a un pH definido.



Tulio Fernando Valencia Guaricela
Director de Trabajo de Titulación



Tulio Fernando Valencia Guaricela
Coordinador de Escuela



Raquel Alexandra Chica Malla

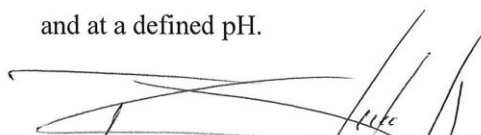


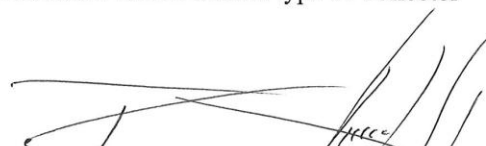
Génesis Jhomara Salinas Vázquez

Autores

ABSTRACT

This research defines the recovery conditions of chalcopirite copper ore (CuFeS_2) by flotation process with a wide range of the following collectors: ammonium xanthate potassium Z-6, dithiophosphate AR-1208 and AR-1242 at different alkaline pH values (8, 9, 10). The other variables of the flotation are kept constant. With the results obtained from each experiment, a sulphide copper ore recovery model was developed statistically. The research concluded that higher recovery is obtained with a certain type of collector and at a defined pH.


Tulio Fernando Valencia Guaricela
Thesis Director

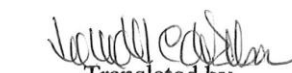

Tulio Fernando Valencia Guaricela
School Coordinator


Raquel Alexandra Chica Malla


Génesis Jhomara Salinas Vázquez

Authors


UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas


Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

Raquel Alexandra Chica Malla

Génisis Jhomara Salinas Vázquez

Trabajo de Titulación

Ing. Tulio Fernando Valencia Guaricela. Msc

Marzo, 2017

**CONCENTRACIÓN DE SULFUROS DE MINERAL DE COBRE
(CALCOPIRITA), MEDIANTE EL PROCESO DE FLOTACIÓN CON LA
VARIACIÓN DEL pH Y TRES TIPOS DE COLECTORES.**

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

“La flotación difícilmente será reemplazada en los próximos años, su relevancia en el procesamiento de los minerales aún no ha sido medida en su verdadera magnitud.” (Manzaneda, 2010).

Esta tecnología ha permitido a la industria minera obtener una mayor recuperación del mineral en bruto, generando ganancias aun cuando la ley del mineral tratado sea baja, sin duda este proceso se ha convertido en el más importante para el tratamiento de los minerales, generando así numerosas investigaciones de las diferentes variables que en él influye, con el fin de lograr una recuperación mayor. En general la flotación es un proceso de separación de minerales, se parte de pulpas acuosas a las que se le adiciona una sustancia química específica (colector) la misma que modifica las propiedades del mineral de interés volviendo a sus partículas hidrófobas, de tal forma que al estar en un medio constituido por agua y aire, las especies hidrófobas rechazan el agua y se adhieran a las burbujas de aire

ascendiendo así a la superficie del líquido, siempre cuando estas tengan una resistencia suficiente para no romperse durante el proceso, las espumas son recogidas en bandejas y secadas para obtener el concentrado, por otro lado las partículas sin modificarse y con una densidad mayor al medio en el que ocurre la separación se hundirían y constituirían las colas.

El desarrollo de este proyecto hace que cada concepto involucrado en la investigación se entienda mejor, siendo los tipos de colectores y el factor pH unas de las muchas variables modificables para obtener una flotación óptima y sobre todo exitosa.

Justificación

La flotación como método de concentración ha abierto nuevas posibilidades y mejorado los resultados tecnológicos, influyendo de manera positiva para el desarrollo de la civilización, además, ha logrado aumentar los procesos de producción haciendo que las leyes altas caigan de manera satisfactoria y las reservas disponibles crezcan, de esta manera aquellos yacimientos que se consideraban desechados por su baja ley hoy se han vuelto explotables.

Los beneficios que representa el proceso de flotación en la industria minera para la recuperación del mineral, ha convertido al mismo en un proceso estándar, las diferentes empresas emplean este proceso con mecanismos similares e igual proporción de cada variable; sin realizar análisis de las propiedades óptimas que requiere la flotación para determinado material.

En base a esto se plantea esta investigación que estudia la relación de dos variables claves en la flotación como es el pH y tipo de colector, que optimice la flotación para un material específico; dado que estos poseen diferentes propiedades físico-químicas según su composición.

Dada la variedad de especies presentes en los minerales y los subproductos que estos traen consigo, la flotación en ocasiones resulta complicada, ya que presentan activación natural por las sales solubles que puede tener el mineral por la presencia de iones metálicos, formación de otros compuestos, entrelazamientos minerales

en granulometrías muy finas y mojabilidad; por lo que se estudia previamente las propiedades de flotación de los minerales.

Alcance

Esta investigación busca determinar un modelo de recuperación de sulfuros, caracterizando un material y definiendo sus variables, para su desarrollo se identificará las características físico-químicas del material, además se definirá la cantidad necesaria de los reactivos como: colectores, espumantes, modificadores y densidad para el proceso de flotación; luego se realizarán los experimentos los mismos que planteamos trabajar modificando dos variables; que son el pH y tres tipos de colector, manteniendo constante el resto de variables que el proceso implica, se espera obtener resultados favorables del concentrado y los relaves, ya que a partir de ellos se realizará un análisis para encontrar su masa y ley de concentrado mediante un balance de masas; los mismos que serán analizados y representados en base a un diseño experimental que nos permitirá saber en qué estado del pH y tipo de recolector se logrará una mejor recuperación de mineral de cobre.

Objetivos

Objetivo general

El objetivo de esta investigación es establecer la relación de colector - pH que optimice la concentración en el proceso de flotación.

Objetivo específicos

- Caracterizar el material para definir los parámetros del proceso de flotación.
- Realizar el experimento, con el cual se obtienen los datos necesarios de la investigación.
- Determinar el modelo de recuperación de sulfuros

CAPÍTULO I

ESTADO DEL ARTE

1.1 Principios de la flotación

La minería es una actividad en donde se ha desarrollado algunos procesos para la obtención del mineral de interés como es la cianuración, tostación y lixiviación.

Después de muchos experimentos en la industria se descubrió que los minerales contienen ciertas características físico-químicas, que mediante la utilización de algunos químicos al mineral de interés se le otorgan características hidrofóbicas, a partir de este descubrimiento en el año 1906 en la industria minera se desarrolló la flotación.

“Las factores químicos incluyen la química interfacial la que involucra las tres fases del sistema de flotación: sólida, líquida y gaseosa. La química interfacial es dependiente de todos los reactivos de flotación usados en el proceso: colectores, depresores, espumantes, activadores y modificadores de pH, la química del agua y la química de los minerales. Los factores físicos, los físico-mecánicos y operacionales incluyen los componentes de los equipos (diseño de la celda, hidrodinámica, configuración y control del banco) y los componentes operacionales (procesamiento, mineralogía, tamaño de las partículas, y densidad de la pulpa)”.

(Diamond Corporacion S.A , 2002)

Con el pasar de los años se continuó desarrollando experimentos en donde los colectores reemplazaron a los aceites siendo estos los primeros colectores en encontrarse (ditiofosfatos y xantatos orgánicos), dando la apertura al uso comercial de otros colectores como: tionocarbamato, tiocarbamato, tiofostato, etc., los cuales ayudaron al mejoramiento de la flotación, donde se ha convertido en un proceso selectivo y rentable, siendo el más efectivo para la recuperación del mineral de interés, además disminuye tiempo y costos. Este método se utiliza para todo tipo de minerales,

especialmente es utilizado para los minerales de sulfuros, cabe recalcar que el proceso de flotación no solo ha sido utilizado en la industria minera sino también en el tratamiento de aguas residuales, el tratamiento de los residuos industriales, etc.

La flotación es una técnica de concentración de minerales en húmedo, en donde se aprovecha las propiedades físicas-químicas superficiales de las partículas para efectuar la selección. Generalmente utilizado para la separación del cobre y molibdeno de otros minerales que conforman la roca.

Este proceso contempla la presencia de tres fases que son: sólida aquí se trata el material que se requiere separar es decir preparar el material de interés para llevarlo a flotación; la líquida es el medio donde se lleva a cabo la mezcla de la pulpa tratada anteriormente con el agua; y gaseosa corresponde al aire inyectado para poder formar las burbujas.

El método de flotación funciona por ejemplo se tiene como material a la calcopirita mediante la flotación se va a concentrar sulfuro de cobre. Una vez de que se tenga claro las características del material, se determina un colector apropiado para que le otorgue características hidrofóbicas al sulfuro de cobre, con la misión de que las partículas de material se peguen a las burbujas que se generan por la agitación de aire con el objetivo de que las mismas salgan a la superficie, por otra parte la ganga tendrá características hidrofílicas precipitándose al fondo del tanque de flotación.

Una vez que las burbujas estén expuestas en la superficie mediante una bandeja se recogen, luego se realiza el secado del mineral, para su posterior análisis químico del cual se obtiene el porcentaje de concentración de mineral de cobre.

Antes de que el material pase a la fase de flotación primero pasa por la fase de conminución en donde se recomienda alcanzar una granulometría de cien micrones, ya que si el tamaño de la partícula es superior tienden a tener mayores posibilidades de una mala adherencia a la burbuja, en cambio si el tamaño de la partícula es demasiada fina no tienen suficiente impulso para producir un encuentro efectivo entre partícula y burbuja, por siguiente se adiciona reactivos químicos con el fin de modificar las propiedades de determinados minerales.

También hay que tomar en cuenta las propiedades del mineral a recuperar ya que si tienen propiedades hidrofílicas es necesario convertirlos a hidrofóbicas, debido a que en su estado original dificultan el sistema, es decir tienden a no adherirse a las burbujas de aire por ende no salen a la superficie y su recuperación sería fallida. (Cuadra, 2016)

Cabe comprender que los minerales hidrofóbicos también son aerofílicos, es decir, tienen una gran afinidad por las burbujas de aire, mientras que los minerales hidrofílicos también son aerofóbicos, o sea, que estas tienen una gran dificultad de adherirse a las burbujas.

Minerales hidrofóbicos: son aquellos que no son mojables o poco mojables por el agua, haciendo que evite el mojado de las partículas con el fin de que estas se adhieran a las burbujas y puedan subir a la superficie. Entre los hidrofóbicos naturales tenemos los metales nativos, sulfatos metales o especies tales como grafito, talco, carbón bituminoso, etc.

Minerales hidrofílicos: son aquellos que son mojables por el agua, haciendo que los minerales se mojen para que permanezcan en suspensión en la pulpa para finalmente hundirse, por lo general estos suelen ser el material estéril o la ganga. Los hidrofílicos son los minerales que son óxidos, sulfatos, silicatos, carbonatos y otros.

Para un óptimo proceso de flotación hay que tomar en cuenta las siguientes variables.

- Variables que dependen de los componentes químicos:
 - Colectores
 - Espumantes
 - Activadores
 - Modificadores del pH
- Variables que dependen del equipamiento
 - Diseño de la celda convencional
 - Diseño de la columna
 - Agitación de pulpa (RPM)
 - Remoción de la espuma
- Variables que dependen de los componentes de la operación
 - Velocidad de alimentación
 - Tiempo de retención

- Mineralogía y ley de la mena
- Granulometría
- pH natural del mineral
- Densidad de la pulpa
- Temperatura
- Flujo de aire

1.2 Variables de investigación

1.2.1 Colectores

El uso de colectores es uno de los procesos más importantes de la flotación, ya que un simple cambio de tipo de colector o pH de la flotación puede provocar grandes diferencias en la efectividad de recuperación.

Para determinar el colector que se utilizará durante la flotación primero hay que conocer las características en las que se encuentra el mineral de interés en este caso el Cobre ya que este se puede presentar como metálico, sulfuros y oxidados, además se tiene que conocer las asociaciones o la ganga con lo que se encuentra. Después de varios experimentos se ha descubierto que la unión o combinación de dos o varios colectores optimiza el proceso de flotación.

Son utilizados para aumentar el ángulo de contacto entre el sistema y sus tres fases. Además los colectores son utilizados generalmente con el fin de otorgar características hidrofóbicas al mineral de interés (cobre).

Existen varios tipos de colectores que son utilizados dependiendo del mineral que se requiera separar.

- Colectores oxhídricos: generalmente son usados en la flotación de minerales oxidados, sales y no metálicos. Cuando se trata de sulfuros este colector, en cambio, provoca que no exista una buena flotación.
- Colectores catiónicos: son usados en los minerales de talco, micas, y en la flotación de sales solubles, cabe recalcar si existe una presencia de lamas la flotación puede bajar su efectividad en la recuperación.

- Colectores sulfhídricos: Cuando se trata de la flotación de sulfuros estos normalmente son fáciles de flotar siempre y cuando no se dé la oxidación.

Unos de los colectores más usados suelen ser: xantatos, ditiofosfatos, etc.

Una cantidad excesiva de colector haría que flotaran incluso los materiales no deseados (piritas y rocas).

Cuando se tiene sulfuros de cobre estos suelen estar relacionados como;

- Cobre.
- Cobre, zinc, hierro, plomo,
- Cobre, molibdeno.
- Cobre, níquel.

Con minerales de sulfuros como colectores principalmente se usan los xantatos, o los diésteres como los alquil-ditiofosfatos.

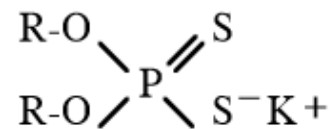


Figura 1.1 Enlaces químico de xantatos.

Fuente: (Guedez, Salaguer, & Forgiarini, 2007).

“Actualmente no se sabe muy bien cuál es el mecanismo fundamental, pero existe aparentemente una quimi absorción del xantato por interacción del ion sulfuro y del metal que reemplaza un enlace roto durante la molienda; una quimisorción, se trata de un enlace muy fuerte, y por lo tanto el equilibrio de adsorción está muy desplazado”. (Guedez, Salaguer, & Forgiarini, 2007)

En nuestro caso se utilizarán colectores sulfhídricos para realizar la separación del cobre de la ganga.

1.2.2 pH

El pH es la condición de acidez en la que se encuentra una disolución acuosa como es la pulpa, varía en una escala de 0 a 14; se considera ácida cuando su pH es menor de siete, neutra cuando es igual a siete, y alcalina cuando es mayor a siete, en flotación es la variable de control más utilizada ya que resulta fundamental en la recuperación y selectividad, así como en la depresión de minerales, por lo que su modificación es una estrategia para una excelente recuperación.

Interpretado como concentración en una pulpa hace que en el proceso de flotación los iones indicados tengan movilidad y compitan por las superficies minerales con otros iones, además la concentración de ellos influye fuertemente en la disociación de otras sales, en el intercambio iónico entre distintas materias, etc., (Sutulov, 1963)

Generalmente cuando se realiza un proceso de flotación se suele trabajar con un pH natural o en un circuito alcalino dentro de un rango de 9,5 a 11,5 este pH puede ser modificado con cal, lechada de cal o ácido sulfúrico dependiendo del estado que se quiera obtener.

La calcopirita tiene una flotación natural, pero esta depende del potencial de oxidación y del pH de la pulpa.

La descomposición es rápida a pH inferior a 7 y disminuye a medida que aumenta el pH. La tasa de descomposición a un pH de 6 es aproximadamente el doble de la tasa a un pH de 8.

1.3 Variables Operacionales

1.3.1 Variables que dependen de los componentes químicos

Están conformados por:

- Espumantes
- Modificadores o colectores

1.3.2 Espumantes

Son sustancias tenso-activas, compuestas de una parte apolar (hidrofílica) básicamente una cadena hidrocarbonada que se orienta hacia el lado del agua y una parte polar (hidrofóbica) que es un grupo OH y se orienta hacia el lado del aire.

Los espumantes forman una capa adsorbida alrededor de las burbujas de aire que se forman en la pulpa, dando consistencia y evitando la coalescencia con el fin de que estas no revienten al momento de salir a la superficie. La fase líquida de la pulpa eleva la resistencia mecánica de las burbujas, aumentando la adherencia de las partículas de mineral flotante y dando estabilidad a las capas de espuma que contiene el mineral enriquecido captado por las burbujas.

La utilización correcta de espumante mejora la cinética de flotación, recuperación y la selectividad, dado que la espuma tiene la misión de transportar el mineral de interés hacia la superficie además permite el drenaje de las partículas arrastradas en la ganga. En este proceso influye el tipo de celda de flotación, la granulometría del mineral y el material que se va a separar.

En las pruebas de laboratorio se recomienda una altura de espuma de 1.5 a 3 cm.



Figura 1.2 Adhesión de mineral a la burbuja.

Fuente: (Sutulov, 1963)

1.3.3 Modificadores o colectores

Los modificadores son agentes que sirven para controlar y modificar el comportamiento de los minerales durante su proceso de flotación, tiene como objetivo impedir la flotabilidad de una sustancia no deseada, permitiendo separar la deseada de un componente.

Pueden clasificarse en diferentes tipos de agentes, según la conveniencia:

- **Activadores:** Son compuestos inorgánicos que le dan al sólido propiedades aerofílicas, son empleados como activadores y para hacer flotar minerales que resulta imposible o difícil que floten solo con espumantes y colectores.
- **Depresores:** Son reactivos químicos orgánicos o inorgánicos, que funcionan de forma contraria al de los activadores, ya que producen propiedades aerofóbicas y separa un mineral de otro cuando las propiedades de flotación son similares. Entre estos tenemos los sulfuros de sodio, bisulfito de sodio, sulfato de zinc.
- **Reguladores del medio y dispersantes:** Controla la alcalinidad y acidez durante el proceso de flotación, generalmente se utiliza circuitos alcalinos.

1.4 Variables que dependen del equipamiento

1.4.1 Celdas de flotación

En el transcurso del tiempo han existido varias celdas de flotación ya sean de sección rectangular o cilíndrica, con la finalidad de que mediante este instrumento se pueda tener un flujo de pulpa homogéneo.

En la actualidad existen dos tipos de flotación:

- **Flotación mecánica:** la introducción de aire es por aspiración, debido a la acción propia que tiene el agitador, este a su vez tiene forma de hélice produciendo una flotación casi perfecta de no ser por las espumas un poco impuras.
- **Flotación neumática:** se caracteriza porque la aireación se realiza vía aire comprimido, a través de un inyector o soplador, el aire introducido en la celda cumple la función de agitar, producir espumas y airear la pulpa, por lo que la cantidad de aire en exceso crea una desventaja en relación a otras máquinas de flotación.

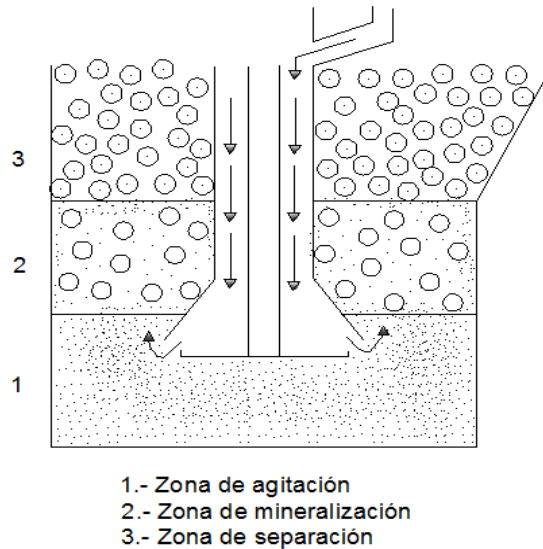


Figura 1.3 Proceso de flotación en celda Denver.

Fuente: (Mendieta & Vizhñay, 1998)

1.4.2 Sistema de agitación de la pulpa

Se caracteriza por el uso de recirculación homogénea de la pulpa a través de su impulsor lo que le permite tener una auto-aireación, evitando problemas de aireamiento, zonas muertas y el uso de bombas para el manipuleo de concentrados y relaves.

1.5 Variables que dependen de los componentes de operación.

1.5.1 Granulometría

La granulometría hace referencia al tamaño óptimo de la partícula al cual el proceso de flotación se vuelve más efectivo, cuando una partícula se presenta muy fina o muy gruesa esta pierde impulso para unirse a una burbuja, por lo que se toma como referencia un tamaño estándar, que varía entre cuarenta y cien micrones para diferentes tipos de materiales. Para la calcopirita como material de estudio y de acuerdo a experimentos relacionados con el tema, han encontrado que su tamaño debe variar entre cincuenta y ciento cincuenta micrones. Varios autores coinciden que la granulometría afecta los aspectos físicos de adhesión, impacto y separación entre las partículas y las burbujas. (Baraona, 2007).

1.5.2 Densidad de la pulpa

Cuando se trata de la densidad de la pulpa en la flotación se procurará trabajar con un porcentaje óptimo establecido en todo el proceso, tomando en cuenta el tamaño de la celda en la que se vaya a trabajar. Además depende del tamaño granulométrico del rebalse del clasificador, al aumentar el porcentaje de sólidos el producto va a ser más grueso y al disminuir va a ser más fino.

En la densidad de la pulpa hay que tomar en cuenta la viscosidad de la pulpa. Por ejemplo, si se tiene una alta viscosidad esta impide la dispersión del aire por ende no permite la formación de la burbuja deseada, teniendo como resultado una recuperación negativa.

La pulpa mineral es una mezcla de lo sólido con el líquido (agua), donde se tiene que la densidad de pulpa es igual a:

$$\frac{100}{\rho \text{ pulpa}} = \frac{\% \text{ peso}}{\rho \text{ sólido}} + \frac{100 - \% \text{ peso}}{\rho \text{ agua}}$$

Ecuación 1.1 Densidad de la pulpa.

Fuente: (Flores, 2007)

1.5.3 Tiempos de flotación

Este depende principalmente del diseño del circuito de flotación, porcentaje de sólidos, volumen de pulpa, tipo de mineral, entre otros factores; hace referencia al tiempo promedio que una solución acuosa permanece en una celda para su procesamiento, es decir desde el momento en que se empieza a homogenizar la pulpa hasta cuando se acaba de recoger las espumas de flotación; la recuperación deseada depende de que este tiempo sea el adecuado.

Se divide en:

- **Tiempo de acondicionamiento**

Es el tiempo que la pulpa permanece en agitación hasta que los activadores operen, los colectores de cinética de absorción se introducen ya sea en el molino o al final del proceso de molienda, mientras que los colectores solubles

que son los que se utilizaron en nuestro proyecto se aplica directamente en el proceso de flotación.

- **Tiempo de retención**

Es el tiempo en el que se lleva a cabo la recolección de las burbujas del proceso de flotación, terminado este tiempo se obtiene el concentrado de cobre y su respectivo relave.

1.5.4 Flujo de aire

El flujo de aire en la flotación es de gran importancia ya que influye en el proceso de recuperación del mineral de interés. Cuando se encuentre el flujo de aire necesario la recuperación del mineral flotado será mejor, mientras que si se excede con el flujo de aire este perjudicará en la recuperación ya que genera turbulencia, arrastre y pérdida de la interfase.

La introducción de gas necesario en un proceso de flotación se puede dar por medio de un impulsor mecánico o un impulsor giratorio. Cuando los volúmenes a procesar son grandes es necesario grandes cantidades de aire, por lo que se expone al aire bajo presiones de 2.5 lb/plg² manométricas.

La flotabilidad por medio de las burbujas puede darse de dos formas:

- El aire puede ser atrapado físicamente en los agregados floculados de las partículas.
- El aire puede ser atraído por fuerzas interfaciales y adherirse a las partículas.

El flujo de aire genera también un sistema de tres tensiones, las mismas que ejercen efectos determinantes sobre la magnitud del ángulo de contacto de estas, mientras más grande el ángulo, mayor tendencia a adherirse a las partículas, estas tensiones son:

- Tensión sólidos-gas
- Tensión sólido-líquido
- Tensión gas-líquido

1.5.5 Calidad del Agua

La calidad de agua de un lugar a otro o entre una planta y otra puede cambiar notoriamente. En metalurgia es de gran importancia usar la misma calidad de agua en

el proceso de flotación ya que las sales solubles que contiene el agua puede afectar la estructura o consumo de algunos reactivos o espumantes.

1.5.6 Temperatura

En el proceso de flotación la temperatura es un punto clave en algunas separaciones de sulfuros, es recomendable mantener constante el uso de agua de proceso a temperatura ambiente.

1.5.7 Cinética y Tiempo de Flotación

No se tiene planteado un tiempo de flotación a seguir sino más bien este es determinado mediante algunos experimentos que se hace en las pruebas de flotación. El concentrado de cobre se retira en ciertos intervalos de tiempo, luego estos resultados obtenidos mediante el uso de pesos se realiza un análisis químico para obtener el porcentaje de concentrado de cada intervalo, posteriormente se representa gráficamente como recuperación acumulada versus tiempo de flotación acumulado, estos resultados son usados como guía para los siguiente procesos de flotación.

Cabe recalcar que el uso de colectores, espumantes y el aire son de gran influencia en la cinética de flotación.

1.5.8 Condición de adhesión

La energía de Gibbs, es la energía necesaria para lograr unir una partícula a la burbuja.

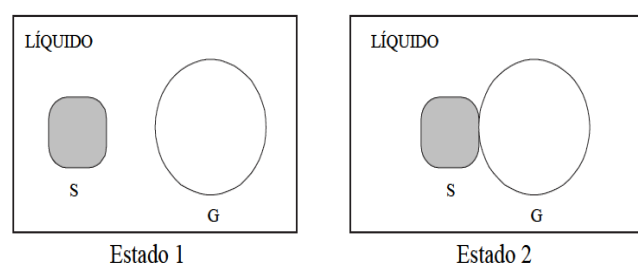


Figura 1.4 Formación del agregado partícula burbuja.

Fuente: (Flores, 2007)

Donde,

S= Partícula mineral

G= burbuja

Para dicha formación se debe romper la capa de líquido existente entre la partícula y la burbuja.

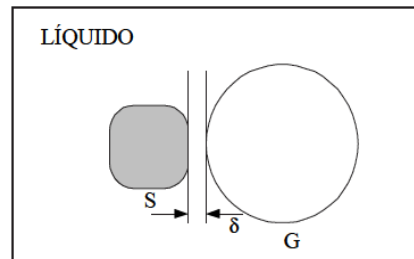


Figura 1.5 Capa límite líquido

Fuente: (Flores, 2007)

1.5.9 Ángulo de contacto

El ángulo de contacto es desarrollado por las fuerzas de tensión que se generan entre la superficie mineral y la superficie burbuja.

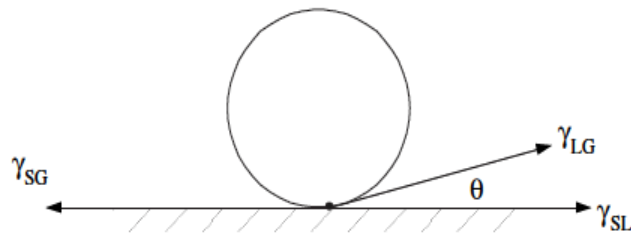


Figura 1.6 Ángulo de contacto.

Fuente: (Flores, 2007)

Cuando se tiene el mineral (sólido) en contacto con el agua, aire o el colector, se puede definir la mojabilidad del sólido respecto a uno de los dos fluidos. Si la superficie sólida es hidrófoba mediante el uso del colector y adicional se introduce burbujas de aire, el sólido se adhiere o penetra a la burbuja para salir a la superficie dejando atrás al agua.

En flotación el ángulo de contacto es un parámetro muy importante, mediante el mismo se puede determinar si se tiene una superficie hidrófila o hidrófoba.

La superficie es hidrófila o hidrofílica, cuando el ángulo de contacto con el agua, es inferior a 90° .

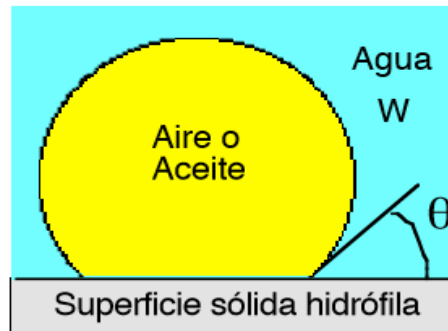


Figura 1.7 Superficie mojabable por agua.

Fuente: (Guedez, Salaguer, & Forgiarini, 2007)

La superficie sólida es hidrófoba, cuando el ángulo de contacto con el agua es mayor a 90° o a su vez es cuando el ángulo de contacto con el aire o con el colector es menor a 90° .

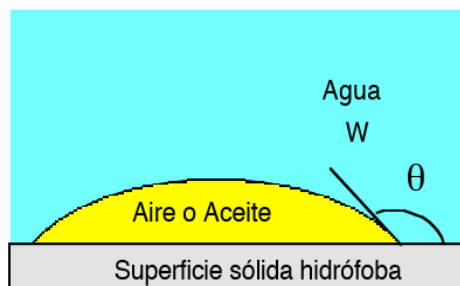


Figura 1.8 Superficie mojabable por aceite.

Fuente: (Guedez, Salaguer, & Forgiarini, 2007)

Mediante un balance entre las tensiones superficiales se encuentra el ángulo de contacto óptimo para que se produzca una excelente adhesión de la partícula de sólido a burbuja.

$$\gamma_{SG} = \gamma_{SL} + \gamma_{LG} * \cos \theta$$

Ecuación 1.2 Balance de fuerzas entre las tensiones superficiales

Fuente: (Flores, 2007)

Donde,

γ_{SG} = Tensión superficial de sólido (mineral) y gas (burbuja)

γ_{SL} = Tensión superficial de sólido (mineral) y líquido (agua)

γ_{LG} =Tensión superficial de líquido (agua) y gas (burbuja)

θ = Ángulo de contacto.

CAPÍTULO II

PRUEBAS DE LABORATORIO

2.1 Caracterización física, química y mineralógica del material.

2.1.1 Preparación mecánica del material

La preparación mecánica del material de las muestras se presenta en el esquema 1.1. El esquema muestra los procesos que permiten dejar al material en las condiciones óptimas para los análisis químico, densimétrico y granulométrico.

ESQUEMA 2.1

- Material de Mina
- Secado al Ambiente
- Conminución
- Cuarteo

2.1.1.1 Material de mina

El material corresponde al importante distrito minero de Zaruma – Portovelo, es de tipo polimetálico y de origen hidrotermal, en el cual se encuentra oro, plata, cobre, plomo, zinc y cadmio, se habla de una intrusión subaflorante la que fue la fuente de los fluidos mineralizantes.

En esta área además afloran rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias de edad precámbrica-paleozoica inferior hasta cuaternaria. Su rasgo más importante lo constituye la gran falla regional de Portovelo que separa las rocas volcánicas cretácicas de la formación Célica de las rocas metamórficas de la Serie Tahuín, así también constituye el límite sur de la mineralización del distrito minero de Portovelo (Zamora & Nicolalde, 1980).

2.1.1.2 Secado al Ambiente

Una vez obtenido el material se dejó reposar por algunos días hasta que el material se seque natural o ambientalmente.

2.1.1.3 Conminución

El objetivo de la conminución es reducir la granulometría de cierto material hasta el tamaño requerido, en el proceso de flotación es necesario que la muestra pase más del 50% por la malla #200.

La dimensiones del material empleado en este proyecto para el proceso de flotación sobrepasa con mucho las características óptimas en cuanto a granulometría por lo que fue necesario emplear una trituradora de mandíbulas como el primer medio del proceso de conminución, que con dimensiones de 21/47x31/2, permite triturar partículas de entre 4" – 5", dando un producto aproximado de 1/8" (tres a cuatro milímetros).

Aun cuando la granulometría ha sido reducida considerablemente el material obtenido de la trituradora de mandíbulas no es el adecuado para el proceso, por esta razón el material pasa a un molino de rodillos que muele las partículas de hasta 1" - 2", saliendo este con una dimensión aproximada de 0,3".

De la molienda anterior obtuvimos un pasante del 11,11% de todo el material, por lo que es necesario reducir aún más su granulometría para cumplir con la condición de que el material debe pasar el 50% por la malla #200, debido a esto finalmente se utiliza una pulverizadora, la misma que reduce el material a partículas micrométricas, logrando que el porcentaje de material pasante sea de 68%.

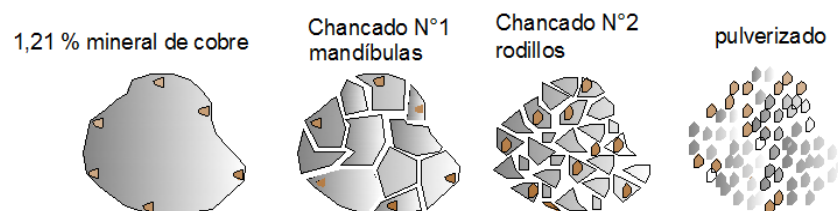


Figura 2.1 Etapas de conminución.

2.1.1.4 Cuarteo del material

El cuarteo del material consiste en obtener una muestra pequeña, que sea representativa del total de la muestra inicial.

Para lo cual se homogenizó previamente el material molido, esto se logró haciendo un roleo hasta que todo el material se mezcle, se apiló de forma cónica a través de una pala y con la misma se dejó caer paladas de material sobre la punta del cono, haciendo varias repeticiones.

El cuarteo en si fue mecánico, se introdujo el material en el cuarteador por medio de una tolva de manera uniforme, para que al momento de verter el material por los conductos la cantidad de las muestras sean próximas, esto se realizó a una velocidad que permitió tener un flujo constante en los conductos que llevan el material a los receptáculos; el material se dividió en 43 muestras de 300g, cada una en una bolsa plástica.



Figura 2.2 Tolva cuarteadora.

2.1.2 Análisis Granulométrico

Los materiales que tienen una forma regular es posible medir su dimensión dado que algunos cuerpos se pueden definir por su radio o por la longitud de su arista como es en el caso del cubo. En cambio en los cuerpos irregulares como son nuestras muestras de material de mina es imposible medir sus dimensiones, por lo que se identifican con una dimensión conocida como diámetro nominal (d_n). En la práctica para establecer su diámetro nominal se realiza mediante tamices, el diámetro se da en porcentajes ya

que no es posible determinar el tamaño de cada partícula, para obtener un resultado significativo la muestra pasante debe ser representativa (Mendieta & Vizhñay, 1998).

La función de los tamices es cuantificar el tamaño de la muestra, para realizar esto el mineral se hace pasar por una columna de tamices normalizados y numerados, dispuestos de mayor a menor tamaño.



Figura 2.3 Serie numerada de tamices.

Obteniendo así el análisis granulométrico, al final se podrá saber el porcentaje de material que pasa dado tamiz y el porcentaje de material que queda retenido en el mismo.

En el análisis granulométrico que corresponde a este proyecto se analizó en una muestra de 500 gr, determinando una granulometría de 0,0029 micrones aproximadamente dado que el pasante de la muestra es del 68 % a través de la malla #200.

Basados en otros estudios de flotación se considera que la granulometría es óptima ya que para este proceso se requiere tener por lo menos un pasante de 50% por una malla #200.

Observar los resultados del análisis granulométrico en Anexos 1, Tabla 5.1

2.1.3 Análisis mineralógico

Se realiza en dos casos, el primero es un conocimiento integral de la cantidad de minerales que constituyen una mena, el cual servirá para la elección de un adecuado tratamiento metalúrgico; y el segundo es el análisis de concentrados y colas producidas por una planta metalúrgica este proporciona la información referente al grado de pureza de los concentrados. En este proyecto se hizo los dos tipos de análisis, el primero fue para saber el porcentaje de mineral de cobre que contenía el material antes del proceso de flotación y el segundo para saber el porcentaje de mineral de cobre que se logró recuperar en cada experimento. Su procedimiento se narra a continuación.

Se parte del análisis de cabeza del material en donde se conoce sus propiedades químicas, el porcentaje de cada mineral que constituye a la pulpa.

Para realizar este análisis primero se pesa entre 0,20 a 0,5gr de la muestra, luego se adiciona ácido nítrico (HNO_3) de 68%. Una vez adicionado este se le cubre con la luna de reloj para entonces colocarlo en el vaso de precipitados.

Después el vaso de precipitados se le introduce en una plancha de calentamiento a 120 grados centígrados, por un lapso de tiempo de 30 minutos, posteriormente se adiciona una pizca de clorato de potasio (KClO_3) y la temperatura se sube a 150 grados centígrados hasta que hierva la solución. En seguida se apaga la plancha y se lava las paredes del vaso con una peseta que contenga ácido clorhídrico (HCl) al 10%. Finalmente se lo vierte en una fiola de 100 ml.

El análisis de cabeza es un proceso fundamental para saber la concentración del mineral de interés como es en nuestro caso el mineral de cobre, para saber si es factible o no, mediante el proceso de flotación de cobre se obtiene un concentrado del mismo con una ley económicamente rentable, por otro lado el material de mina está conformado por algunos minerales como es el oro, plata y cobre, por lo que se realiza este análisis con el fin de obtener la concentración de cada mineral. En conclusión la concentración de mineral de cobre en este material es óptima para obtener un concentrado. Observar los resultados en Anexos 1, Tabla 5.2.

2.2 Equipos y calibración de Instrumentos

2.2.1 Máquina de flotación

La celda de flotación con la que se trabaja es una celda DENVER siendo una de las más utilizadas en los laboratorios para los experimentos de flotación pueden ser de bancos de flujo abierto o estar divididos en celdas. Son de tipo mecánico, versátil para modificar circuitos y mantener una recirculación homogénea de la pulpa a través del impulsor.

Estas a su vez se subdivide en: celdas sub-aireadas o auto-aireadas y en celdas de aireación forzada, pero la celda DENVER con la que se va a trabajar es una celda auto-aireada.

- Celdas auto-aireadas, el mecanismo de agitación (dispersor-difusor) sirve también para aspirar y dispersar el aire en la pulpa, el cual es necesario para la flotación. Por lo tanto, para medir o controlar el volumen necesario de aire, estas celdas poseen una válvula reguladora de acción manual o automática.



Figura 2.4 Celda Denver con sus respectivas partes.

Para una buena flotación hay que tomar en cuenta la capacidad de la Celda de Flotación, para así tener una alimentación constante con el porcentaje necesario de mineral, líquido y los reactivos.

2.2.2 Preparación de reactivos

Uno de los puntos básicos de la flotación es el uso de los reactivos, en cuanto a la cantidad y el tiempo indicado de usar los mismos, por tal motivo se calculó las dosis correctas y exactas de los reactivos empleados en la flotación, por ende en cada experimento se agregará la misma cantidad determinada a cada uno de los colectores y espumante.

2.2.2.1 Espumante

ER-370

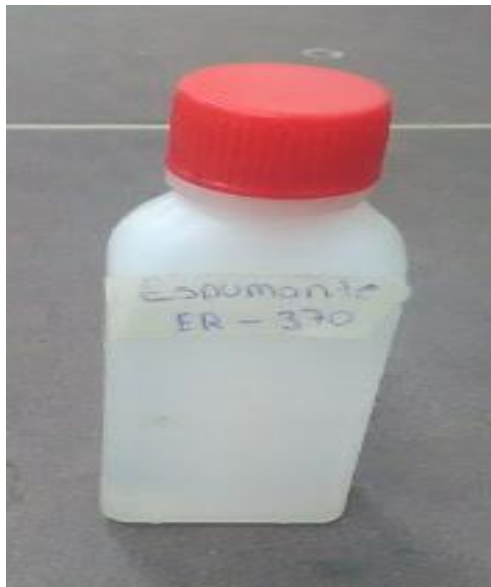


Figura 2.5 Espumante ER-370

Tiene propiedades de selectividad por lo que se puede usar en circuitos de flotación de Pb, Cu y Zn.

Este reactivo se agrega puro es por eso que para el proceso de flotación se adicionará solamente gotas, al poner demasiado espumante, las espumas empiezan a arrastrar tanto ganga como material valioso.

2.2.2.2 Colectores

XANTATO AMILICO DE POTASIO Z-6

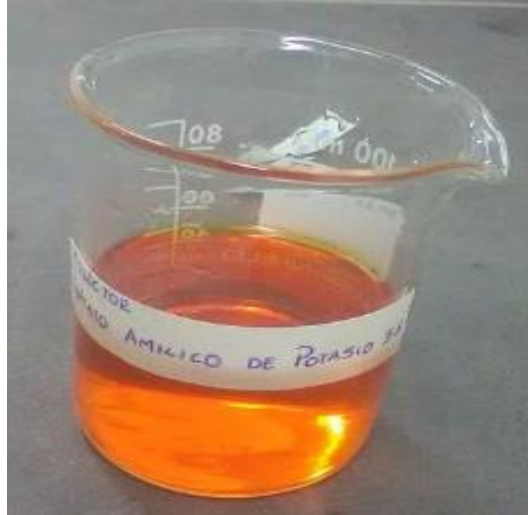


Figura 2.6 Colector xantato amílico de potasio Z-6.

Su principal uso es en la flotación de minerales sulfurosos de cobre, plomo, zinc, hierro, etc. El xantato Z6 es fabricado con materias primas de alta pureza y exentos de sustancias que interfieran con las propiedades colectoras del xantato, debido a esto, la pureza mínima es de 90% de xantato activo. Generalmente este Xantato es aplicable en operaciones que requieren o necesitan el más alto grado de poder colector.

Es un reactivo soluble en agua tiene un color marrón y fuerte de poder de colector y acción rápida, general mente se debe agregar en la etapa de acondicionamiento cuando el pH ya este regulado debido a que tiene tendencia a descomponerse en medios ácidos, su preparación es una relación 10/100, es decir 10g de reactivo en 100ml de agua.

El Xantato amílico de potasio z-6 no es espumante y por lo tanto pueden emplearse sin el peligro de producir espumación excesiva.

Mediante este cálculo se determinó la cantidad de Xantato necesario o recomendable para llevar a cabo los experimentos de Flotación de Sulfuros.

$$\frac{50 \text{ gr}}{\text{ton}} * \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} * 0.30 \text{ kg} = 0.015$$

Ecuación 2.1 Relación de dosificación de colector por gramo de material.

Fuente: Laboratorio ALBEXXUS. Álvarez, P.

En donde:

50gr= la dosificación del reactivo

0,30kg= cantidad de pulpa

10 gr

100ml

0,015 gr

X= 0,15 ml de Z6

DITIOFOSFATO AR-1208



Figura 2.7 Colector ditiofosfato AR-1208.

Es usado generalmente en la flotación de minerales de oro, plata y cobre. Tiene una apariencia líquido amarillo, pH desde el 10 hasta el 13. Este colector es soluble en agua por lo que es más fácil en su manejo y en la alimentación para el proceso de

flotación, además puede ser empleado puro pero para su mayor facilidad de manejo es preferible su disolución que podría ser del 10% al 20%.

El DITIOFOSFATO AR-1208 no tiene propiedades espumantes, para el desarrollo de la tesis se trabajará con este colector disuelto al 10%, cabe recalcar que la cantidad de los reactivos serán los mismos en cada experimento, mediante la utilización de fórmulas se encontró la cantidad óptima de colector para nuestro proceso de flotación.

$$\frac{30 \text{ gr}}{\text{ton} * \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}}} * 0.30 \text{ kg} = 0.009$$

Ecuación 2.2 Relación de dosificación de colector por gramo de material.

Fuente: Laboratorio ALBEXXUS. Álvarez, P

En donde:

30gr= la dosificación del reactivo

0,30kg= cantidad de pulpa

$$\frac{10 \text{ ml}}{100 \text{ ml}} * \frac{9,5 \text{ gr}}{100 \text{ ml}} = 0,95 \text{ gr/ml}$$

Ecuación 2.3 Relación de dilución de colector

Fuente: Laboratorio ALBEXXUS. Álvarez, P.

$$10 \text{ ml} * 0,95 \text{ gr/ml} = 9,5 \text{ gr}$$

$$\frac{9.5 \text{ gr}}{100 \text{ ml}}$$

$$0,009 \text{ gr} \quad \underline{X = 0,09 \text{ ml de AR 208}}$$

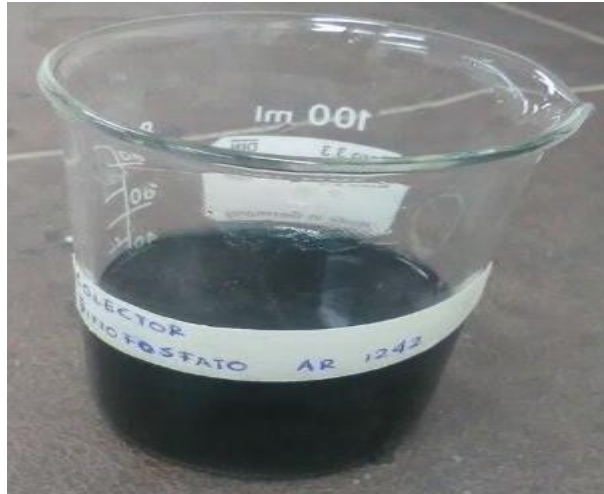
DITIOFOSFATO AR-1242

Figura 2.8 Colector ditiofosfato AR-1242

Su principal uso es en la flotación de sulfuros de cobre y plomo. Es soluble en agua y se le prepara a un 10% de concentración mínima y tiene una apariencia marrón oscuro a negro.

Tiene características débiles de espumación y puede ser agregado por etapas en la flotación para promover una mejor selectividad empezando en el acondicionamiento, se puede emplear tanto en forma pura como en solución, dependiendo de la cantidad requerida para la flotación.

El colector ditiofosfato AR 242, mejora las condiciones de flotación en un pH natural o ligeramente alcalino hasta un pH de 8,5.

$$\frac{50 \text{ gr}}{\text{ton} * \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}}} * 0.30 \text{ kg} = 0.015$$

Ecuación 2.4 Relación de dosificación de colector por gramo de material.

Fuente: Laboratorio ALBEXXUS. Álvarez, P.

En donde:

50gr= la dosificación del reactivo

0,30kg= cantidad de pulpa

$$\frac{10 \text{ ml}}{100 \text{ ml}} * \frac{9.5 \text{ gr}}{100 \text{ ml}} = 0.95 \text{ gr/ml}$$

Ecuación 2.5 Relación de dilución de colector.

Fuente: Laboratorio ALBEXXUS. Álvarez, P.

$$10 \text{ ml} * 1,13 \text{ gr/ml} = 11,3 \text{ gr}$$

$$11,3 \text{ gr} \qquad 100\text{ml}$$

$$0,015 \text{ gr} \qquad \underline{X= 0,13 \text{ ml de AR 242}}$$

2.2.3 Equipos auxiliares

2.2.3.1 Potenciómetro

La función de este instrumento es determinar el número de pH en el que se encuentra cada muestra.

El potenciómetro es un analizador de pH, se utiliza para determinar la concentración de iones del gas hidrógeno [H⁺] en una disolución. Este equipo permite realizar mediciones de la acidez de una solución acuosa. El equipo utilizado es S20 SevenEasyTM pH.

El método de calibración consiste en referenciar mediante tres buffer de pH 4.00, 7.00 y 10.00; se realiza la respectiva medición con cada uno de ellos y para verificar la calibración se realiza las lecturas de las soluciones de referencia en el modo pH.



Figura 2.9 Potenciómetro S20 Seven Easy™ Ph.

2.2.3.2 Probeta

Es un instrumento volumétrico, que facilita medir volúmenes superiores y más rápidamente que una pipeta.

No necesita calibración, pero debe limpiarse cada vez que se vaya a utilizar, se empleó para la medición de 700ml de agua de río que necesitaba cada muestra para que se dé el proceso de flotación.

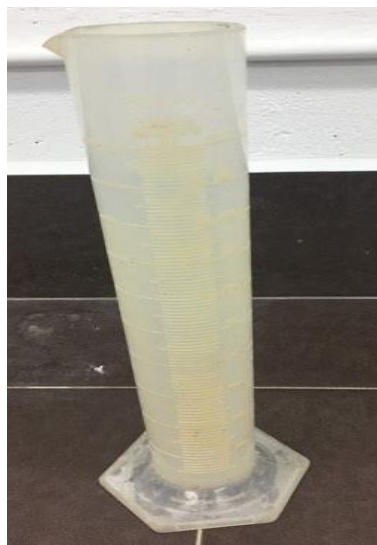


Figura 2.10 Probeta graduada.

2.2.3.3 Pipetas graduadas

Permite la transferencia de volumen de un recipiente a otro en forma exacta, al igual que las probetas no necesitan calibración pero si ser limpiadas para evitar la contaminación de experimentos.

Se utilizan para medir la cantidad necesaria de colectores y espumantes empleados en cada proceso de flotación.



Figura 2.11 Pipeta graduada.

2.2.3.4 Espátulas y bandejas

La espátula es un instrumento plano metálico, se utiliza para la recolección de espumas (concentrado) producto del proceso de flotación,

Se trabaja con dos tipos de bandejas metálicas y plásticas.

En las bandejas metálicas se vacía las espumas que contienen concentrado y posteriormente se realiza el secado en el horno.

Bandejas plásticas tienen un tamaño más grande en comparación con las bandejas metálicas, en las bandejas plásticas se deposita el producto restante del proceso de flotación generalmente conocido como colas, para el secado al ambiente.

2.2.3.5 Pesetas

Son botellas plásticas en nuestro caso utilizadas para el almacenamiento de agua destilada, el mismo que por su tapa rosca con un pequeño tubo permite la fácil limpieza de los instrumentos utilizados durante los experimentos.

2.3 Pruebas de laboratorio

2.3.1 Procedimiento

A través de la flotación se logra la recuperación de los metales de interés económico, como es el mineral de cobre, con la menor cantidad de impurezas, de este proceso se obtiene los concentrados que fueron analizados para obtener el porcentaje de recuperación que cada colector y pH que ha logrado.

Anteriormente se ha explicado que la mayoría de las variables que conforma la flotación se mantendrán constantes, como son:

Tipo de celda: DENVER

Granulometría: 68 % de la malla -200.

Peso de las muestras: 300 gr

Espumante: En los experimentos se adicionarán dos gotas del espumante ER-370.

Velocidad y tiempo del sistema de agitación de la pulpa: La velocidad es mil revoluciones por minuto (1000 RPM) y el tiempo de agitación de la pulpa es de dos minutos, después se adiciona el tipo de colector a usarse quedando con la misma velocidad por dos minutos más.

Velocidad y Tiempo de retención: Una vez que se proporcione el espumante y el flujo de aire, la velocidad aumenta a mil quinientos revoluciones por minuto (1500 RPM) y su tiempo de retención es de 3 minutos en donde se obtiene el concentrado y los relaves.

Tiempo de la flotación: En total el tiempo de toda la flotación es de 7 minutos.

Temperatura: Ambiente

Calidad del agua: En este proceso de flotación el agua a utilizarse será extraída de una solo fuente hídrica, que es la cuenca del río Yanuncay, el mismo que pasa a veinte metros aproximadamente de la Universidad del Azuay.

Colector: De los tres tipos de colectores se realizó sus respectivos cálculos de la cantidad óptima a usarse en cada experimento de flotación.

- Xantato Z-6: 0,15 ml
- Ditiofosfato AR-1208: 0,09 ml
- Ditiofosfato AR-1242: 0,13 ml

pH: el pH natural de las muestras con las que se va a trabajar es de 8. En nuestra tesis se planteó trabajar con tres tipos de pH que son:

- pH=8
- pH=9
- pH=10

El procedimiento realizado ha sido el mismo para todos los experimentos, la pulpa de 300gr es vaciada en la celda de flotación junto a 700ml de agua, entrando a la etapa de acondicionamiento durante cuatro minutos, este tiempo se divide en tres periodos, dos de un minuto y uno de dos minutos, el primer periodo de un minuto se agrega la cantidad de cal necesario para la variación del pH y se mide el mismo para comprobar que este sea el adecuado, en el tercer minuto se adiciona el colector y se deja en acondicionamiento durante 2 min, a los 4 minutos se agrega el espumante, se sube velocidad de agitación y se abre el aire entrando a la etapa de aeración, durante 3 minutos siguientes se recoge las espumas que contienen el mineral de interés.

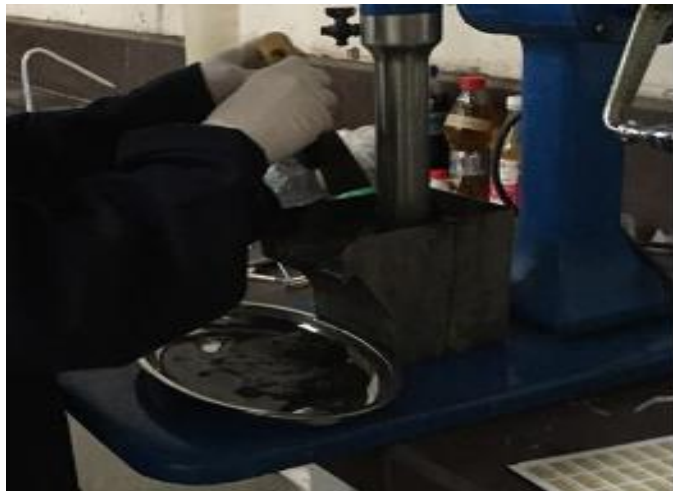


Figura 2.12 Proceso de flotación

2.3.2 Secado del mineral

Cuando el proceso de flotación concluye se obtienen dos productos:

- Concentrado
- Colas o relaves

El concentrado que se recogió en bandejas metálicas fue rotulado con el número de pH y colector que le corresponde, al mismo se le introdujo en el horno para su secado a una temperatura de 50 grados centígrados, por aproximadamente cuatro horas. Después el concentrado seco se pesa, se enfunda y rotula cada una de las muestras para enviarlas al respectivo análisis.



Figura 2.13 Horno en el que se realiza el secado de concentrado

Por otra parte el secado de colas se realiza al ambiente, las bandejas se dejaron en reposo al aire libre por un periodo de tres a cuatro días en los que el material pierde su humedad y queda listo para ser pesado y almacenado para el respectivo análisis.



Figura 2.14 Secado de colas al ambiente

2.3.3 Análisis de concentrados.

Antes de ejecutar cualquier proceso de flotación se realiza el análisis de cabeza con el fin de tener el conocimiento de porcentaje de alimentación de mineral de cobre. Luego en todo proceso de flotación de minerales es necesario realizar el análisis químico de cada concentrado para saber la recuperación y ley de cada prueba. Por lo que las muestras secas son enviadas a un laboratorio metalúrgico, en donde se realiza el análisis químico para la obtención del porcentaje de concentrado de mineral de cobre.

Tabla 2.1 Datos de los porcentajes de recuperación de mineral de cobre en los concentrados obtenidos del análisis metalúrgico.

colector	pH	Experimento 1		Experimento 2		Experimento 3		Experimento 4		Experimento 5		Experimento 6	
		concentración	Recuperación	concentración	Recuperación	concentración	Recuperación	concentración	Recuperación	concentración	Recuperación	concentración	Recuperación
[-]	[-]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
208	8	9,48	56,93	7,49	59,22								
208	9			14,55	60,93	8,55	63,36			8,86	62		
208	10	4,61	69,21	6,61	66,83					9	65,54		
z6	8	12,66	59,64	6,62	57,99								
z6	9			10,73	58,53					4,43	60,29		
z6	10	5,85	64,3	6,26	62,08					5,09	66,6		
242	8			13,88	55,83	8,42	57,76	8,1	60,47				
242	9			11,7	63,5			7,09	62,7	6,83	65,48	5,09	65,62
242	10	11,38	62,07							5,44	64,29	6,3	60,92

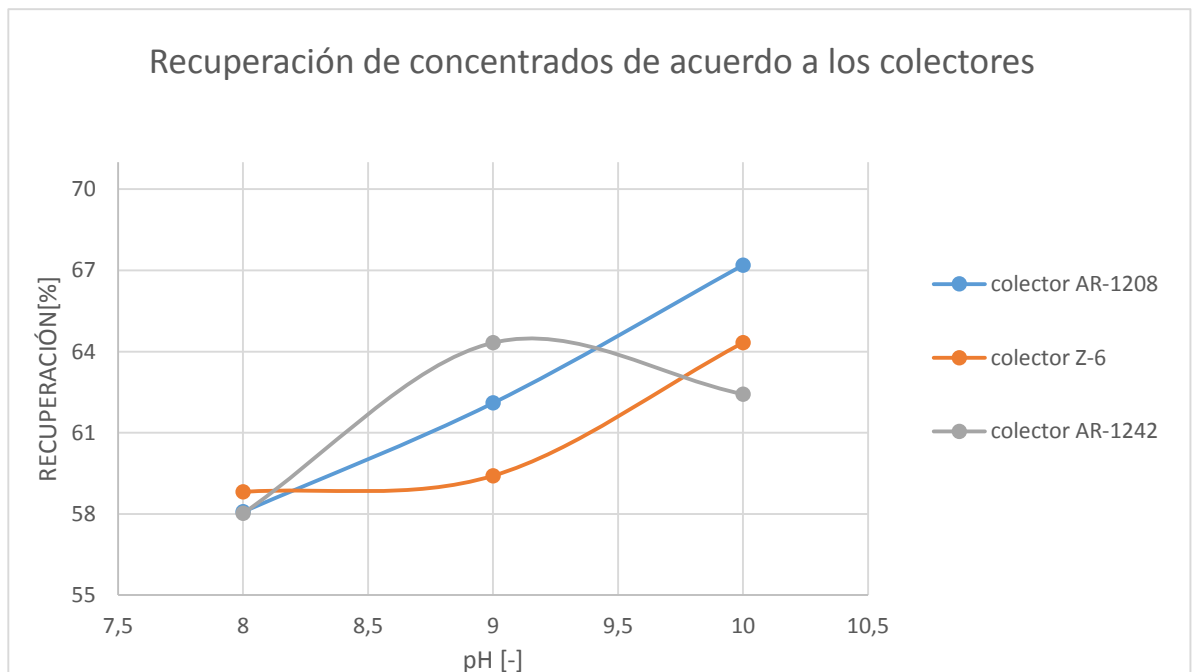


Figura 2.15 Modelo de recuperación de mineral de cobre de los tres colectores. Datos obtenidos del análisis de datos en EXCEL

Observar los resultados de análisis de concentrado y recuperación de cada experimento de este proyecto en Anexos 1. Tabla 5.3 a la 5.27.

2.3.4 Análisis de colas

La obtención del porcentaje de concentrado de cobre en las colas o también llamado relaves se obtuvo mediante un balance de masas.

Tabla 2.2 Datos de los porcentajes de recuperación de mineral de cobre en los concentrados obtenidos mediante el balance de masas.

colector	pH	Experimento 1		Experimento 2		Experimento 3		Experimento 4		Experimento 5		Experimento 6	
		concentración	Recuperación	concentración	Recuperación	concentración	Recuperación	concentración	Recuperación	concentración	Recuperación	concentración	Recuperación
[-]	[-]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
208	8	0,56	43,07	0,55	40,78								
208	9			0,5	39,07	0,49	36,64			0,5	38		
208	10	0,46	30,79	0,46	33,17					0,46	34,55		
z6	8	0,52	40,36	0,57	40,02								
z6	9			0,54	41,47					0,58	39,71		
z6	10	0,5	35,7	0,52	37,92					0,48	33,4		
242	8			0,56	44,17	0,56	42,24	0,53	39,53				
242	9			0,47	36,5			0,51	37,3	0,47	34,52	0,46	31,99
242	10	0,49	37,93							0,5	35,71	0,31	21,27

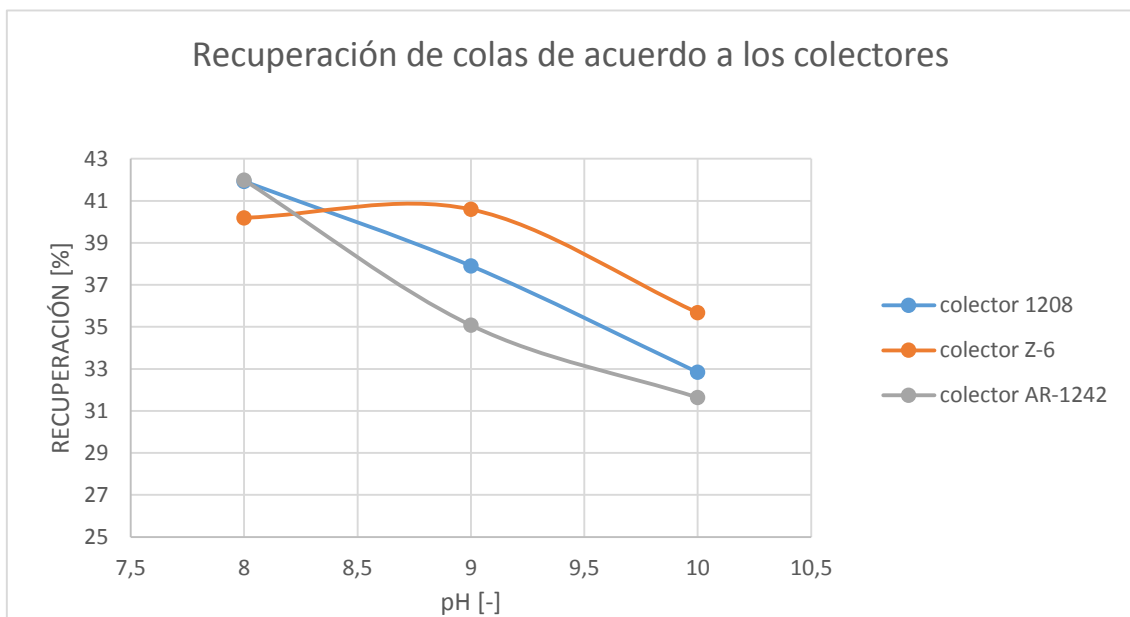


Figura 2.16 Modelo de recuperación de mineral de cobre en las colas obtenidas del análisis de datos en EXCEL

Observar los resultados de los cálculos de concentrado de cobre en las colas en Anexos 2, Tabla 5.28 a la 5.52.

Fórmula de balance de masas

$$A * a = C * c + R * r$$

Ecuación 2.6 Balance de masas.

Fuente: (Pavez, 2005)

Despejando el porcentaje de relave

$$r = \frac{A * a - C * c}{R}$$

Ecuación 2.7 Concentrado de cobre en relaves.

Fuente: (Pavez, 2005)

Donde,

A=masa de alimentación o cabeza (gr)

a= concentrado de cobre de alimentación o cabeza (%)

C= masa de Concentrado (gr)

c= concentrado de cobre (%)

R= masa de relaves o colas (gr)

r= concentrado de cobre de relaves o colas (%)

Por ejemplo:

$$r = \frac{A \cdot a - C \cdot c}{R}$$

$$r = \frac{(300 \text{ gr} * 1,21\%) - (15,2 \text{ gr} * 14,55\%)}{284,8 \text{ gr}}$$

$$r = 0,498 \%$$

2.3.5 Análisis de recuperación

Es necesario calcular la recuperación del cobre para tener conocimiento sobre la eficiencia y rendimiento del proceso de flotación.

Para obtener el porcentaje total de recuperación de cobre en cada experimento, se realiza el siguiente cálculo:

$$RCu = \frac{C \cdot c}{A \cdot a} * 100$$

Ecuación 2.8 Porcentaje de recuperación de cobre en los concentrados

Fuente: (Pavez, 2005)

Donde,

C= masa de Concentrado (gr)

c= concentrado de cobre (%)

A= masa de alimentación o cabeza (%)

a= concentrado de cobre de alimentación o cabeza (%)

Por ejemplo:

$$RCu = \frac{C \cdot c}{A \cdot a} * 100$$

$$RCu = \frac{(15,2 \text{ gr} * 14,55\%)}{(300 \text{ gr} * 1,21\%)} * 100$$

$$RCu = 60,925\%$$

CAPÍTULO III

DISEÑO EXPERIMENTAL

3.1 Análisis de diseño experimental.

El proyecto parte de una base de treinta y cuatro experimentos realizados en total, entre ellos 30 pruebas válidas para el proyecto y cuatro pruebas extras para calibración de instrumentos y ensayos de la realización correcta de los experimentos, todas las pruebas realizadas son estáticas es decir no responden a un circuito continuo de flotación sino que cada prueba fue hecha por separada y utilizada únicamente para un análisis.

El número de experimentos llevados a cabo no tiene una sustentación matemática que respalde que con esta cantidad de pruebas es suficiente para determinar la efectividad de uno de los colectores a un pH dado, pero cada experimento tiene una relación lógica que nos ayuda a ver el comportamiento de cada colector en relación con cada pH.

El análisis químico de los concentrados nos permite obtener el porcentaje de recuperación de mineral de cobre en cada experimento, si los resultados inciden en un mismo punto o tiene una variación pequeña de rango se admiten los valores y son tomados en cuenta para el análisis de resultados, en caso de que la recuperación varíe en un rango demasiado grande se anula el valor y se repite el experimento, con los valores reincidentes en un rango bastante próximo se realizan los gráficos correspondientes a la recuperación de cada colector con relación al pH. Ver resultados Anexos 2, Tabla 5.53; Figura 5.1 a la 5.3.

3.2 Validación de datos

La validación de datos hace que los resultados obtenidos de los experimentos con relación a la recuperación de mineral de cobre sean confiables y válidos para llegar a un resultado final. En este proyecto se realizó por medio de la estadística, algunos

elementos como la media, desviación estándar, coeficiente de variación e intervalo de confianza, nos permitieron relacionar todos los resultados obtenidos y tipificarlos, de modo que los valores aceptados y rechazados para el análisis de resultados tengan una justificación lógica de por qué se eliminan o se aceptan.

Media ($\bar{x}$)

La media o la media aritmética, es la medida de la tendencia central para encontrar el valor usualmente conocido promedio.

$$\bar{x} = \frac{\text{suma de datos}}{\text{cantidad de datos}}$$

Ecuación 3.1 Media poblacional.

Fuente: (Webster L. , 2000)

Desviación estándar de una muestra (s).

La desviación estándar es una medida de dispersión de un conjunto de datos que indica cuanto pueden alejarse o separarse los datos respecto a la media. Cuanto mayor sea la concentración de datos alrededor de la media, más pequeña será la desviación estándar

En algunas situaciones que no se pueda encontrar la media tampoco será posible calcular la desviación estándar, además está siempre será un valor positivo.

Es la raíz cuadrada de la varianza, es decir la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de las puntuaciones de desviación. Calcular mediante la siguiente fórmula:

$$\sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Ecuación 3.2 Desviación estándar.

Fuente: (Webster A. L., 2001)

Donde,

X_i = Dato i que esta entre $(0, n)$.

$\bar{X}$ = promedio de los datos.

N = número de datos.

Coefficiente de variación (CV)

“Como se ha enfatizado, un uso importante de la desviación estándar es servir como medida o grado de dispersión de un conjunto de datos relativo a su medida. Sin embargo, se aplican ciertas limitaciones. Cuando se consideran dos o más distribuciones que tienen medias significativamente diferentes, o que están medidas en unidades distintas, es peligroso sacar conclusiones respecto a la dispersión solo con base en la desviación estándar” (Webster A. L., 2001)

El coeficiente de variación determina el grado de dispersión “El resultado de una estimación generalmente se determina bueno si su coeficiente de variación es menor del 5%; aceptable práctico, entre 5% y el 10%; de baja precisión si les mayor del 10% y menor del 15%; no útil si es mayor del 15%”. (Dane, 2005)

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} * 100$$

$$CV = \frac{\text{desviación estandar}}{\text{media}} * 100$$

Ecuación 3.3 Coeficiente de variación

Fuente: (Webster A. L., 2001)

Intervalo de confianza

En estadística generalmente las estimaciones se encuentran dentro de un nivel de incertidumbre, en donde el intervalo de confianza determina un intervalo o rango probable que se calcula a partir de datos de una muestra o estimaciones cumpliendo con características de confiabilidad y precisión.

Valor mínimo

Es la resta entre la media y el intervalo de confianza, indica el rango o valor mínimo que tiene la muestra.

Valor máximo

Es la suma entre la media y el intervalo de confianza, esto nos indica el valor máximo que alcanza la muestra.

La validación de datos de recuperación se realiza separando por conjuntos de resultados, por ejemplo se toma todos los datos obtenidos del colector-1208 con pH 8, luego con pH 9 y por último con pH 10, así sucesivamente se aplica para el resto de colectores. Anexos 2, Tabla 5.54.

De estos conjuntos mediante fórmulas estadísticas se obtiene la media, desviación estándar, intervalo de confianza y coeficiente de variación, estos resultados nos llevan a obtener un valor mínimo y máximo de recuperación que puede tomar cada colector y pH, Anexos 2, Tabla 5.55 y 5.56.

Haciendo que los valores ubicados por encima o debajo de estos mínimos y máximos sean eliminados y dejando los datos que hacen al estudio válido, ANEXO 2, Figura 5,4 a la 5,6; en este caso nos interesa solo los valores máximos que se recuperan con cada colector y pH. Los resultados se presentan en el Anexos 2, Tabla 5.57.

3.3 Prueba de Hipótesis

La prueba de hipótesis se empleó para verificar si la recuperación máxima obtenida con el colector 1208 pH 10, es mayor, a la recuperación máxima obtenida con el colector Z-6 pH 10.

Esta prueba ayuda a determinar, si una afirmación acerca del valor de un parámetro poblacional debe o no ser rechazada, una prueba es rechazada cuando la hipótesis nula no cumple y se acepta cuando la hipótesis nula cumple.

Su realización parte de suposiciones tentativas acerca de dos parámetros poblacionales: la media poblacional y la proporción poblacional. La primera

suposición es la hipótesis nula (H_0) y la segunda la hipótesis alternativa (H_a) esta última es lo contrario de la primera hipótesis.

Según sus situaciones la hipótesis para un parámetro poblacional puede asumir tres formas:

- En dos se emplean desigualdades en la hipótesis nula ($\leq ; \geq$)
- en la tercera se aplica una igualdad en la hipótesis nula ($=$)

Estas tres formas deben aparecer siempre en la hipótesis nula. Al elegir la forma adecuada para H_0 y H_a hay que tener presente que la hipótesis alternativa con mayor frecuencia es lo que trata de demostrar.

3.3.1 Alternativas de pruebas

Prueba de una hipótesis de investigación.

$$H_0 : \mu \leq 24$$

$$H_a : \mu > 24$$

En estudios de investigación como comprobar que sistema es más eficiente que otro, las hipótesis nula y alternativa deben plantearse de forma que al rechazar H_0 se apoye la conclusión de la investigación y esta se expresará como hipótesis alternativa.

Prueba de validez de una afirmación.

$$H_0 : \mu \geq 5$$

$$H_a : \mu < 5$$

Cuando se requiere comprobar la validez de una afirmación, por ejemplo cuando un fabricante de bolsas plásticas afirma que sus bolsas llevan 5 kg, la hipótesis nula se basa en que dicha afirmación es verdadera, para lo cual se debe formular la hipótesis alternativa de modo que proporcione la evidencia estadística de que la suposición establecida es incorrecta, al momento de rechazar la hipótesis nula (H_0). Cuando la

hipótesis nula sea rechazada debe tomarse las medidas necesarias para corregir la afirmación.

Prueba en situaciones de toma de decisiones

$$H_0 : \mu = 5$$

$$H_a : \mu \neq 5$$

Estas pruebas se presentan cuando una persona debe elegir entre dos líneas de acción, por ejemplo el investigador busca que determinados productos satisfagan las especificaciones de modo que al emplearlos no generen problemas, se piden pernos de 5 pulgadas si estos pernos sobrepasan o falta para dicha medida serán rechazados y están en la medida determinada se aceptarán, por lo que si no se puede rechazar H_0 , determinado producto satisface dichas especificaciones, pero en caso de que H_0 sea rechazada el producto se podrá devolver ya que no cumple con lo exigido en la medida.

Las dos primeras pruebas se conoce como pruebas de una cola y la tercera se le llama prueba de dos colas.

3.3.2 Errores tipo I y II

Lo que se busca es que la prueba de hipótesis lleve a la aceptación de H_0 cuando H_0 sea verdadera y al rechazo de H_0 cuando H_a sea verdadera. pero, las conclusiones correctas no siempre se dan, generando estos errores.

		Situación en la población	
		H_0 verdadera	H_a verdadera
Conclusión	Se acepta H_0	Conclusión correcta	Error tipo II
	Se rechaza H_0	Error tipo I	Conclusión correcta

Figura 3.1 Errores y conclusiones correctas en las pruebas de hipótesis.

Fuente: (Anderson, Sweneey, & Williams, 2008)

La probabilidad de cometer un error tipo I cuando la hipótesis nula es verdadera como igualdad se le conoce como nivel de significancia (α) y los valores que toma son de cero a uno. Al elegir α se controla la probabilidad de cometer un error tipo I, por otro parte controlar un error de tipo II en una prueba de hipótesis es poco común, pero es posible, las medidas basadas en la conclusión aceptan que H_0 son adecuadas.

3.3.3 Realización de la prueba de hipótesis

La prueba empleada en el proyecto es la de dos colas, donde comparamos los dos resultados de mayor recuperación correspondientes al colector 1208 y colector Z-6, ambos con pH 10.

$$H_0: \mu \text{ C1208 - pH10} \leq \mu \text{ Z6 - pH10}$$

$$H_a: \mu \text{ C1208 - pH10} > \mu \text{ Z6 - pH10}$$

Para la comprobación de la hipótesis se necesita obtener valores como:

Nivel de significancia (α)

Representa la probabilidad de rechazar una hipótesis nula o verdadera, matemáticamente toma valores de cero a uno, para esta prueba se toma el valor de 0,05.

Nivel de confianza

Se indica por $1 - \alpha$, y se da en porcentaje, esto indica el nivel de confianza que se da a un resultado., en nuestro caso es del 95%

Valor Z

Es un estadístico de prueba, que mide la diferencia entre un estadístico observado y su parámetro hipotético.

$$Z = \frac{x_1 - x_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$$

Ecuación 3.4 Determinación de Z

Fuente: (Webster L. , 2000)

μ hace referencia a los vales de límite máximo de recuperación del colector 1208 y Z-6, **n** es el número de experimento realizados por cada colector 1208 y Z-6 con pH 10, se realizaron tres de cada uno por lo que $n=3$, $\bar{x}$ son las medias de los conjuntos de valores de **n**.

Valor p

Se obtiene de tablas de distribución normal, basándose en los resultados obtenidos de Z, el valor p es la probabilidad de que la hipótesis nula sea aceptada.

Ver los resultados en el Anexos 2, Tabla 5.58.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1 Modelo de distribución de recuperación de sulfuros.

La distribución de chi-cuadrados es una prueba de hipótesis que compara una distribución observada de los experimentos y la recuperación esperada.

Mediante el método de chi-cuadrados se proporcionó una estimación probabilística de la ecuación que representan los datos adquiridos de cada experimento, mediante la siguiente fórmula:

$$b = Py - mPx$$

Ecuación 4.1 Ecuación de la pendiente

Fuente: (Manzaneda, 2010)

Donde:

m es la pendiente.

$$m = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \cdot \sum y}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}$$

Ecuación 4.2 Pendiente de la recta.

Fuente: (Manzaneda, 2010)

n = número de muestras.

b = punto de intercepción

$$b = \text{promedio } Y \text{ observada} - m * \text{promedio } X \text{ observada}$$

Ecuación 4.3 Punto de intercepción

Fuente: (Manzaneda, 2010)

Y = valor buscado para obtener la recuperación esperada

$$Y \text{ esperada} = m * X \text{ observada} + b$$

Ecuación 4.4 Y esperada

Fuente: (Manzaneda, 2010)

El método de mínimos cuadrados facilita el determinar la tendencia lineal que tendrá la recuperación con relación al pH.

Ditiofosfato AR-1208

$$b = Py - mPx$$

$$21,02 = Py - 4,60 Px$$

Ver resultados en Anexos 3, Tabla 5.59 a la 5.61, Figura 5.7.

Ditiofosfato AR-1242

$$b = Py - mPx$$

$$42,03 = Py - 2,20 Px$$

Ver resultados en Anexos 3, Tabla 5.62 a la 5.64, Figura 5.8.

Xantato amílico de potasio Z-6

$$b = Py - mPx$$

$$34,99 = P_y - 2,88 P_x$$

Ver resultados en Anexos 3, Tabla 65 a la 67, Figura 5.9.

4.2 Discusión de resultados.

La investigación se concentra únicamente en el análisis de tres diferentes tipos de colectores y su capacidad de recuperación de mineral de cobre a tres diferentes pH alcalinos, el resto de variables que constituyen la flotación y que de alguna manera ayudan a que este proceso sea más eficiente hemos decidido trabajarlas a una sola cantidad y medida.

Peso de muestra 300gr

Espumante 0.00557 gr (2 gotas)

Agua 700 ml

Tiempos de flotación:

- tiempo homogenización 2min
- tiempo acondicionamiento 2min
- tiempo recolección de espumas 3min

Con estos parámetros hemos obtenido resultados que muestran, que en las condiciones antes descritas el colector que mayor recupera es el ditiofosfato AR_1208 con pH 10 y recuperación del 69.21%, seguido del colector xantato amílico de potasio Z-6 con pH 10 y recuperación 66.67% y por último el colector ditiofosfato AR-1242 con pH 9 y recuperación 65.62%.

Una investigación realizada en la universidad de “SAN LUIS GOZA” de Ica y probada en la planta “Santa María”, que estudia la optimización del tiempo de flotación para la recuperación de cobre, concluye que el colector ditiofosfato AR-1208 recupera un 95.4%, es decir 26.19% más que en nuestro proyecto, en este proceso el tiempo de flotación fue de 19 minutos y con una masa de 179 gr. Otra investigación de la universidad “SAN LUIS POTOSÍ” de México, basada en la flotación de calcopirita, pirita y molibdenita, muestra que a concentraciones bajas de colector xantato se da bajas recuperaciones de sulfuros de cobre y a medida que aumenta la concentración aumenta la recuperación y al igual que la investigación anterior el tiempo de flotación ayuda a una mejor recuperación, del ditiofosfato AR-1242 no se tiene estudios específicos para cobre pero es un tipo de colector que está en la misma serie del

colector AR-1208 y se definiría como una versión mejorada por lo que las condiciones deben estar relacionadas.

Damos la certeza de que esta investigación, si alguien la requiere, puede ser aplicable en planta que requiera recuperar cobre, su recuperación no es la mayor, pero al compararla con otras investigaciones sabemos que es posible que los resultados obtenidos puedan mejorar al cambiar cualquiera de las variables que se han dejado intactas, haciendo que se logre un porcentaje de recuperación mayor al obtenido.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

Las conclusiones principales que se desprenden de los resultados obtenidos en los experimentos son los siguientes:

- El material que se vaya a emplear en la investigación es adecuado tener en mayores proporciones a las que se necesite utilizar, para evitar inconvenientes de limitadas pruebas de laboratorio.
- El porcentaje de cobre presente en el material de mena debe superar el 1% de concentración para que la recuperación sea rentable.
- La granulometría óptima para una adecuada flotación debe tener un pasante de la muestra igual o mayor al 50% por una malla # 200.
- El modelo de distribución de sulfuros con relación a la recuperación, sigue una tendencia lineal, la misma que está definida por la ecuación de pendiente de la recta.

$$b = Py - mPx$$

En donde la distribución observada difiere en un 5% de la distribución esperada.

- El colector xantato amílico de potasio Z-6 alcanza su mayor recuperación de mineral de cobre a un pH 10, con un porcentaje de 66.6%, y una recuperación menor de entre 57 y 60% con los pH 8 y 9, siendo un producto químico propio para la recuperación de cobre entre otros metales.
- Con respecto al ditiofosfato AR-1242, se obtuvo los resultados de recuperación más bajos de la investigación, pero en relación a los otros dos colectores que tienen su mayor recuperación en pH 10, este tiene en un pH 9 con 65,62% y la recuperación más baja en un pH 8 con 55,83%, este comportamiento se debe a que trabaja mejor en pH naturales.
- La mayor recuperación de cobre se obtuvo con el colector ditiofosfato AR-1208 con un pH 10, alcanzando a recuperar un 69.21%, su eficiencia se le atribuye a que trabaja mejor en pH de 10 a 13 y es de uso exclusivo para la recuperación de cobre.

Recomendaciones:

Un proceso de flotación se vuelve más eficiente cuando las variables que la conforman son analizadas con respecto al mineral a tratar, es por eso que es indispensable hacer un análisis previo de las características físicas como granulométrica y química de la composición del material.

Por otra parte la minería, es una industria que para ser económicamente rentable debe trabajar con grandes volúmenes de masa y buscar la forma de recuperar el mineral de interés en bruto, debido a esto se ha construido un mercado muy amplio de productos químicos propios para la recuperación de metales, productos que pueden no ser eficientes y que al momento de emplearlos generen pérdidas, es por eso que ponemos a consideración la realización de pruebas de flotación, previas a la recuperación en planta, con diferentes colectores, pH, espumantes y otras variables, combinándolas y combinándolas hasta que obtengamos datos que nos permitan determinar de qué manera y en que proporciones se obtiene una mejor recuperación, de esta forma se trabajarán con procesos óptimos que disminuyen pérdidas.

Además ponemos a consideración que el laboratorio de minas de la Universidad del Azuay esta en las condiciones óptimas para prestar sus servicios a las empresas mineras que requieran realizar análisis previos de flotación para su posterior aplicación en planta.

Con respecto a la investigación recomendamos:

- Antes de empezar el proceso tener todo lo necesario listo, las espátulas lavadas, al igual que la bandeja en la que se retiraran las burbuja, los equipos calibrados y sobre todo los productos químicos medidos exactamente.
- Ir añadiendo cada químico en el mismo intervalo de tiempo que se aplique en el primer experimento, de modo que ni el tiempo de acondicionamiento, flotación y recolección de burbujas sobre pasen el tiempo estimado.
- La recolección de burbujas que se forman en la celda hacer con espátulas capaces de dar en ella y no tener problemas al momento de la recuperación.

- El análisis químico debe realizarse con el concentrado seco, por lo que si tiene un mínimo de porcentaje de humedad dificultará el análisis.
- En el momento del cuarteo evitar derramar material por los lados del cuarteador, ya que de esta forma no se conseguirá una división equitativa adecuada de la muestra.

REFERENCIAS

Glosario

Acidez

Es la cualidad de un ácido, aplicable solo para solución acuosa. La escala más común para cuantificar es el pH y este debe ser menor que 7.

Ácido clorhídrico (HCl)

Gas incoloro, compuesto de cloro e hidrógeno, muy corrosivo, se emplea generalmente como un reactivo químico.

Ácido nítrico (HNO₃)

Líquido muy corrosivo e incoloro, es la mezcla de pentóxido de dinitrógeno y agua, se utiliza comúnmente como reactivo de laboratorio.

Acondicionamiento

Lograr un estado en el que la sustancia mantenga sus propiedades estables.

Aerofóbicas

Partículas que se repelen al aire, temor al aire.

Agitador

Herramientas utilizadas para homogenizar varios componentes a través de un proceso de mezcla.

Aire comprimido

Aire cuyo volumen ha sido reducido y, en consecuencia, aumenta su presión.

Aireación

Es la acción de introducir aire a una pulpa acuosa en flotación para generar burbujas, las mismas que se adhieren al mineral de interés.

Aireación por aspiración

Es la utilización de aparatos mecánicos que actúan a una velocidad suficiente para aspirar y descargar aire atmosférico.

Alcalinidad

Basicidad de un líquido, se cuantifica a través de pH igual a 7

Apolar

Moléculas que se producen por la unión entre átomos que poseen igual electronegatividad.

Calcopirita

Sulfuro natural de cobre y hierro, de color amarillo claro y brillante y no muy duro, su fórmula química es (CuFeS₂).

Calibración

Es el proceso de comparar los valores obtenidos por un instrumento de medición con la medida correspondiente de un patrón de referencia.

Características físicas del mineral

Es lo que se puede apreciar de un mineral como su color, lustre, sistema cristalino, dureza, rotura.

Características químicas del mineral

Es lo que no se puede apreciar a simple vista, como es la composición de mineral, es decir que elementos químicos lo conforman.

Cianuración

Es un tratamiento termo químico que se da a los aceros, que consiste en efectuar un baño de cianuro fundido, además es una técnica metalúrgica para la extracción de oro y plata contenidos en minerales o concentrados, disolviéndolos en una solución débil de cianuro de sodio o potasio.

Coalescencia

Unión de partículas en suspensión coloidal para formar granos o gotas mayores.

Clorato de potasio (KClO_3)

Se emplea como oxidante, es una sal formada por el anión clorato y el catión potasio.

Colas

Es un conjunto de desechos tóxicos, producto de un proceso de concentración de minerales, generalmente constituido por agua, rocas molidas y minerales de ganga.

Concentrados

Producto rico en metales obtenido mediante la aplicación de procesos de separación y concentración tales como la flotación.

Consistencia

Cualidad de la materia que resiste sin romperse ni deformarse fácilmente.

Cuaternaria

Es la última de las eras en que se divide la historia geológica de la tierra; se extiende desde hace unos dos millones años hasta la actualidad.

Diámetro nominal

Es una medida general que se da un conjunto de partículas a las cuales no se puede medir su diámetro por separado.

Estándar

Sirve de patrón, modelo o punto de referencia para medir o valorar cosas de la misma especie.

Flotabilidad

Capacidad de flotar de un cuerpo.

Fuerzas interfaciales

Fuerza de atracción que existen entre las moléculas de un líquido.

Ganga

Material que es descartado al extraer la mena de un yacimiento de mineral, por carecer de valor económico o ser demasiado costoso su aprovechamiento.

Granulometría

Medición y graduación que se lleva a cabo de los granos de una formación, con fines de análisis.

Hidrotermal

Depósito de roca formado por minerales cristalizados a partir de una solución acuosa y caliente de origen magmático.

Homogéneo

Es igual para los diversos elementos que forman un determinado grupo o conjunto.

Intrusión subaflorante

Afluencia o infiltración de una masa magmática entre dos estratos sólidos o a través de ellos, que alcanzan la superficie terrestre.

Ley

Es la cantidad de metal valioso en cada tonelada de mineral. Se expresa en onzas troy por tonelada para los metales preciosos y como porcentaje para metales y no metales, en algunas ocasiones, cuando las cantidades son muy pequeñas la ley se expresa en partes por millón (ppm) o partes por billón (ppb).

Lixiviación

Proceso en el que un disolvente líquido pasa a través de un sólido pulverizado para que se produzca la disolución de uno o más de los compuestos solubles del sólido.

Micrones

Unidad de medida que representa la milésima parte del milímetro, o sea 0.001

Molienda

Proceso que consiste en triturar una materia sólida (rocas), golpeándola con algo o frotándola entre dos piezas duras hasta reducirla a trozos muy pequeños o a polvo.

Molino de rodillos

Son máquinas industriales que se usan para descomponer materiales, su forma básica consiste en dos rodillos que giran a en la misma dirección a distinta velocidad.

Polar

Propiedad química de las moléculas que representa la separación de las cargas eléctricas en la misma molécula.

Polimetálico

Constituyen concentraciones extraordinarias de metales útiles, ya que en promedio, contienen 15 a 35 % de manganeso, de 15 a 20% de hierro, de 1 a 10% de calcio y 1% de cobalto, cobre, níquel y titanio.

Precámbrica-paleozoica

Primeras épocas de formación de la tierra.

Pulpas

Fluido que contiene sólidos finos suspendidos en un líquido.

Relaves

Tiene el mismo significado que las colas.

Rocas Ígneas

Son las que se forman cuando el magma se enfría y se solidifica.

Rocas Metamórficas

Son rocas formadas por la modificación de otras existentes en el interior de la tierra, a través de calor, fluidos químicamente activos y/o presión. Las rocas sufren ajustes estructurales y mineralógicos.

Rocas sedimentarias

Se forman por la acumulación de sedimentos que, sometidos a procesos químicos y físicos, dan lugar a materiales más o menos consolidados de cierta consistencia.

Rotular

Escribir características que nos permitan diferenciar algo.

Soluble

Que se puede disolver.

Sustancias tenso-activas

Sustancias que disminuyen la tensión superficial de los líquidos, normalmente agua.

Tostación

Proceso metalúrgico que implica reacciones sólido-gas a temperaturas elevadas con el fin de purificar el componente metálico.

Trituradora de mandíbulas

Máquina industrial utilizada para procesar materiales con la finalidad de obtener trozos más pequeños.

Viscosidad

Es una propiedad física característica de los fluidos, es una medida a las deformaciones graduales producidas por tensiones cortantes o tensiones de tracción.

Yacimientos

Es una formación en la que está presente una concentración estadísticamente anómala de minerales presentes en la corteza terrestre o litosfera.

BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, Sweneey, & Williams. (2008). *Estadísticas para administración y economía*. Mexico: Cengage Learning Editores, S.A.
- Baraona, F. (2007). *Influencia de la distribución de tamaño de burbujas en la recuperación de la flotación para minerales de cobre*. Santiago de Chile, Chile.: Universidad de Chile.
- Cuadra, P. (19 de 04 de 2016). *CODELCO*. Obtenido de CODELCO EDUCA: https://www.codelcoeduca.cl/procesos_productivos/escolares_flotacion.asp
- DANE. (2005). *Metodología de Diseño Muestral*. Bogotá: Departamento administrativo nacional de estadística.
- Diamond Corporacion S.A . (2002). *Manual de Productos Quimicos para Minería* . cytec.
- Flores, J. (2007). *Flotación de Minerales*. Potosí, Bolivia.: Universisd Autónoma Tomás Farías.
- García, C., Saval, J., Baeza, F., & Tenza, A. (2009). *Determinación de la granulometría de un árido*. Alacant, España.: Universidad de Alicante.
- Guedez, J., Salaguer, L., & Forgiarini, A. (2007). *Fundamentos de Flotacion*. Venezuela.
- Linales, N. (2015). *Máquinas y circuitos de flotación*. En n. Linales, *procesamiento de minerales*. (pág. 46). Tacna, Perú: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Obtenido de Scribd.
- Manzaneda, J. (2010). *Aplicación de microscopía en el procesamiento de minerales por flotacón*. LIMA.
- Mendieta, X. (s.f). *Problemas de muestreo y optimización de la flotación de los minerales de San Bartolomé*. Tesis de Tecnólogo Minero. Cuenca, Ecuador: Universidad del Azuay.
- Mendieta, X., & Vizhñay, L. (1998). *Optimización de flotación y cianuración empleando diseños experimentales en arenas de relaves de las minas de Shayaurco sector de Ponce Enríquez*. Tesis de ingeniero en Minas. Cuenca, Ecuador.: Universidad del Azuay.

- Nina, A. H. (s.f.). *Flotacion bulk* . Obtenido de FLOTACION BULK : http://www.academia.edu/4229900/FLOTACION_BULK_Recuperacion_de_todas_las_especies_valiosas_oro_plomo_plata_zinc_cobre_etc._en_un_solo_producto_llamado_Concentrado_Bulk._REACTIVOS_DE_FLOTACION
- Pavez, O. (2005). *Concentración de minerales I*. Chile: Universidad de Atacama.
- Santana, J., Torres, J., Carrillo, C., Verdejo, T., & Pérez, G. (2011). *Flotación*. Valparaíso, Chile.: Universidad Católica de Valparaíso.
- Sutulov, A. (1963). *Flotacion de Minerales*. Concepción, Chile: Universidad de Concepción.
- WEBSTER, A. L. (2001). *Estadística aplicada a los negocios y la economía*. Bogotá: McGRAW- HILL.
- Webster, L. (2000). *Estadística aplicada a los negocios y la economía*. Colombia: Mac-GRAW HILL.
- Yianatos, J. (2005). *Flotación de Minerales*. Santiago de Chile, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María.
- Zamora, A., & Nicolalde, R. (15 de marzo de 1980). *Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalurgico*. Obtenido de Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalurgico.: <http://www.geoinvestigacion.gob.ec/>

ANEXOS

Anexo 1

Análisis granulométrico.

A partir de una muestra de 50 gr, con la ayuda de los tamices se realizó el Análisis granulométrico y se tiene como resultado que el 68% pasa la malla #200.

Tabla 5.1. Análisis granulométrico recopilado en el laboratorio de IEM de la Universidad del Azuay.

mallas	retenido parcial (gr)	retenido acumulado (gr)	retenido parcial %	retenido acumulado %	PASANTE %
4	0	0	0,00	0,00	100,00
8	11	11	2,20	2,20	97,80
40	13	24	2,60	4,80	95,20
50	23	47	4,60	9,40	90,60
100	35	82	7,00	16,40	83,60
200	78	160	15,60	32,00	68,00
Fondo	340	500	68,00	100,00	0,00
Suma	500				

Análisis químico

A partir de una muestra de 30gr se ejecutó el análisis de cabeza ya que este procedimiento se realiza antes de ejecutar cualquier proceso de flotación con el fin de tener el conocimiento de porcentaje de alimentación de mineral de cobre.

Tabla 5.2 Análisis químico de cabeza realizado en el laboratorio ALBEXXUS.

MUESTRA	# MALLA	MALLA	ORO (Au)	PLATA (Ag)	COBRE (Cu)
		%	gr/ton	gr/ton	%
2	-200	68	1,83	19,18	1,21
			Cu		1,21

Tablas de análisis de concentrados

Las experimentos fueron enviadas a un laboratorio metalúrgico en donde se encontró la concentración de cobre luego de esto se realizó un balance de masas con el fin de obtener la recuperación de cobre de cada experimento realizado, que se describe en las siguientes tablas.

Tablas de análisis de concentrados experimento 1.

Tabla 5.3. Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 8 obtenidos del balance de masas.

PROYECTO CONCENTRACIÓN DE SULFUROS	
ORDEN DE FLOTACIÓN	#1
PRUEBA DEL DISEÑO	#1
PESO DEL MATERIAL INICIAL	300 gr
PESO CONCENTRADO	21,8 gr
PESO COLAS	278,2 gr
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	1,21%
CANTIDAD DE AGUA	700 ml
TIEMPO DE AGITACIÓN	4 min
TIEMPO DE RETENCIÓN	3 min
TIEMPO DE FLOTACIÓN	7min
pH INICIAL	8
PH FINAL	8
ESPUMANTE	ER- 370
CANTIDAD DE ESPUMANTE	2 Gotas
COLECTOR	DITIOFOSFATO AR- 1208
CANTIDAD DE COLECTOR	0,09 ml

PESO CONCENTRADO	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
21,8	208	8	9,48	56,93

Tabla 5.4. Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 10, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO CONCENTRACIÓN DE SULFUROS	
ORDEN DE FLOTACIÓN	#1
PRUEBA DEL DISEÑO	#2

PESO DEL MATERIAL INICIAL	300 gr
PESO CONCENTRADO	54,5 gr
PESO COLAS	245,5 gr
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	1,21%
CANTIDAD DE AGUA	700 ml

TIEMPO DE AGITACIÓN	4 min
TIEMPO DE RETENCIÓN	3 min
TIEMPO DE FLOTACIÓN	7min

pH INICIAL	8
pH FINAL	10

ESPUMANTE	ER- 370
CANTIDAD DE ESPUMANTE	2 Gotas
COLECTOR	DITIOFOSFATO AR- 1208
CANTIDAD DE COLECTOR	0,09 ml

PESO CONCENTRADO	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
54,5	208	10	4,61	69,21

Tabla 5.5. Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 10, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO DE CONCENTRACIÓN DE SULFUROS	
ORDEN DE FLOTACIÓN	#1
PRUEBA DEL DISEÑO	#5

PESO DEL MATERIAL INICIAL	300 gr
PESO CONCENTRADO	19,8 gr
PESO COLAS	280,2 gr
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	1,21%
CANTIDAD DE AGUA	700 ml

TIEMPO DE AGITACIÓN	4 min
TIEMPO DE RETENCIÓN	3 min
TIEMPO DE FLOTACIÓN	7min

pH INICIAL	8
pH FINAL	10

ESPUMANTE	ER- 370
CANTIDAD DE ESPUMANTE	2 Gotas
COLECTOR	DITIOFOSFATO AR-242
CANTIDAD DE COLECTOR	0,13 ml

PESO CONCENTRADO	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
19,8	242	10	11,38	62,07

Tabla 5.6. Concentración y recuperación de Cu, colector-Z6, pH 8, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO CONCENTRACIÓN DE SULFUROS	
ORDEN DE FLOTACIÓN	#1
PRUEBA DEL DISEÑO	#3

PESO DEL MATERIAL INICIAL	300 gr
PESO CONCENTRADO	17,1 gr
PESO COLAS	282,9 gr
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	1,21%
CANTIDAD DE AGUA	700 ml

TIEMPO DE AGITACIÓN	4 min
TIEMPO DE RETENCIÓN	3 min
TIEMPO DE FLOTACIÓN	7min

pH INICIAL	8
pH FINAL	8

ESPUMANTE	ER- 370
CANTIDAD DE ESPUMANTE	2 Gotas
COLECTOR	XANTATO AMÍLICO DE POTASIO Z6
CANTIDAD DE COLECTOR	0,15 ml

PESO CONCENTRADO	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
17,1	Z6	8	12,66	59,64

Tabla 5.7. Concentración y recuperación de Cu, colector-Z6, pH 10, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO CONCENTRACIÓN DE SULFUROS	
ORDEN DE FLOTACIÓN	#1
PRUEBA DEL DISEÑO	#4

PESO DEL MATERIAL INICIAL	300 gr
PESO CONCENTRADO	39,9 gr
PESO COLAS	260,1 gr
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	1,21%
CANTIDAD DE AGUA	700 ml

TIEMPO DE AGITACIÓN	4 min
TIEMPO DE RETENCIÓN	3 min
TIEMPO DE FLOTACIÓN	7min

pH INICIAL	8
pH FINAL	10

ESPUMANTE	ER- 370
CANTIDAD DE ESPUMANTE	2 Gotas
COLECTOR	XANTATO AMÍLICO DE POTASIO Z6
CANTIDAD DE COLECTOR	0,15 ml

PESO CONCENTRADO	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
39,9	Z6	10	5,85	64,30

Tablas de análisis de concentrados experimento 2.

Tabla 5.8. Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 9, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO CONCENTRACIÓN DE SULFUROS	
ORDEN DE FLOTACIÓN	#2
PRUEBA DEL DISEÑO	#7

PESO DEL MATERIAL INICIAL	300 gr
PESO CONCENTRADO	15,2 gr
PESO COLAS	284,8 gr
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	1,21%
CANTIDAD DE AGUA	700 ml

TIEMPO DE AGITACIÓN	4 min
TIEMPO DE RETENCIÓN	3 min
TIEMPO DE FLOTACIÓN	7min

pH INICIAL	8
pH FINAL	9

ESPUMANTE	ER- 370
CANTIDAD DE ESPUMANTE	2 Gotas
COLECTOR	DITIOFOSFATO AR- 1208
CANTIDAD DE COLECTOR	0,09 ml

PESO CONCENTRADO	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
15,2	208	9	14,55	60,93

Tabla 5.9 Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 8, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO CONCENTRACIÓN DE SULFUROS	
ORDEN DE FLOTACIÓN	#2
PRUEBA DEL DISEÑO	#6
PESO DEL MATERIAL INICIAL	300 gr
PESO CONCENTRADO	28,7 gr
PESO COLAS	271,3 gr
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	1,21%
CANTIDAD DE AGUA	700 ml
TIEMPO DE AGITACIÓN	4 min
TIEMPO DE RETENCIÓN	3 min
TIEMPO DE FLOTACIÓN	7min
pH INICIAL	8
pH FINAL	8
ESPUMANTE	ER- 370
CANTIDAD DE ESPUMANTE	2 Gotas
COLECTOR	DITIOFOSFATO AR- 1208
CANTIDAD DE COLECTOR	0,09 ml

PESO CONCENTRADO	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
28,7	208	8	7,49	59,22

Tabla 5.10. Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 10, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO CONCENTRACIÓN DE SULFUROS	
ORDEN DE FLOTACIÓN	#2
PRUEBA DEL DISEÑO	#8
PESO DEL MATERIAL INICIAL	300 gr
PESO CONCENTRADO	36,7 gr
PESO COLAS	263,3 gr
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	1,21%
CANTIDAD DE AGUA	700 ml
TIEMPO DE AGITACIÓN	4 min
TIEMPO DE RETENCIÓN	3 min
TIEMPO DE FLOTACIÓN	7min
pH INICIAL	8
pH FINAL	10

ESPUMANTE	ER- 370
CANTIDAD DE ESPUMANTE	2 Gotas
COLECTOR	DITIOFOSFATO AR- 1208
CANTIDAD DE COLECTOR	0,09 ml

PESO CONCENTRADO	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
36,7	208	10	6,61	66,83

Tabla 5.11 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 8, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO CONCENTRACIÓN DE SULFUROS	
ORDEN DE FLOTACIÓN	#2
PRUEBA DEL DISEÑO	#12

PESO DEL MATERIAL INICIAL	300 gr
PESO CONCENTRADO	14,6 gr
PESO COLAS	285,4 gr
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	1,21%
CANTIDAD DE AGUA	700 ml

TIEMPO DE AGITACIÓN	4 min
TIEMPO DE RETENCIÓN	3 min
TIEMPO DE FLOTACIÓN	7min

pH INICIAL	8
pH FINAL	8

ESPUMANTE	ER- 370
CANTIDAD DE ESPUMANTE	2 Gotas
COLECTOR	DITIOFOSFATO AR-242
CANTIDAD DE COLECTOR	0,13 ml

PESO CONCENTRADO	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
14,6	242	8	13,88	55,83

Tabla 5.12 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 9, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#2
PRUEBA DEL DISEÑO	#13

PESO DEL MATERIAL INICIAL	300 gr
PESO CONCENTRADO	19,7 gr
PESO COLAS	280,3 gr
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	1,21%
CANTIDAD DE AGUA	700 ml

TIEMPO DE AGITACIÓN	4 min
TIEMPO DE RETENCIÓN	3 min
TIEMPO DE FLOTACIÓN	7min

pH INICIAL	8
pH FINAL	9

ESPUMANTE	ER- 370
CANTIDAD DE ESPUMANTE	2 Gotas
COLECTOR	DITIOFOSFATO AR-242
CANTIDAD DE COLECTOR	0,13 ml

PESO CONCENTRADO	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
19,7	242	9	11,70	63,50

Tabla 5.13 Concentración y recuperación de Cu, colector-Z6, pH 8, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#2
PRUEBA DEL DISEÑO	#9

PESO DEL MATERIAL INICIAL	300 gr
PESO CONCENTRADO	31,8 gr
PESO COLAS	268,2 gr
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	1,21%
CANTIDAD DE AGUA	700 ml

TIEMPO DE AGITACIÓN	4 min
TIEMPO DE RETENCIÓN	3 min
TIEMPO DE FLOTACIÓN	7min

pH INICIAL	8
pH FINAL	8

ESPUMANTE	ER- 370
CANTIDAD DE ESPUMANTE	2 Gotas
COLECTOR	XANTATO AMÍLICO DE POTASIO Z6
CANTIDAD DE COLECTOR	0,15 ml

PESO CONCENTRADO	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
31,8	Z6	8	6,62	57,99

Tabla 5.14 Concentración y recuperación de Cu, colector-Z6, pH 9, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#2
PRUEBA DEL DISEÑO	#10

PESO DEL MATERIAL INICIAL	300 gr
PESO CONCENTRADO	19,8 gr
PESO COLAS	280,2 gr
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	1,21%
CANTIDAD DE AGUA	700 ml

TIEMPO DE AGITACIÓN	4 min
TIEMPO DE RETENCIÓN	3 min
TIEMPO DE FLOTACIÓN	7min

pH INICIAL	8
pH FINAL	9

ESPUMANTE	ER- 370
CANTIDAD DE ESPUMANTE	2 Gotas
COLECTOR	XANTATO AMÍLICO DE POTASIO Z6
CANTIDAD DE COLECTOR	0,15 ml

PESO CONCENTRADO	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
19,8	Z6	9	10,73	58,53

Tabla 5.15 Concentración y recuperación de Cu, colector-Z6, pH 9, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#2
PRUEBA DEL DISEÑO	#11

PESO DEL MATERIAL INICIAL	300 gr
PESO CONCENTRADO	36 gr
PESO COLAS	264 gr
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	1,21%
CANTIDAD DE AGUA	700 ml

TIEMPO DE AGITACIÓN	4 min
TIEMPO DE RETENCIÓN	3 min
TIEMPO DE FLOTACIÓN	7min

pH INICIAL	8
pH FINAL	10

ESPUMANTE	ER- 370
CANTIDAD DE ESPUMANTE	2 Gotas
COLECTOR	XANTATO AMÍLICO DE POTASIO Z6
CANTIDAD DE COLECTOR	0,15 ml

PESO CONCENTRADO	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
36	Z6	10	6,26	62,08

Tablas de análisis de concentrados experimento 3.

Tabla 5.16. Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 9, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#3
PRUEBA DEL DISEÑO	#14

PESO DEL MATERIAL INICIAL	300 gr
PESO CONCENTRADO	26,9 gr
PESO COLAS	273,1 gr
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	1,21%
CANTIDAD DE AGUA	700 ml

TIEMPO DE AGITACIÓN	4 min
TIEMPO DE RETENCIÓN	3 min
TIEMPO DE FLOTACIÓN	7min

PH INICIAL	8
PH FINAL	9

ESPUMANTE	ER- 370
CANTIDAD DE ESPUMANTE	2 Gotas
COLECTOR	DITIOFOSFATO AR- 1208
CANTIDAD DE COLECTOR	0,09 ml

PESO CONCENTRADO	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
26,9	208	9	8,55	63,36

Tabla 5.17 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 8, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#3
PRUEBA DEL DISEÑO	#15

PESO DEL MATERIAL INICIAL	300 gr
PESO CONCENTRADO	24,9 gr
PESO COLAS	275,1 gr
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	1,21%
CANTIDAD DE AGUA	700 ml

TIEMPO DE AGITACIÓN	4 min
TIEMPO DE RETENCIÓN	3 min
TIEMPO DE FLOTACIÓN	7min

pH INICIAL	8
pH FINAL	8

ESPUMANTE	ER- 370
CANTIDAD DE ESPUMANTE	2 Gotas
COLECTOR	DITIOFOSFATO AR- 242
CANTIDAD DE COLECTOR	0,13 ml

PESO CONCENTRADO	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
24,9	242	8	8,42	57,76

Tablas de análisis de concentrados experimento 4.

Tabla 5.18 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 8, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#4
PRUEBA DEL DISEÑO	#16

PESO DEL MATERIAL INICIAL	300 gr
PESO CONCENTRADO	27,1 gr
PESO COLAS	272,9 gr
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	1,21%
CANTIDAD DE AGUA	700 ml

TIEMPO DE AGITACIÓN	4 min
TIEMPO DE RETENCIÓN	3 min
TIEMPO DE FLOTACIÓN	7min

pH INICIAL	8
pH FINAL	8

ESPUMANTE	ER- 370
CANTIDAD DE ESPUMANTE	2 Gotas
COLECTOR	DITIOFOSFATO AR- 242
CANTIDAD DE COLECTOR	0,13 ml

PESO CONCENTRADO	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
27,1	242	8	8,10	60,47

Tabla 5.19 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 9, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#4
PRUEBA DEL DISEÑO	#17

PESO DEL MATERIAL INICIAL	300 gr
PESO CONCENTRADO	32,1 gr
PESO COLAS	267,9 gr
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	1,21%
CANTIDAD DE AGUA	700 ml

TIEMPO DE AGITACIÓN	4 min
TIEMPO DE RETENCIÓN	3 min
TIEMPO DE FLOTACIÓN	7min

pH INICIAL	8
pH FINAL	9

ESPUMANTE	ER- 370
CANTIDAD DE ESPUMANTE	2 Gotas
COLECTOR	DITIOFOSFATO AR- 242
CANTIDAD DE COLECTOR	0,13 ml

PESO CONCENTRADO	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
32,1	242	9	7,09	62,70

Tablas de análisis de concentrados experimento 5.*Tabla 5.20* Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 9, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#5
PRUEBA DEL DISEÑO	#18

PESO DEL MATERIAL INICIAL	300 gr
PESO CONCENTRADO	25,4 gr
PESO COLAS	274,6 gr
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	1,21%
CANTIDAD DE AGUA	700 ml

TIEMPO DE AGITACIÓN	4 min
TIEMPO DE RETENCIÓN	3 min
TIEMPO DE FLOTACIÓN	7min

pH INICIAL	8
pH FINAL	9

ESPUMANTE	ER- 370
CANTIDAD DE ESPUMANTE	2 Gotas
COLECTOR	DITIOFOSFATO AR- 1208
CANTIDAD DE COLECTOR	0,09 ml

PESO CONCENTRADO	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
25,4	208	9	8,86	62,00

Tabla 5.21 Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 10, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#5
PRUEBA DEL DISEÑO	#19

PESO DEL MATERIAL INICIAL	300 gr
PESO CONCENTRADO	26,4 gr
PESO COLAS	273,6 gr
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	1,21%
CANTIDAD DE AGUA	700 ml

TIEMPO DE AGITACIÓN	4 min
TIEMPO DE RETENCIÓN	3 min
TIEMPO DE FLOTACIÓN	7min

pH INICIAL	8
pH FINAL	10

ESPUMANTE	ER- 370
CANTIDAD DE ESPUMANTE	2 Gotas
COLECTOR	DITIOFOSFATO AR- 1208
CANTIDAD DE COLECTOR	0,09 ml

PESO CONCENTRADO	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
26,4	208	10	9	65,45

Tabla 5.22 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 9, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#5
PRUEBA DEL DISEÑO	#22

PESO DEL MATERIAL INICIAL	300 gr
PESO CONCENTRADO	34,8 gr
PESO COLAS	265,2 gr
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	1,21%
CANTIDAD DE AGUA	700 ml

TIEMPO DE AGITACIÓN	4 min
TIEMPO DE RETENCIÓN	3 min
TIEMPO DE FLOTACIÓN	7min

pH INICIAL	8
pH FINAL	9

ESPUMANTE	ER- 370
CANTIDAD DE ESPUMANTE	2 Gotas
COLECTOR	DITIOFOSFATO AR- 1242
CANTIDAD DE COLECTOR	0,13 ml

PESO CONCENTRADO	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
34,8	242	9	6,83	65,48

Tabla 5.23 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 10, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#5
PRUEBA DEL DISEÑO	#23

PESO DEL MATERIAL INICIAL	300 gr
PESO CONCENTRADO	42,9 gr
PESO COLAS	257,1 gr
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	1,21%
CANTIDAD DE AGUA	700 ml

TIEMPO DE AGITACIÓN	4 min
TIEMPO DE RETENCIÓN	3 min
TIEMPO DE FLOTACIÓN	7min

pH INICIAL	8
pH FINAL	10

ESPUMANTE	ER- 370
CANTIDAD DE ESPUMANTE	2 Gotas
COLECTOR	DITIOFOSFATO AR- 1242
CANTIDAD DE COLECTOR	0,13 ml

PESO CONCENTRADO	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
42,9	242	10	5,44	64,29

Tabla 5.24 Concentración y recuperación de Cu, colector-Z6, pH 9, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#5
PRUEBA DEL DISEÑO	#20

PESO DEL MATERIAL INICIAL	300 gr
PESO CONCENTRADO	49,4 gr
PESO COLAS	250,6 gr
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	1,21%
CANTIDAD DE AGUA	700 ml

TIEMPO DE AGITACIÓN	4 min
TIEMPO DE RETENCIÓN	3 min
TIEMPO DE FLOTACIÓN	7min

pH INICIAL	8
pH FINAL	9

ESPUMANTE	ER- 370
CANTIDAD DE ESPUMANTE	2 Gotas
COLECTOR	XANTATO AMÍLICO DE POTÁSICO Z6
CANTIDAD DE COLECTOR	0,15 ml

PESO CONCENTRADO	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
49,4	Z6	9	4,43	60,29

Tabla 5.25 Concentración y recuperación de Cu, colector-Z6, pH 10, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#5
PRUEBA DEL DISEÑO	#21

PESO DEL MATERIAL INICIAL	300 gr
PESO CONCENTRADO	47,5 gr
PESO COLAS	252,5 gr
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	1,21%
CANTIDAD DE AGUA	700 ml

TIEMPO DE AGITACIÓN	4 min
TIEMPO DE RETENCIÓN	3 min
TIEMPO DE FLOTACIÓN	7min

pH INICIAL	8
pH FINAL	10

ESPUMANTE	ER- 370
CANTIDAD DE ESPUMANTE	2 Gotas
COLECTOR	XANTATO AMÍLICO DE POTÁSICO Z6
CANTIDAD DE COLECTOR	0,15 ml

PESO CONCENTRADO	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
47,5	Z6	10	5,09	66,60

Tablas de análisis de concentrados experimento 6.

Tabla 5.26 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 9, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#6
PRUEBA DEL DISEÑO	#24

PESO DEL MATERIAL INICIAL	300 gr
PESO CONCENTRADO	46,8 gr
PESO COLAS	253,2 gr
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	1,21%
CANTIDAD DE AGUA	700 ml

TIEMPO DE AGITACIÓN	4 min
TIEMPO DE RETENCIÓN	3 min
TIEMPO DE FLOTACIÓN	7min

pH INICIAL	8
pH FINAL	9

ESPUMANTE	ER- 370
CANTIDAD DE ESPUMANTE	2 Gotas
COLECTOR	DITIOFOSFATO AR- 1242
CANTIDAD DE COLECTOR	0,13 ml

PESO CONCENTRADO	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
46,8	242	9	5,09	65,62

Tabla 5.27 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 10, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#6
PRUEBA DEL DISEÑO	#25

PESO DEL MATERIAL INICIAL	300 gr
PESO CONCENTRADO	35,1 gr
PESO COLAS	264,9 gr
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	1,21%
CANTIDAD DE AGUA	700 ml

TIEMPO DE AGITACIÓN	4 min
TIEMPO DE RETENCIÓN	3 min
TIEMPO DE FLOTACIÓN	7min

pH INICIAL	8
pH FINAL	10

ESPUMANTE	ER- 370
CANTIDAD DE ESPUMANTE	2 Gotas
COLECTOR	DITIOFOSFATO AR- 1242
CANTIDAD DE COLECTOR	0,13 ml

PESO CONCENTRADO	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
35,1	242	10	6,3	60,92

Tablas de análisis de colas experimento 1.*Tabla 5.28 Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 8, obtenidos del balance de masas.*

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#1
PRUEBA DEL DISEÑO	#1

PESO DEL MATERIAL CABEZA	(gr)	300
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	(%)	1,21
PESO CONCENTRADO	(gr)	21,8
CONCENTRADO DE COBRE EN CONCENTRADO	(%)	9,48
PESO DE COLAS	(gr)	278,2
CANTIDAD DE AGUA	(ml)	700

TIEMPO DE AGITACIÓN	(min)	4
TIEMPO DE RETENCIÓN	(min)	3
TIEMPO DE FLOTACIÓN	(min)	7

pH INICIAL	(-)	8
pH FINAL	(-)	8

ESPUMANTE		ER- 370
CANTIDAD COLECTOR		2 Gotas
COLECTOR		DITIOFOSFATO AR- 1208
CANTIDAD DE COLECTOR	(ml)	0,09

PESO COLA	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
278,2	208	8	0,56	43,07

Tabla 5.29 Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 10, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#1
PRUEBA DEL DISEÑO	#2

PESO DEL MATERIAL CABEZA	(gr)	300
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	(%)	1,21
PESO CONCENTRADO	(gr)	54,5
CONCENTRADO DE COBRE EN CONCENTRADO	(%)	4,61
PESO DE COLAS	(gr)	245,5
CANTIDAD DE AGUA	(ml)	700

TIEMPO DE AGITACIÓN	(min)	4
TIEMPO DE RETENCIÓN	(min)	3
TIEMPO DE FLOTACIÓN	(min)	7

pH INICIAL	(-)	8
pH FINAL	(-)	10

ESPUMANTE		ER- 370
CANTIDAD COLECTOR		2 Gotas
COLECTOR		DITIOFOSFATO AR- 1208
CANTIDAD DE COLECTOR	(ml)	0,09

PESO COLA	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
245,5	208	10	0,46	30,79

Tabla 5.30 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 10, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#1
PRUEBA DEL DISEÑO	#5

PESO DEL MATERIAL CABEZA	(gr)	300
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	(%)	1,21
PESO CONCENTRADO	(gr)	19,8
CONCENTRADO DE COBRE EN CONCENTRADO	(%)	11,38
PESO DE COLAS	(gr)	280,2
CANTIDAD DE AGUA	(ml)	700

TIEMPO DE AGITACIÓN	(min)	4
TIEMPO DE RETENCIÓN	(min)	3
TIEMPO DE FLOTACIÓN	(min)	7

pH INICIAL	(-)	8
pH FINAL	(-)	10

ESPUMANTE		ER- 370
CANTIDAD COLECTOR		2 Gotas
COLECTOR		DITIOFOSFATO AR- 1242
CANTIDAD DE COLECTOR	(ml)	0,09

PESO COLA	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
280,2	242	10	0,49	37,93

Tabla 5.31 Concentración y recuperación de Cu, colector-Z6, pH 8, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#3
PRUEBA DEL DISEÑO	#1

PESO DEL MATERIAL CABEZA	(gr)	300
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	(%)	1,21
PESO CONCENTRADO	(gr)	17,1
CONCENTRADO DE COBRE EN CONCENTRADO	(%)	12,66
PESO DE COLAS	(gr)	282,9
CANTIDAD DE AGUA	(ml)	700

TIEMPO DE AGITACIÓN	(min)	4
TIEMPO DE RETENCIÓN	(min)	3
TIEMPO DE FLOTACIÓN	(min)	7

pH INICIAL	(-)	8
pH FINAL	(-)	8

ESPUMANTE		ER- 370
CANTIDAD COLECTOR		2 Gotas
COLECTOR		XANTATO AMÍLICO DE POTASIO Z-6
CANTIDAD DE COLECTOR	(ml)	0,09

PESO COLA	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
282,9	Z-6	8	0,52	40,36

Tabla 5.32 Concentración y recuperación de Cu, colector-Z6, pH 10, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#1
PRUEBA DEL DISEÑO	#4

PESO DEL MATERIAL CABEZA	(gr)	300
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	(%)	1,21
PESO CONCENTRADO	(gr)	39,9
CONCENTRADO DE COBRE EN CONCENTRADO	(%)	5,85
PESO DE COLAS	(gr)	260,1
CANTIDAD DE AGUA	(ml)	700

TIEMPO DE AGITACIÓN	(min)	4
TIEMPO DE RETENCIÓN	(min)	3
TIEMPO DE FLOTACIÓN	(min)	7

pH INICIAL	(-)	8
pH FINAL	(-)	10

ESPUMANTE		ER- 370
CANTIDAD COLECTOR		2 Gotas
COLECTOR		XANTATO AMÍLICO DE POTASIO Z-6
CANTIDAD DE COLECTOR	(ml)	0,09

PESO COLA	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
260,1	Z-6	10	0,50	35,70

Tablas de análisis de colas experimento 2.

Tabla 5.33 Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 9, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#2
PRUEBA DEL DISEÑO	#7

PESO DEL MATERIAL CABEZA	(gr)	300
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	(%)	1,21
PESO CONCENTRADO	(gr)	15,2
CONCENTRADO DE COBRE EN CONCENTRADO	(%)	14,55
PESO DE COLAS	(gr)	284,8
CANTIDAD DE AGUA	(ml)	700

TIEMPO DE AGITACIÓN	(min)	4
TIEMPO DE RETENCIÓN	(min)	3
TIEMPO DE FLOTACIÓN	(min)	7

pH INICIAL	(-)	8
pH FINAL	(-)	9

ESPUMANTE		ER- 370
CANTIDAD COLECTOR		2 Gotas
COLECTOR		DITIOFOSFATO AR- 1208
CANTIDAD DE COLECTOR	(ml)	0,09

PESO COLA	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
284,8	208	9	0,50	39,07

Tabla 5.34 Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 8, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#2
PRUEBA DEL DISEÑO	#6

PESO DEL MATERIAL CABEZA	(gr)	300
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	(%)	1,21
PESO CONCENTRADO	(gr)	28,7
CONCENTRADO DE COBRE EN CONCENTRADO	(%)	7,49
PESO DE COLAS	(gr)	271,3
CANTIDAD DE AGUA	(ml)	700

TIEMPO DE AGITACIÓN	(min)	4
TIEMPO DE RETENCIÓN	(min)	3
TIEMPO DE FLOTACIÓN	(min)	7

pH INICIAL	(-)	8
pH FINAL	(-)	8

ESPUMANTE		ER- 370
CANTIDAD COLECTOR		2 Gotas
COLECTOR		DITIOFOSFATO AR- 1208
CANTIDAD DE COLECTOR	(ml)	0,09

PESO COLA	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
271,3	208	8	0,55	40,78

Tabla 5.35 Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 10, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#2
PRUEBA DEL DISEÑO	#8

PESO DEL MATERIAL CABEZA	(gr)	300
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	(%)	1,21
PESO CONCENTRADO	(gr)	36,7
CONCENTRADO DE COBRE EN CONCENTRADO	(%)	6,61
PESO DE COLAS	(gr)	263,3
CANTIDAD DE AGUA	(ml)	700

TIEMPO DE AGITACIÓN	(min)	4
TIEMPO DE RETENCIÓN	(min)	3
TIEMPO DE FLOTACIÓN	(min)	7

pH INICIAL	(-)	8
pH FINAL	(-)	10

ESPUMANTE		ER- 370
CANTIDAD COLECTOR		2 Gotas
COLECTOR		DITIOFOSFATO AR- 1208
CANTIDAD DE COLECTOR	(ml)	0,09

PESO COLA	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
263,3	208	10	0,46	33,17

Tabla 5.36 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 8, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#2
PRUEBA DEL DISEÑO	#12

PESO DEL MATERIAL CABEZA	(gr)	300
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	(%)	1,21
PESO CONCENTRADO	(gr)	14,6
CONCENTRADO DE COBRE EN CONCENTRADO	(%)	13,88
PESO DE COLAS	(gr)	285,4
CANTIDAD DE AGUA	(ml)	700

TIEMPO DE AGITACIÓN	(min)	4
TIEMPO DE RETENCIÓN	(min)	3
TIEMPO DE FLOTACIÓN	(min)	7

pH INICIAL	(-)	8
pH FINAL	(-)	8

ESPUMANTE		ER- 370
CANTIDAD COLECTOR		2 Gotas
COLECTOR		DITIOFOSFATO AR- 1242
CANTIDAD DE COLECTOR	(ml)	0,09

PESO COLA	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
285,4	242	8	0,56	44,17

Tabla 5.37 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 9, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#13
PRUEBA DEL DISEÑO	#2

PESO DEL MATERIAL CABEZA	(gr)	300
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	(%)	1,21
PESO CONCENTRADO	(gr)	19,7
CONCENTRADO DE COBRE EN CONCENTRADO	(%)	11,70
PESO DE COLAS	(gr)	280,3
CANTIDAD DE AGUA	(ml)	700

TIEMPO DE AGITACIÓN	(min)	4
TIEMPO DE RETENCIÓN	(min)	3
TIEMPO DE FLOTACIÓN	(min)	7

pH INICIAL	(-)	8
pH FINAL	(-)	9

ESPUMANTE		ER- 370
CANTIDAD COLECTOR		2 Gotas
COLECTOR		DITIOFOSFATO AR- 1242
CANTIDAD DE COLECTOR	(ml)	0,09

PESO COLA	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
280,3	242	9	0,47	36,50

Tabla 5.38 Concentración y recuperación de Cu, colector-Z6, pH 8, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#2
PRUEBA DEL DISEÑO	#9

PESO DEL MATERIAL CABEZA	(gr)	300
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	(%)	1,21
PESO CONCENTRADO	(gr)	31,8
CONCENTRADO DE COBRE EN CONCENTRADO	(%)	6,62
PESO DE COLAS	(gr)	268,2
CANTIDAD DE AGUA	(ml)	700

TIEMPO DE AGITACIÓN	(min)	4
TIEMPO DE RETENCIÓN	(min)	3
TIEMPO DE FLOTACIÓN	(min)	7

pH INICIAL	(-)	8
pH FINAL	(-)	8

ESPUMANTE		ER- 370
CANTIDAD COLECTOR		2 Gotas
COLECTOR		XANTATO AMÍLICO DE POTASIO Z-6
CANTIDAD DE COLECTOR	(ml)	0,09

PESO COLA	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
268,2	Z-6	8	0,57	42,01

Tabla 5.39 Concentración y recuperación de Cu, colector-Z6, pH 9, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#2
PRUEBA DEL DISEÑO	#10

PESO DEL MATERIAL CABEZA	(gr)	300
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	(%)	1,21
PESO CONCENTRADO	(gr)	19,8
CONCENTRADO DE COBRE EN CONCENTRADO	(%)	10,73
PESO DE COLAS	(gr)	280,2
CANTIDAD DE AGUA	(ml)	700

TIEMPO DE AGITACIÓN	(min)	4
TIEMPO DE RETENCIÓN	(min)	3
TIEMPO DE FLOTACIÓN	(min)	7

pH INICIAL	(-)	8
pH FINAL	(-)	9

ESPUMANTE		ER- 370
CANTIDAD COLECTOR		2 Gotas
COLECTOR		XANTATO AMÍLICO DE POTASIO Z-6
CANTIDAD DE COLECTOR	(ml)	0,09

PESO COLA	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
280,2	z-6	9	0,54	41,47

Tabla 5.40 Concentración y recuperación de Cu, colector-Z6, pH 10, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#2
PRUEBA DEL DISEÑO	#11

PESO DEL MATERIAL CABEZA	(gr)	300
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	(%)	1,21
PESO CONCENTRADO	(gr)	36
CONCENTRADO DE COBRE EN CONCENTRADO	(%)	6,26
PESO DE COLAS	(gr)	264
CANTIDAD DE AGUA	(ml)	700

TIEMPO DE AGITACIÓN	(min)	4
TIEMPO DE RETENCIÓN	(min)	3
TIEMPO DE FLOTACIÓN	(min)	7

pH INICIAL	(-)	8
pH FINAL	(-)	10

ESPUMANTE		ER- 370
CANTIDAD COLECTOR		2 Gotas
COLECTOR		XANTATO AMÍLICO DE POTASIO Z-6
CANTIDAD DE COLECTOR	(ml)	0,09

PESO COLA	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
264	Z-6	10	0,52	37,92

Tablas de análisis de colas experimento 3.

Tabla 5.41 Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 9, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#3
PRUEBA DEL DISEÑO	#14

PESO DEL MATERIAL CABEZA	(gr)	300
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	(%)	1,21
PESO CONCENTRADO	(gr)	26,9
CONCENTRADO DE COBRE EN CONCENTRADO	(%)	8,55
PESO DE COLAS	(gr)	273,1
CANTIDAD DE AGUA	(ml)	700

TIEMPO DE AGITACIÓN	(min)	4
TIEMPO DE RETENCIÓN	(min)	3
TIEMPO DE FLOTACIÓN	(min)	7

pH INICIAL	(-)	8
pH FINAL	(-)	9

ESPUMANTE		ER- 370
CANTIDAD COLECTOR		2 Gotas
COLECTOR		DITIOFOSFATO AR- 1208
CANTIDAD DE COLECTOR	(ml)	0,09

PESO COLA	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
273,1	208	9	0,49	36,64

Tabla 5.42 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 8, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#3
PRUEBA DEL DISEÑO	#15

PESO DEL MATERIAL CABEZA	(gr)	300
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	(%)	1,21
PESO CONCENTRADO	(gr)	24,9
CONCENTRADO DE COBRE EN CONCENTRADO	(%)	8,42
PESO DE COLAS	(gr)	275,1
CANTIDAD DE AGUA	(ml)	700

TIEMPO DE AGITACIÓN	(min)	4
TIEMPO DE RETENCIÓN	(min)	3
TIEMPO DE FLOTACIÓN	(min)	7

pH INICIAL	(-)	8
pH FINAL	(-)	8

ESPUMANTE		ER- 370
CANTIDAD COLECTOR		2 Gotas
COLECTOR		DITIOFOSFATO AR- 1242
CANTIDAD DE COLECTOR	(ml)	0,09

PESO COLA	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
275,1	242	8	0,56	42,24

Tablas de análisis de colas experimento 4.

Tabla 5.43 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 8, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#4
PRUEBA DEL DISEÑO	#16

PESO DEL MATERIAL CABEZA	(gr)	300
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	(%)	1,21
PESO CONCENTRADO	(gr)	27,1
CONCENTRADO DE COBRE EN CONCENTRADO	(%)	8,10
PESO DE COLAS	(gr)	272,9
CANTIDAD DE AGUA	(ml)	700

TIEMPO DE AGITACIÓN	(min)	4
TIEMPO DE RETENCIÓN	(min)	3
TIEMPO DE FLOTACIÓN	(min)	7

pH INICIAL	(-)	8
pH FINAL	(-)	8

ESPUMANTE		ER- 370
CANTIDAD COLECTOR		2 Gotas
COLECTOR		DITIOFOSFATO AR- 1242
CANTIDAD DE COLECTOR	(ml)	0,09

PESO COLA	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
272,9	242	8	0,53	39,53

Tabla 5.44 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 9, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#4
PRUEBA DEL DISEÑO	#17

PESO DEL MATERIAL CABEZA	(gr)	300
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	(%)	1,21
PESO CONCENTRADO	(gr)	32,1
CONCENTRADO DE COBRE EN CONCENTRADO	(%)	7,09
PESO DE COLAS	(gr)	267,9
CANTIDAD DE AGUA	(ml)	700

TIEMPO DE AGITACIÓN	(min)	4
TIEMPO DE RETENCIÓN	(min)	3
TIEMPO DE FLOTACIÓN	(min)	7

pH INICIAL	(-)	8
pH FINAL	(-)	9

ESPUMANTE		ER- 370
CANTIDAD COLECTOR		2 Gotas
COLECTOR		DITIOFOSFATO AR- 1242
CANTIDAD DE COLECTOR	(ml)	0,09

PESO COLA	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
267,9	242	9	0,51	37,30

Tablas de análisis de colas experimento 5.

Tabla 5.45 Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 9, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#5
PRUEBA DEL DISEÑO	#18

PESO DEL MATERIAL CABEZA	(gr)	300
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	(%)	1,21
PESO CONCENTRADO	(gr)	25,4
CONCENTRADO DE COBRE EN CONCENTRADO	(%)	8,86
PESO DE COLAS	(gr)	274,6
CANTIDAD DE AGUA	(ml)	700

TIEMPO DE AGITACIÓN	(min)	4
TIEMPO DE RETENCIÓN	(min)	3
TIEMPO DE FLOTACIÓN	(min)	7

pH INICIAL	(-)	8
pH FINAL	(-)	9

ESPUMANTE		ER- 370
CANTIDAD COLECTOR		2 Gotas
COLECTOR		DITIOFOSFATO AR- 1208
CANTIDAD DE COLECTOR	(ml)	0,09

PESO COLA	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
274,6	208	9	0,50	38,00

Tabla 5.46 Concentración y recuperación de Cu, colector-1208, pH 10, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#5
PRUEBA DEL DISEÑO	#19

PESO DEL MATERIAL CABEZA	(gr)	300
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	(%)	1,21
PESO CONCENTRADO	(gr)	26,4
CONCENTRADO DE COBRE EN CONCENTRADO	(%)	9,00
PESO DE COLAS	(gr)	273,6
CANTIDAD DE AGUA	(ml)	700

TIEMPO DE AGITACIÓN	(min)	4
TIEMPO DE RETENCIÓN	(min)	3
TIEMPO DE FLOTACIÓN	(min)	7

pH INICIAL	(-)	8
pH FINAL	(-)	10

ESPUMANTE		ER- 370
CANTIDAD COLECTOR		2 Gotas
COLECTOR		DITIOFOSFATO AR- 1208
CANTIDAD DE COLECTOR	(ml)	0,09

PESO COLA	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
273,6	208	10	0,46	34,55

Tabla 5.47 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 9, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#5
PRUEBA DEL DISEÑO	#22

PESO DEL MATERIAL CABEZA	(gr)	300
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	(%)	1,21
PESO CONCENTRADO	(gr)	34,8
CONCENTRADO DE COBRE EN CONCENTRADO	(%)	6,83
PESO DE COLAS	(gr)	265,2
CANTIDAD DE AGUA	(ml)	700

TIEMPO DE AGITACIÓN	(min)	4
TIEMPO DE RETENCIÓN	(min)	3
TIEMPO DE FLOTACIÓN	(min)	7

pH INICIAL	(-)	8
pH FINAL	(-)	9

ESPUMANTE		ER- 370
CANTIDAD COLECTOR		2 Gotas
COLECTOR		DITIOFOSFATO AR- 1242
CANTIDAD DE COLECTOR	(ml)	0,09

PESO COLA	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE CU	RECUPERACIÓN DE CU
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
265,2	242	9	0,47	34,52

Tabla 5.48 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 10, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#5
PRUEBA DEL DISEÑO	# 23

PESO DEL MATERIAL CABEZA	(gr)	300
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	(%)	1,21
PESO CONCENTRADO	(gr)	42,9
CONCENTRADO DE COBRE EN CONCENTRADO	(%)	5,44
PESO DE COLAS	(gr)	257,1
CANTIDAD DE AGUA	(ml)	700

TIEMPO DE AGITACIÓN	(min)	4
TIEMPO DE RETENCIÓN	(min)	3
TIEMPO DE FLOTACIÓN	(min)	7

pH INICIAL	(-)	8
pH FINAL	(-)	10

ESPUMANTE		ER- 370
CANTIDAD COLECTOR		2 Gotas
COLECTOR		DITIOFOSFATO AR- 1242
CANTIDAD DE COLECTOR	(ml)	0,09

PESO COLA	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
257,1	242	10	0,50	35,71

Tabla 5.49 Concentración y recuperación de Cu, colector-Z6, pH 9, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#5
PRUEBA DEL DISEÑO	#20

PESO DEL MATERIAL CABEZA	(gr)	300
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	(%)	1,21
PESO CONCENTRADO	(gr)	49,4
CONCENTRADO DE COBRE EN CONCENTRADO	(%)	4,43
PESO DE COLAS	(gr)	250,6
CANTIDAD DE AGUA	(ml)	700

TIEMPO DE AGITACIÓN	(min)	4
TIEMPO DE RETENCIÓN	(min)	3
TIEMPO DE FLOTACIÓN	(min)	7

pH INICIAL	(-)	8
pH FINAL	(-)	9

ESPUMANTE		ER- 370
CANTIDAD COLECTOR		2 Gotas
COLECTOR		XANTATO AMÍLICO DE POTASIO Z-6
CANTIDAD DE COLECTOR	(ml)	0,09

PESO COLA	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
250,6	z-6	9	0,58	39,71

Tabla 5.50 Concentración y recuperación de Cu, colector-Z6, pH 10, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#5
PRUEBA DEL DISEÑO	#21

PESO DEL MATERIAL CABEZA	(gr)	300
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	(%)	1,21
PESO CONCENTRADO	(gr)	47,5
CONCENTRADO DE COBRE EN CONCENTRADO	(%)	5,09
PESO DE COLAS	(gr)	252,5
CANTIDAD DE AGUA	(ml)	700

TIEMPO DE AGITACIÓN	(min)	4
TIEMPO DE RETENCIÓN	(min)	3
TIEMPO DE FLOTACIÓN	(min)	7

pH INICIAL	(-)	8
pH FINAL	(-)	10

ESPUMANTE		ER- 370
CANTIDAD COLECTOR		2 Gotas
COLECTOR		XANTATO AMÍLICO DE POTASIO Z-6
CANTIDAD DE COLECTOR	(ml)	0,09

PESO COLA	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
252,5	Z-6	10	0,48	33,40

Tablas de análisis de colas experimento 6.

Tabla 5.51 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 9, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#6
PRUEBA DEL DISEÑO	#24

PESO DEL MATERIAL CABEZA	(gr)	300
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	(%)	1,21
PESO CONCENTRADO	(gr)	46,8
CONCENTRADO DE COBRE EN CONCENTRADO	(%)	5,09
PESO DE COLAS	(gr)	253,2
CANTIDAD DE AGUA	(ml)	700

TIEMPO DE AGITACIÓN	(min)	4
TIEMPO DE RETENCIÓN	(min)	3
TIEMPO DE FLOTACIÓN	(min)	7

pH INICIAL	(-)	8
pH FINAL	(-)	9

ESPUMANTE		ER- 370
CANTIDAD COLECTOR		2 Gotas
COLECTOR		DITIOFOSFATO AR- 1242
CANTIDAD DE COLECTOR	(ml)	0,09

PESO COLA	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
253,2	242	9	0,49	34,38

Tabla 5.52 Concentración y recuperación de Cu, colector-1242, pH 10, obtenidos del balance de masas.

PROYECTO	CONCENTRACIÓN DE SULFUROS
ORDEN DE FLOTACIÓN	#6
PRUEBA DEL DISEÑO	#24

PESO DEL MATERIAL CABEZA	(gr)	300
CONCENTRADO DE COBRE EN CABEZA	(%)	1,21
PESO CONCENTRADO	(gr)	35,1
CONCENTRADO DE COBRE EN CONCENTRADO	(%)	6,30
PESO DE COLAS	(gr)	264,9
CANTIDAD DE AGUA	(ml)	700

TIEMPO DE AGITACIÓN	(min)	4
TIEMPO DE RETENCIÓN	(min)	3
TIEMPO DE FLOTACIÓN	(min)	7

pH INICIAL	(-)	8
pH FINAL	(-)	10

ESPUMANTE		ER- 370
CANTIDAD COLECTOR		2 Gotas
COLECTOR		DITIOFOSFATO AR- 1242
CANTIDAD DE COLECTOR	(ml)	0,09

PESO COLA	COLECTOR	PH	CONCENTRADO DE Cu	RECUPERACIÓN DE Cu
(gr)	(ml)	(-)	(%)	(%)
264,9	242	10	0,54	39,08

Anexo 2

Tablas y gráficos del porcentaje de recuperación de mineral de cobre en relación de cada colector con los distintos pH (8, 9, 10).

Tabla 5.53. Porcentaje de recuperación de cobre a partir del colector y pH.

colector	pH	Experimento 1		Experimento 2		Experimento 3		Experimento 4		Experimento 5		Experimento 6	
		concentración	Recuperación	concentración	Recuperación	concentración	Recuperación	concentración	Recuperación	concentración	Recuperación	concentración	Recuperación
[-]	[-]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
208	8	9,48	56,93	7,49	59,22								
208	9			14,55	60,93	8,55	63,36			8,86	62		
208	10	4,61	69,21	6,61	66,83					9	65,54		
z6	8	12,66	59,64	6,62	57,99								
z6	9			10,73	58,53					4,43	60,29		
z6	10	5,85	64,3	6,26	62,08					5,09	66,6		
242	8			13,88	55,83	8,42	57,76	8,1	60,47				
242	9			11,7	63,5			7,09	62,7	6,83	65,48	5,09	65,62
242	10	11,38	62,07							5,44	64,29	6,3	60,92

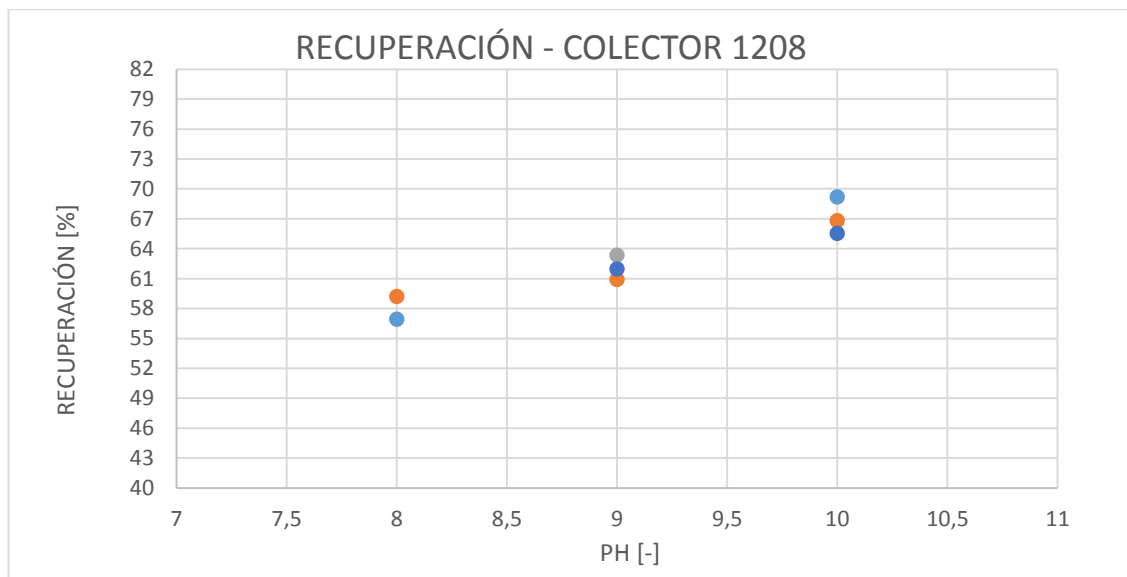


Figura 5.1 Relación recuperación pH, colector 1208, cada punto representa la recuperación de mineral de cobre en cada pH.

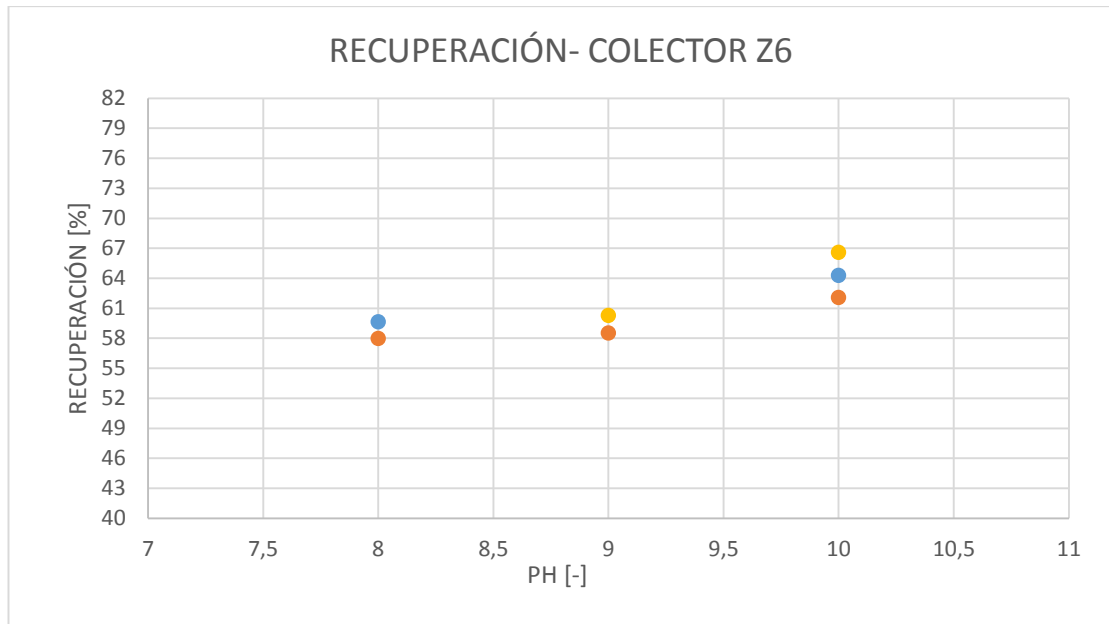


Figura 5.2 Relación recuperación pH, colector z6; cada punto representa la recuperación de mineral de cobre en cada pH.

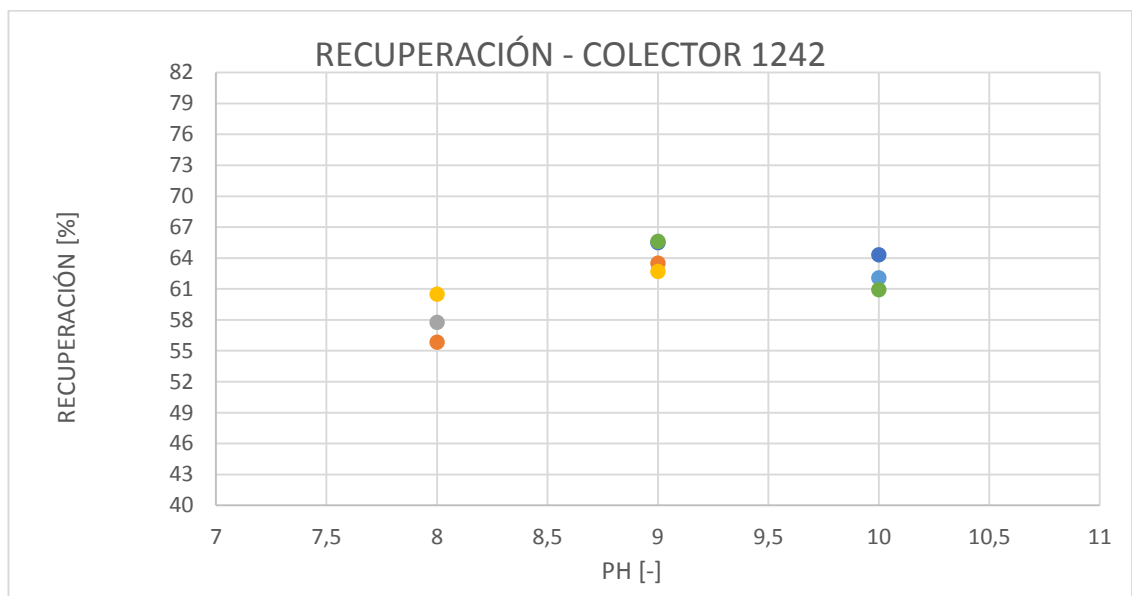


Figura 5.3 Relación recuperación pH, colector 1242, cada punto representa la recuperación de mineral de cobre en cada pH.

Tabla 5.54 Conjunto de valores de recuperación de acuerdo al colector y pH, obtenidos de los experimentos realizados.

Colector	pH	Recuperación
1208	8	56,93
1208	8	59,22
1208	9	60,93
1208	9	63,36
1208	9	62
1208	10	69,21
1208	10	66,83
1208	10	65,54
Z-6	8	59,64
Z-6	8	57,99
Z-6	9	58,53
Z-6	9	60,29
Z-6	10	64,3
Z-6	10	62,08
Z-6	10	66,6
1242	8	55,83
1242	8	57,76
1242	8	60,47
1242	9	63,5
1242	9	62,7
1242	9	65,48
1242	9	65,62
1242	10	62,07
1242	10	64,29
1242	10	60,92

Tabla 5.55 Análisis estadístico de recuperación de acuerdo al pH, obtenido con fórmulas estadísticas a partir de los resultados de los experimentos.

pH	Media	Desviación. estándar	Coeficiente Variación	Intervalo. Confianza	Valor. Min	Valor. Max
8	58,2628571	9,315202834	15,98823554	8,61512574	49,6477314	66,8779829
9	62,4900000	2,338626734	3,742401558	1,79762764	60,6923724	64,2876276
10	64,6488889	2,682510226	4,149352405	2,06195989	62,5869290	66,7108488

Tabla 5.56 Análisis estadístico de recuperación de acuerdo al colector, obtenido con fórmulas estadísticas a partir de los resultados de los experimentos.

Colector	Media	Desviación. Estándar	Coeficiente Variación	Intervalo. Confianza	Valor. Min	Valor. Max
1	63,0025	4,074876861	6,46780185	3,40668231	59,5958177	66,4091823
2	61,3471	3,164583776	5,158486001	2,92675185	58,4203910	64,2738947
3	61,8640	3,207155888	5,184203879	2,29426111	59,5697389	64,1582611

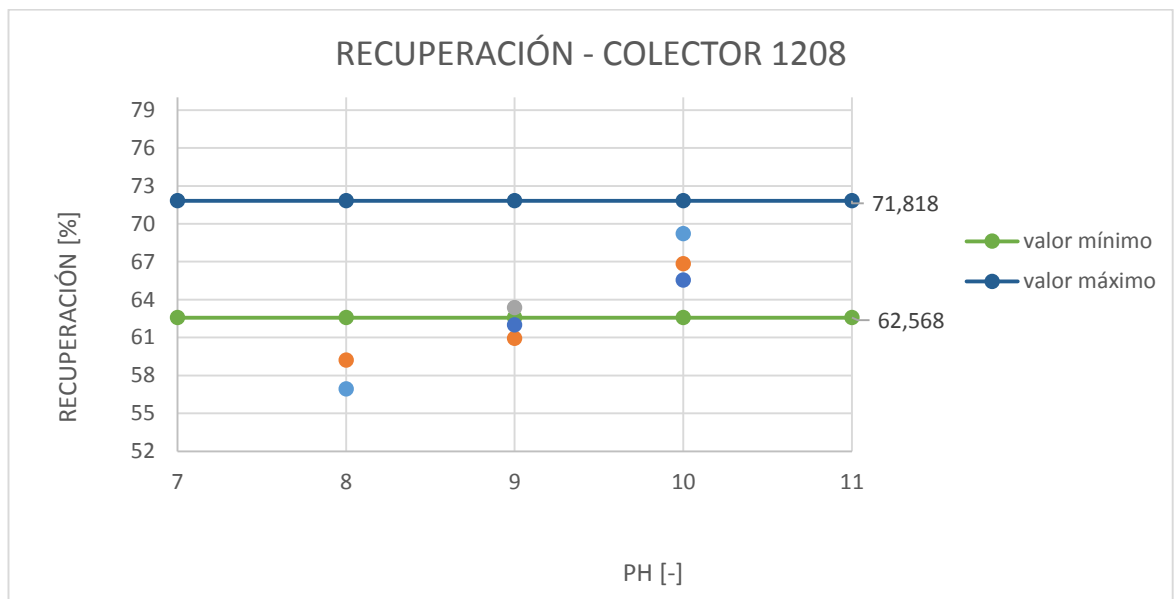


Figura 5.4 Valores mínimos y máximos de recuperación con el colector 1208.

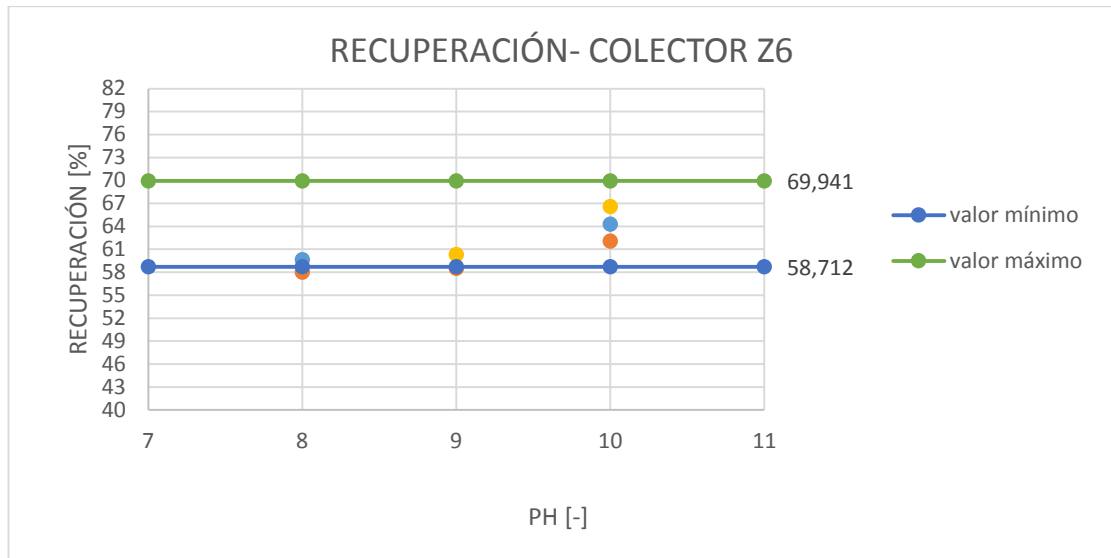


Figura 5.5 Valores mínimos y máximos de recuperación colector Z6.

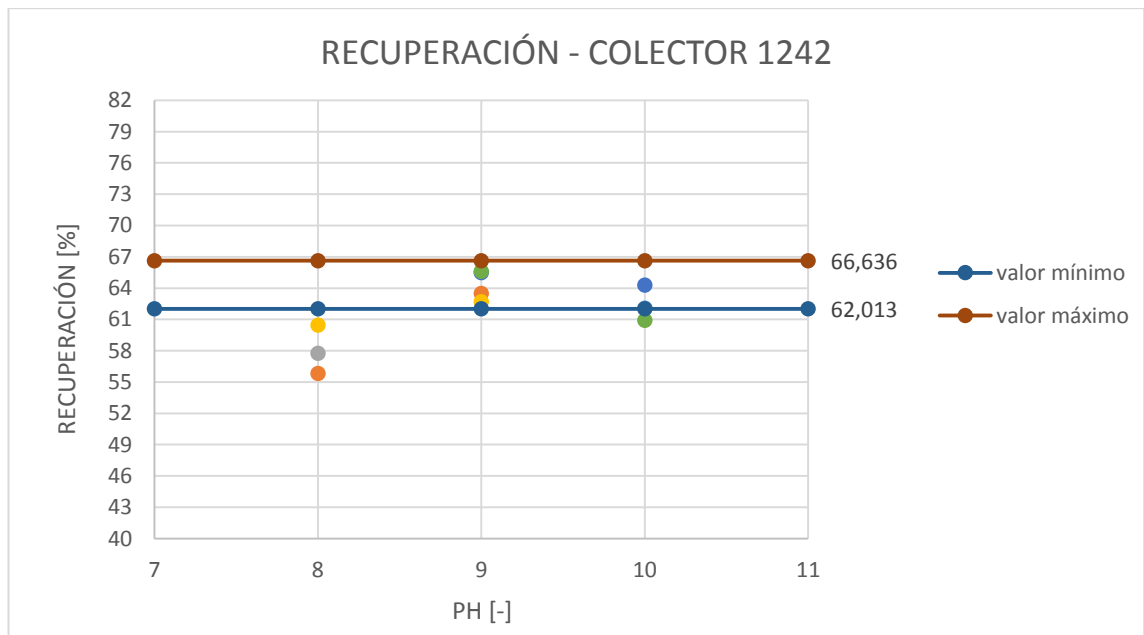


Figura 5.6 Valores mínimos y máximos de recuperación colector 1242.

Tabla 5.57 Valores máximo de recuperación colector-pH, obtenidos del análisis estadístico.

Colector	pH	Recuperación
1	10	69,21
1	10	66,83
1	10	65,54
2	10	64,3
2	10	62,08
2	10	66,6
3	9	63,5
3	9	62,7
3	9	65,48
3	9	65,62

Tabla 5.58 Análisis de aceptación de hipótesis.

α	0,05	
NIVEL DE CONFIANZA	95,0%	
Z	1,9600	
INTERVALO	-1,9599640	1,9599640
DATOS	C1-10	C2-10
μ	71,818	69,941
$\dot{x}$	67,193	64,327
σ	1,86	2,26
n	3	3
Z	1,695	Se acepta la hipótesis nula ya que el valor Z está dentro del intervalo

p	0,9545	95%
	0,0455	5%

Anexo 3

Modelo de distribución mediante el cálculo de tablas y gráficas de la línea de tendencia del porcentaje de recuperación esperada.

Tabla 5.59 Tabla datos distribución observa colector 1208, obtenidos de los experimentos.

	X observada (pH)	Y observada (recuperación)	xy	x ²	y ²
1	8	56,93	455,44	64	3241,0249
2	8	59,22	473,76	64	3507,0084
3	9	60,93	548,37	81	3712,4649
4	9	63,36	570,24	81	4014,4896
5	9	62	558	81	3844
6	10	69,21	692,1	100	4790,0241
7	10	66,83	668,3	100	4466,2489
8	10	65,54	655,4	100	4295,4916
Suma	8	73	504,02	4621,61	671
Promedio	9,13		63,00		

Tabla 5.60 Valores de la pendiente y punto de intersección colector 1208, obtenidos con las respectivas fórmulas.

m=	4,60	b=	21,02
----	------	----	-------

Tabla 5.61 Datos que debe tomar la distribución deseada colector 1208, obtenidos con las respectivas fórmulas.

X observada (pH)	Y esperada (recuperación)
8	57,83
8	57,83
9	62,43
9	62,43
9	62,43
10	67,03
10	67,03
10	67,03

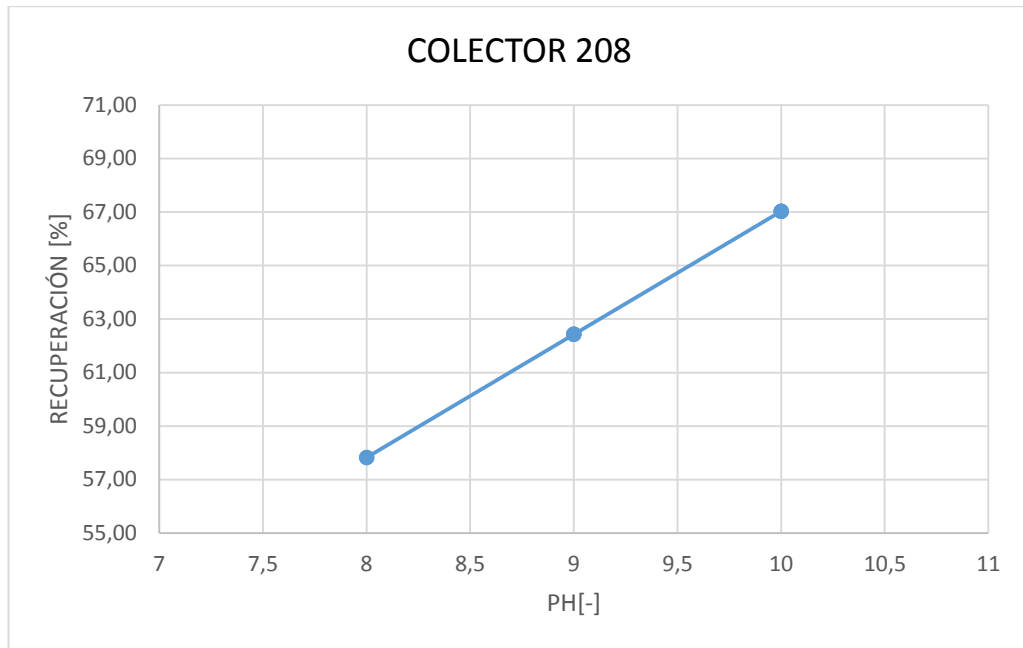


Figura 5.7 Representación de la distribución deseada de la recuperación de mineral de cobre con el colector 1208.

Tabla 5.62 Tabla datos distribución observa colector 1242, obtenidos de los experimentos.

	X observada (pH)	Y observada (recuperación)	xy	x ²	y ²
1	8	55,83	446,64	64	3116,9889
2	8	57,76	462,08	64	3336,2176
3	8	60,47	483,76	64	3656,6209
4	9	63,5	571,5	81	4032,25
5	9	62,7	564,3	81	3931,29
6	9	65,48	589,32	81	4287,6304
7	9	65,62	590,58	81	4305,9844
8	10	62,07	620,7	100	3852,6849
9	10	64,29	642,9	100	4133,2041
10	10	60,92	609,2	100	3711,2464
Suma	10	90	618,64	5580,98	816
Promedio	9,00	61,86			

Tabla 5.63 Valores de la pendiente y punto de intersección colector 1242, obtenidos con las respectivas fórmulas.

m=	2,20	b=	42,03
----	------	----	-------

Tabla 5.64 Datos que debe tomar la distribución deseada colector 1242, obtenidos con las respectivas fórmulas.

X observada (pH)	Y esperada (recuperación)
8	59,66
8	59,66
8	59,66
9	61,86
9	61,86
9	61,86
9	61,86
10	64,07
10	64,07
10	64,07

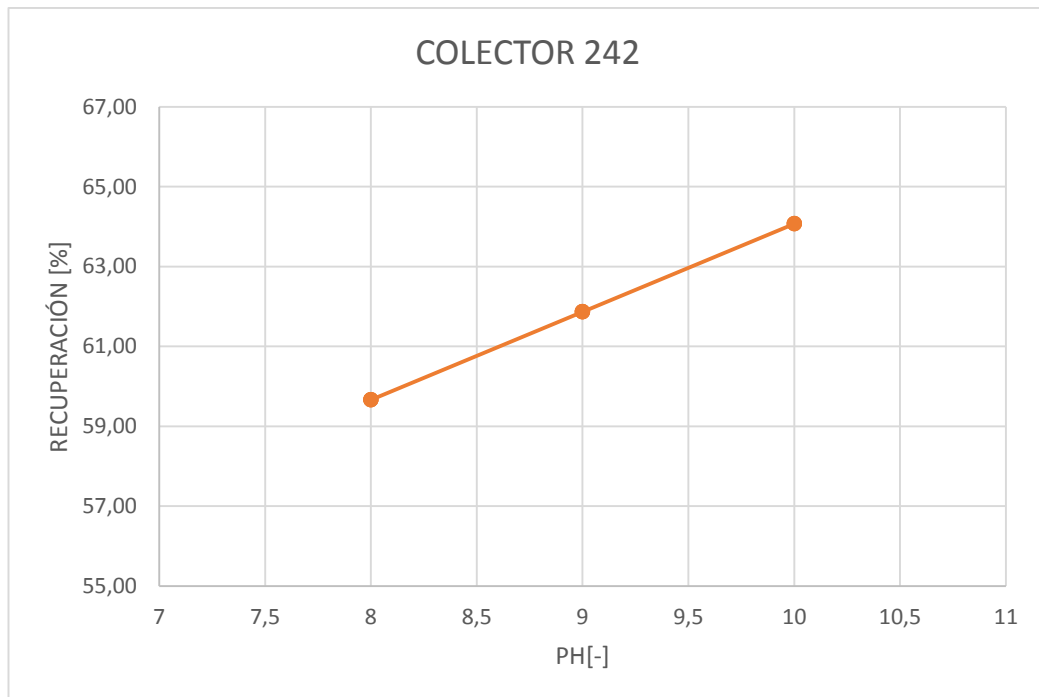


Figura 5.8 Representación de la distribución deseada de la recuperación de mineral de cobre con el colector 1242.

Tabla 5.65 Tabla datos distribución observa colector Z-6, obtenidos de los experimentos.

	X observada (pH)	Y observada (recuperación)	xy	x ²	y ²
1	8	59,64	477,12	64	3556,9296
2	8	57,99	463,92	64	3362,8401
3	9	58,53	526,77	81	3425,7609
4	9	60,29	542,61	81	3634,8841
5	10	64,3	643	100	4134,49
6	10	62,08	620,8	100	3853,9264
7	10	66,6	666	100	4435,56

Suma	7	64	429,43	3940,22	590	
------	---	----	--------	---------	-----	--

Promedio	9,14	61,35
----------	------	-------

Tabla 5.66 Valores de la pendiente y punto de intersección colector Z-6, obtenido con las respectivas fórmulas.

m=	2,88	b=	34,99
----	------	----	-------

Tabla 5.67 Datos que debe tomar la distribución deseada colector Z-6, obtenido con las respectivas fórmulas.

X observada (pH)	Y esperada (recuperación)
8	58,05
8	58,05
9	60,94
9	60,94
10	63,82
10	63,82
10	63,82

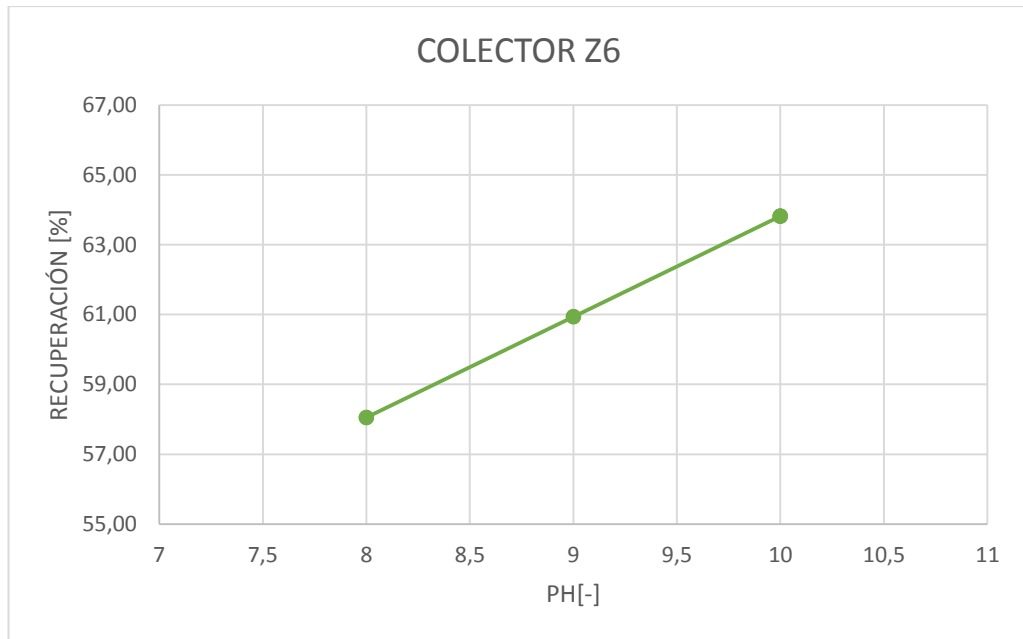


Figura 5.9 Representación de la distribución deseada de la recuperación de mineral de cobre con el colector Z-6.

Anexo 4

Recopilación fotográfica.



Figura 5.10 Cuarteo de material



Figura 5.11 Trituración de material.



Figura 5.12 Peso de cal para modificación del pH.



Figura 5.13 Proceso de flotación.