



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**“ESTUDIO DE ELECTROBENEFICIO DE IONES
NOCIVOS AL PROCESO DE FLOTACIÓN
SELECTIVA DE MENAS SULFURADAS DE Cu y Zn,
EN UNA PLANTA DE BENEFICIO”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO METALÚRGICO**

PRESENTA

DIEGO MISAEL FRÍAS VÁZQUEZ



CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX

2017



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: **Profesor:** **Antonio Huerta Cerdán**

VOCAL: **Profesor:** **Carlos Rodríguez Rivera**

SECRETARIO: **Profesor:** **Juan Manuel De La Rosa Canales**

1° SUPLENTE: **Profesor:** **José Fernando Flores Álvarez**

2° SUPLENTE: **Profesor:** **Blanca Paz Díaz**

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Domicilio Conocido S/N Mineral de Sabinas. C.P. 99100, Sombrerete Zacatecas, México.

Circuito de la Investigación Científica S/N Ciudad Universitaria. C.P. 04510, Coyoacán, Ciudad de México, México.

ASESOR DEL TEMA:

M. en C. Antonio Huerta Cerdán

SUSTENTANTE:

Diego Misael Frías Vázquez

Contenido

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO 1. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	3
2.1 Objetivos	4
2.1 Hipótesis	4
CAPÍTULO 2. GENERALIDADES DE LA EMPRESA	5
1.1 Historia y datos	6
1.2 Proceso	7
CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO	9
3.1 Beneficio de minerales	10
3.1.1 Proceso de flotación	11
3.1.2 Flotación de minerales de cobre y zinc	20
3.2 Recirculación de agua	22
3.3 Electrobeneficio de cobre	24
3.3.1 Electroquímica	25
3.4 Espectrometría por plasma (ICP)	29
CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA DE TRABAJO	31
4.1 Material y equipo	35
4.2 Diseño experimental	35
4.3 Desarrollo experimental	37
CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	50
5.1 Construcción de la celda	51
5.2 Caracterización del agua	51
5.3 Caracterización de la muestra	56
5.4 Electrobeneficio	59
5.5 Flotación	66
CONCLUSIONES	73
REFERENCIAS	74
ANEXOS	76

Resumen.

A través del tiempo la flotación ha sido operada con agua fresca y de recirculación proveniente de las etapas posteriores a la concentración, tales como el espesamiento tanto de colas como de concentrados, presas de jales, etc.

La presente investigación, tiene sus bases en la necesidad de la industria minero-metalúrgica en conocer los efectos de la recirculación del agua en sus procesos de flotación, ya que esto puede causar afectaciones en la recuperación y el grado de los concentrados procesados, además que estos procedimientos requieren día a día de controles cada vez más estrictos dada la relación de tipos de menas a concentrar, sus calidades y eficiencias, entre otros aspectos.

En estudios recientes se ha detectado que los iones Cu^{2+} son perjudiciales en el proceso de flotación selectiva en menas sulfuradas complejas de Cu-Zn, dichos iones son excelentes activadores de minerales de esfalerita. Estos iones al retornar al circuito de flotación selectiva provocarán la flotación del mineral de Zn en el circuito de Cu, dando como resultado el descenso de la selectividad y la disminución de leyes en dicho concentrado.

Por tal motivo, es necesario generar el procedimiento para la separación de iones nocivos en el agua de recirculación en un proceso de flotación, mediante la implementación de una celda de electrobeneficio.

Introducción.

Las empresas minero-metalúrgicas son de suma importancia, ya que no solo proveen de valiosos recursos a otras industrias, sino que son vitales en algunas economías como la mexicana. Sin embargo, algunos procesos como la flotación, suelen ser bastante complejos y con adversidades. Un problema muy común es el abastecimiento de agua, ya que las unidades mineras por lo general se encuentran alejadas de zonas urbanas, aunado al uso de cantidades muy grandes de este recurso. Una solución que se ha dado a este problema es la recuperación y recirculación del agua al proceso. No obstante, se ha encontrado que, al reingresar el agua al circuito, esta puede tener iones residuales de su uso anterior, lo cual puede ser perjudicial para el proceso de flotación.

Se ha descubierto que uno de estos iones residuales perjudiciales es el ion Cu^{2+} . Por lo cual es importante reducir de manera eficiente y costeable la presencia de este ion, para así obtener mejores resultados en el proceso de flotación, lo que beneficiara a las empresas minero-metalúrgicas a entregar un mejor producto.

Un proceso metalúrgico que podría ser una alternativa para solventar este problema es el electrobeneficio, ya que consiste en reducir iones en solución para obtener metales, justo siendo el cobre un elemento comúnmente sometido a este procedimiento.

CAPÍTULO 1. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivo.

- a) Construir una celda de electrobeneficio a nivel laboratorio para el tratamiento de iones Cu^{2+} del agua de recirculación del proceso de flotación.
- b) Realizar pruebas de recuperación de iones Cu^{2+} provenientes de aguas de recirculación, a través del electrobeneficio de cobre, bajo condiciones de flotación de menas de Cu-Zn.

2.2 Hipótesis.

La recuperación de iones Cu^{2+} en el agua empleada para flotar selectivamente menas sulfuradas de Cu, a través de una celda de electrobeneficio, evitará la activación de esfalerita en circuitos de flotación de menas sulfuradas de Cu-Zn.

CAPÍTULO 2.

GENERALIDADES DE LA

EMPRESA

1.1 Historia y datos.

Grupo Peñoles actualmente es el mayor productor mundial de plata afinada y el más importante de bismuto metálico en América, es líder latinoamericano en la producción de oro y plomo afinados, se encuentra entre los principales productores mundiales de zinc afinado y sulfato de sodio, y es una de las empresas exportadoras más importantes de México, con más del 80% de sus ventas en el extranjero.

Unidad Minera Sabidas, se encuentra ubicada en el municipio de Sombrerete, en el estado de Zacatecas. Sombrerete es un lugar famoso por su riqueza mineral desde el año de 1554, cuando la información acerca de la existencia de ejemplares ricos en plata llegase al virrey Don Luis de Velasco, quien entonces diese la orden al entonces residente de Zacatecas Francisco Ibarra, para realizar una expedición con un grupo de españoles por rumbos de Sombrerete. Dicha expedición llegó a unos kilómetros al poniente de Sombrerete al encontrar las vetas ricas conocidas como San Pantaleón, Veta Grande, Tajo Airón, Ánimas y La Soledad, dando inicio a la basta historia minero-metalúrgica de esta región.

La mina tiene un tipo de depósito subterráneo, de cuerpos masivos y vetas. El mineral es procesado para obtener concentrados de cobre, plomo y zinc. La materia prima procesada y la producción de concentrados obtenida de ella en el año 2015 fue de:

- 1,232,570 toneladas de mineral molido.
- 13,738 toneladas de zinc contenido.
- 123,009 kilogramos de plata contenida.
- 4,906 toneladas de cobre contenido.

- 7,485 toneladas de plomo contenido.

1.2 Proceso.

Sombrerete es una zona de gran valor metalúrgico debido a su considerable variedad de minerales. Unidad Minera Sabinas es el claro ejemplo de esto, al poseer una mina en la cual se pueden encontrar minerales de zinc como esfalerita y marmatita, minerales de cobre como calcopirita y bornita, mineral de plomo como la galena, además de minerales de otros elementos como la pirita y la arsenopirita.

Las labores de la unidad comienzan con el trabajo realizado por el área de geología, la cual se encarga, mediante muestreos, de analizar las concentraciones de los minerales en diferentes zonas de posible explotación. Esta información sirve para saber hacia dónde dirigir los trabajos en mina para extraer las mejores vetas, esta tarea es efectuada por el área de planeación. Ya con la planificación de la ruta a seguir el área de mina ejecuta su labor, la cual es extraer el mineral, esto se hace perforando la roca con la finalidad de abrir huecos en los cuales poder colocar cargas explosivas que al detonar fracturen la roca lo que permite poder transportarla hacia la superficie. Una vez está en superficie el mineral comienzan las operaciones de la planta de beneficio. En el caso de específico de Unidad Minera Sabinas el primer paso es la separación de los minerales en una zona denominada patio de gruesos, es decir las rocas se clasifican según su especie mineral, esto se hace debido a la variedad de minerales que tiene esta unidad, pero en muchas unidades mineras, el mineral extraído de mina es pasado directamente a la siguiente fase del proceso. El mineral de mina se encuentra en su mayoría en un tamaño de partícula muy grande, por lo cual es necesario disminuirlo, esto se hace en dos etapas, la

primera operación de conminución es trituración, Sabinas como muchas otras unidades tiene un circuito con trituración primaria mediante trituradoras de quijada y trituración secundaria y terciaria mediante trituradoras de cono. Una vez adquirido el tamaño de partícula adecuado para salir del área de trituración el mineral por cuestiones operativas es almacenado en silos, estos alimentan molienda la cual es la siguiente y última operación de conminución, en la que al mineral se le agrega agua y entra a un cilindro rotatorio que contiene bolas de acero que al momento del giro del molino caen causando que el mineral se fracture en partículas más pequeñas. Terminada la disminución del tamaño de partícula, el mineral, es colocado en un tanque de acondicionamiento donde se añaden los reactivos necesarios para la siguiente etapa del procedimiento la cual es la clasificación que es realizada tanto por Sabinas como por muchas otras empresas con el proceso de flotación, el cual permite separar las partículas por los diferentes elementos químicos que contienen. Ya separados los concentrados son filtrados y secados para su embarque, mientras que la ganga es puesta en una presa de jales. Unidad Minera Sabinas, tiene sus operaciones de beneficio de minerales divididas en dos plantas identificadas como planta 1 y planta 2. En planta 1 se trabaja la separación Pb-Zn, mientras que en planta 2 se trabaja la separación Cu-Zn. Las operaciones en ambas plantas tienen como diferencias que en planta 1 se cuenta con un molino SAG y por lo tanto no es necesario el proceso de trituración, mientras que en planta 2 se trabaja con trituración y molinos de bolas, además de que al ser diferentes las especies minerales a separar los reactivos y condiciones operativas en flotación son diferentes.

CAPÍTULO 3.

MARCO TEÓRICO

3.1 Beneficio de minerales.

Las formas en que los elementos se encuentran en la corteza terrestre y en depósitos submarinos dependen en su reactividad con el ambiente, particularmente con oxígeno, sulfuro y dióxido de carbono. Los elementos más reactivos se encuentran siempre en forma compuesta, tales como los óxidos y los sulfuros. Estos compuestos naturales son conocidos como minerales.

Los minerales por definición son sustancias inorgánicas naturales que cuentan con composición química definida y estructura atómica, aunque algunos minerales presentan isomorfismo, pero otros, muestran polimorfismo.

El procesamiento de minerales, son procesos compuestos por operaciones físicas, para liberar valores de los materiales estériles y obtener un concentrado de valores con alta ley y recuperación en forma rentable.⁽¹⁾

Hay dos operaciones fundamentales en el procesamiento de minerales, la primera de ellas es conocida como liberación, la cual involucra, triturar y moler, para finalmente tener un tamaño de partícula que nos permita obtener una mezcla de partículas relativamente limpias de mineral y ganga. Para producir concentrados con poca contaminación de minerales de ganga, es necesario moler el mineral lo suficientemente fino para liberar los metales asociados. Aunque, la molienda es la parte del proceso que tiene mayor consumo energético, es por eso que entre más fino se haga la molienda más se aumentaran los costos del proceso.

Un conocimiento basto de las características mineralógicas del mineral de mina es esencial para llevar acabo de manera eficiente el procesamiento. Es decir que es

de vital importancia conocer el tamaño, la diseminación y la asociación de los minerales a procesar.

La segunda operación fundamental en el procesamiento de minerales es la concentración, es decir separar los minerales en dos o más productos, con los valores en el concentrado, la ganga en las colas y las partículas no completamente liberadas en los medios. Sin embargo, las separaciones nunca son perfectas, debido en su mayoría a problemas con el tamaño de la partícula y por lo tanto con la liberación de la misma.

Para la operación de concentración existen diferentes métodos, siendo el costo-beneficio el criterio para seleccionar el método a usar. Estos métodos se basan en el aprovechamiento de las diferencias en alguna propiedad de las diferentes especies a separar. Un ejemplo de esto son los métodos por gravedad, tales como la mesa Wilfley o la espiral Humphrey, los cuales aprovechan la diferencia de gravedad específica entre el mineral y la ganga, otro ejemplo es flotación.⁽²⁾

3.1.1 Proceso de flotación.

La flotación, es el método de concentración de mayor importancia, debido a que es el más utilizado y de mayor versatilidad. Este proceso permite el aprovechamiento de minerales de baja ley y minerales de cuerpos complejos que de otra manera no podrían ser separados de manera sustentable. Dicho proceso es de naturaleza físico-química selectiva y puede ser usado para la separación de minerales complejos como plomo-zinc, cobre-zinc, etc.^(1,2,3)

Los factores químicos que envuelven este proceso son debidos a las tres fases presentes (sólido, líquido y gas) y a las interfaces dadas entre dichas fases. La química interfacial esta dictaminada por los reactivos usados en el proceso, por la química del mineral y por la química del agua. Mientras que la parte física del proceso esta dictaminada por el comportamiento del equipo (diseño de la celda, hidrodinámica, etc.), así como por los componentes de operación (tamaño de partícula, densidad de pulpa, etc.). Aunque en si puede parecer un concepto simple, la flotación es en extremo compleja ya que envuelve varios fenómenos tanto químicos como ingenieriles.⁽²⁾

Básicamente la flotación es la agregación de burbujas de aire y partículas de mineral en un medio acuoso, en la cual las partículas son transferidas a las burbujas con subsecuente levitación de las mismas hacia la superficie, tal y como es posible observar en la figura 3.1.⁽⁴⁾

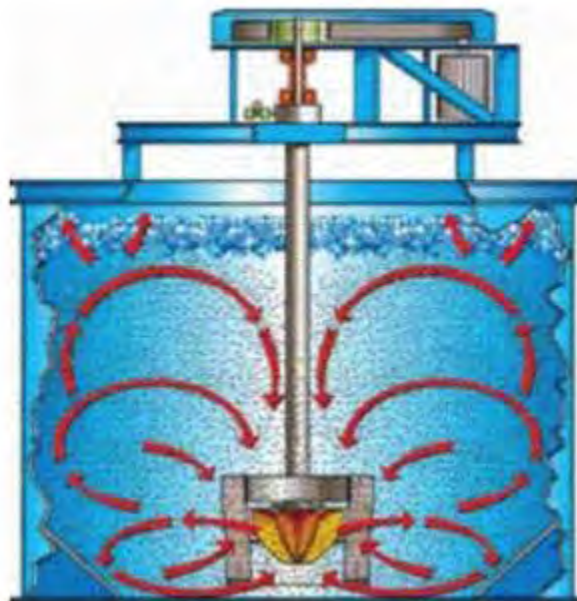


Figura 3.1 Esquema de una celda de flotación.⁽⁵⁾

La flotación puede ser llevada a cabo de manera directa o inversa. El método directo es cuando una especie de valor se obtiene a través de la espuma, dejando las gangas o colas asentadas. Mientras que por otro lado se le conoce a flotación inversa, cuando lo que se adiciona a la fracción flotante es la ganga. Además de esto también se puede clasificar por su selectividad, es decir, por ejemplo cuando se recupera un mineral de valor, pero posteriormente se realiza otra etapa en la que se recupera un valor diferente, esto se conoce como flotación selectiva en dos etapas.⁽⁶⁾

Ya que el proceso trata sobre partículas que se transportan en la fase gaseosa (burbuja), resulta importante saber que la propiedad controlante de este fenómeno es la energía libre superficial, es decir la energía en el plano de separación física entre dos fases, esto debido a que las propiedades en las interfaces son diferentes a las propiedades de las fases.

Además, como se hizo anterior mención la interacción con los reactivos es vital, por lo que cabe señalar los parámetros que controlan dicha interacción:

Tensión superficial: Fuerza perpendicular al plano y con dirección hacia el interior de la fase. Es producida debido al desbalance de las fuerzas provenientes de la interacción de una molécula con sus moléculas vecinas.⁽⁷⁾

Mojabilidad: este parámetro está dado por el ángulo de contacto entre la burbuja y una superficie plana, en el que si la burbuja no desplaza la fase acuosa el ángulo de contacto es cero, mientras que de tener un completo desplazamiento el ángulo de contacto es 180°. El valor que tome dicho ángulo será indicativo del grado de

mojabilidad o análogamente de la hidrofobicidad. El ángulo (θ) está representado en la figura 3.2.

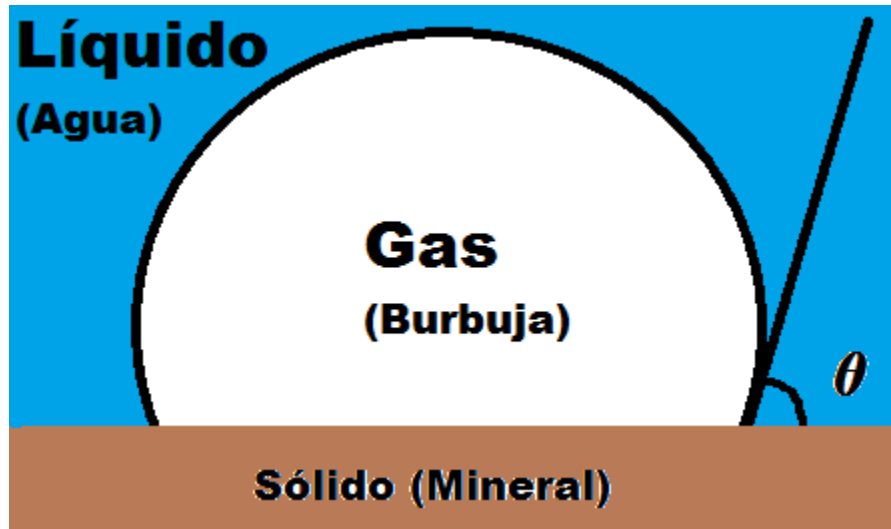


Figura 3.2 Esquema del equilibrio de contacto entre una burbuja de aire y un sólido inmersos en un líquido.

En resumen, la flotación es un proceso en el que las partículas mediante el uso de reactivos adquieren un carácter hidrofóbico o hidrofílico. Las partículas hidrofóbicas se adhieren a las burbujas elevándose hacia la superficie de la celda para formar una espuma con el concentrado de interés, mientras que las partículas hidrofílicas se depositan en la parte inferior de la celda.

Mencionado anteriormente los reactivos resultan de gran importancia esto es debido a que la hidrofobicidad o hidrofiliidad de las partículas no se presenta naturalmente, sino que son estos reactivos los que le dan dicho carácter.⁽⁸⁾

Los diferentes tipos de reactivos utilizados en el proceso de flotación son:

- **Colectores:** El destino principal de los colectores es la hidrofobización selectiva de la superficie de las partículas de ciertos minerales en la pulpa de flotación, para crear condiciones favorables de su adherencia a las burbujas de aire para su posterior extracción en los concentrados. Los colectores disminuyen la humectación de las partículas del mineral y aumentan su capacidad de adherencia a las burbujas de aire. Los colectores son compuestos químicos orgánicos que tienen acción en la superficie y son de tipo no polar, tal y como se puede apreciar en la figura 3.3.

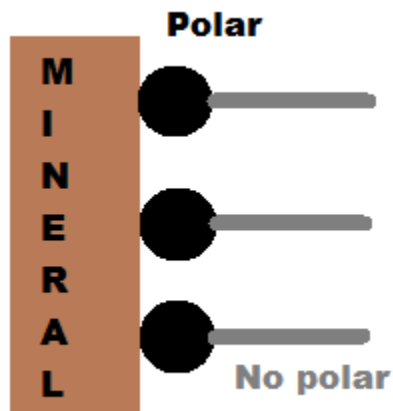


Figura 3.3 Estructura del funcionamiento de los colectores sobre el mineral.

Los más utilizados son los xantatos y los ditiofosfatos también conocidos como Aeroflots, cuya estructura típica se muestra en la figura 3.4.

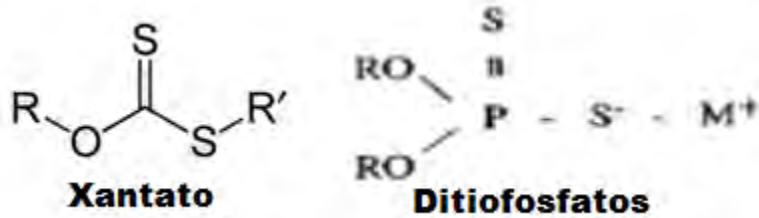


Figura 3.4 Estructura de los colectores de tipo xantato y ditioposfatos.

- **Espumantes:** Son sustancias tensoactivas heteropolares que pueden adsorberse en la superficie de separación agua-aire. En la fase líquida de la pulpa de flotación su acción eleva la resistencia mecánica de las burbujas de aire, favorece su conservación en estado disperso, aumentando de esta forma la superficie de adherencia de las partículas de mineral flotante y la estabilidad de la espuma de flotación, tal como es apreciable en la figura 3.5.⁽⁹⁾



Figura 3.5 Estructura del funcionamiento de los espumantes

sobre las burbujas de aire.

Los espumantes más utilizados son compuestos orgánicos de tipo hidroxil, carboxil, carbonil, amino y sulfo, cuyas estructuras están representadas en la figura 3.6.

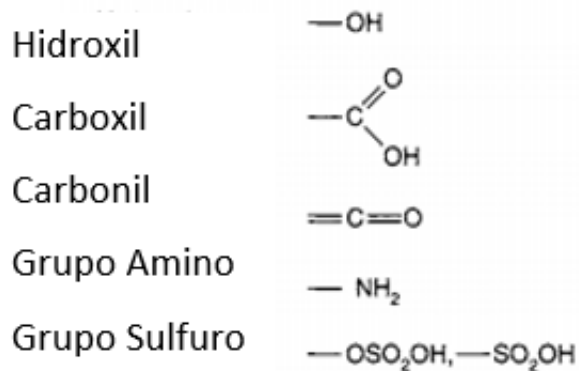


Figura 3.6 Estructuras de los espumantes de tipo hidroxil, carboxil, carbonil, amino y sulfuro.⁽⁹⁾

- **Depresores:** Su función es evitar la formación de la película colectora sobre las partículas minerales que no es deseable flotar. Los depresores más comúnmente utilizados son:
 - Cianuro para deprimir minerales como pirita, pirrotita y arsenopirita, además de minerales de zinc durante flotaciones de plomo.
 - Sulfato de zinc para deprimir minerales de zinc en flotaciones plomo-zinc, cobre-zinc y plomo-cobre-zinc.
 - Dicromatos para deprimir minerales de plomo en separaciones plomo-cobre.
 - Dietilen triamina usada para deprimir pirrotita en minerales cobre-níquel.
 - Quebracho es un depresor orgánico natural utilizado para deprimir sulfuros de hierro.
 - Dextrina es un depresor natural usado para deprimir sustancias carbonosas y silicatos.

Modificadores de pH: La mayoría de los minerales flota de manera más eficiente a cierto rango de pH. Aunque algunos minerales pueden flotar bien a pH natural, en la mayoría de los casos el pH debe ser ajustado para una máxima recuperación y selectividad. Los reactivos más comúnmente usados para circuitos alcalinos son la cal y la sosa. Mientras que, para circuitos ácidos, lo más comúnmente usado es ácido sulfúrico. Otros modificadores de pH pueden ser útiles, sin embargo, los anteriormente mencionados son con los que se obtiene un mejor costo-beneficio. ⁽²⁾

Ya que en la flotación estamos en presencia de fenómenos físico-químicos, conviene tener presente que tanto las reacciones de acondicionamiento (mineral versus reactivos colectores/modificadores) como las de flotación propiamente tales (superficies acondicionadas de mineral versus burbujas de aire) tienen cinética definida, por ejemplo, requieren de un lapso de tiempo más o menos prolongado para llevarse a cabo.

Para apreciar la eficiencia del proceso de flotación es necesario determinar su velocidad y selectividad, con que flotan las partículas minerales o sea es la recuperación de especies minerales en la espuma en relación con el tiempo.

Experimentalmente uno de los procesos más precisos está basado en la determinación de la velocidad de flotación de resultados de flotación parcial, en que las espumas producidas se captan luego de intervalos de tiempo iguales y se transfieren a vasos separados.

Luego se pesan las porciones de espuma de cada vaso lo que permitirá calcular una serie de resultados. Los resultados de flotación fraccional se llevan a un gráfico de coordenadas que muestran los cambios de las cantidades de partículas que pasan a las espumas en cada intervalo de tiempo con relación a las partículas sujetas a la flotación, presentes en la pulpa al comienzo del proceso.

Dos son los modelos más usados para ajuste de datos experimentales y cálculo de los parámetros cinéticos de flotación:

– Modelo de García-Zuñiga. $R_t = R_\infty * (1 - e^{-k*t})$ *Ec. 3.1*

– Modelo de Klimpel. $R_t = R_\infty * [1 - \frac{1}{k}(e^{-k*t})]$ *Ec. 3.2*

Cada mineral tiene distinta velocidad de flotación, esto es debido a las condiciones físico-químicas involucradas en el proceso, además de las condiciones del equipo de trabajo. Es por esto que resulta importante la obtención de la velocidad de flotación, así como el tiempo óptimo de la misma.⁽¹⁰⁾

La velocidad de flotación habitualmente tiene un comportamiento, en el que a mayor tiempo hay mayor recuperación hasta llegar a un punto en el que el comportamiento se vuelve asintótico, es decir al aumentar el tiempo el valor de recuperación aumenta muy poco. El tiempo de residencia es afectado principalmente por el flujo de aire, si el flujo de aire es poco el tiempo deberá ser mayor.

Usando el modelo de García-Zuñiga, es posible expresar la cinética de flotación mediante la expresión de la ecuación 3.3.

$$-\frac{dc}{dt} = k * c^n \quad \text{Ec. 3.3}$$

c =Concentración de especies flotables

n =el orden de reacción

k =constante específica de velocidad de flotación

t =tiempo de flotación

La constante específica de velocidad de flotación se puede determinar mediante métodos gráficos a partir del mismo modelo, tal como es posible observar en la figura 3.7.

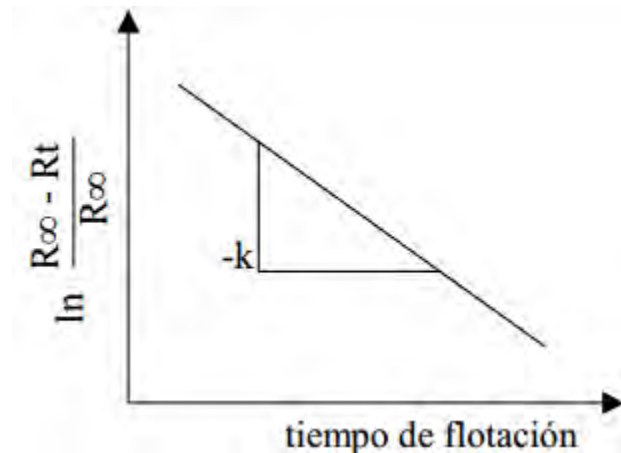


Figura 3.7 Determinación de la constante de velocidad de flotación.⁽¹⁰⁾

3.1.2 Flotación de minerales de cobre y zinc.

El cobre se encuentra presente en la corteza terrestre principalmente en forma de minerales sulfurados como la calcopirita (CuFeS_2), bornita (Cu_5FeS_4) y calcosita (Cu_2S). El cobre se presenta también en forma de minerales con oxígeno (carbonatos, óxidos, silicatos y sulfatos). Sin embargo el 90% del cobre que se produce en el mundo proviene de los minerales de sulfuro, ya que estos minerales

no son fácilmente lixiviables y la mayor parte de la extracción se realiza por medio de flotación.⁽⁶⁾

En el caso del zinc, al igual que el cobre se encuentra en minerales sulfurados como oxidados, siendo los sulfurados los más comúnmente encontrados y que pueden ser beneficiados por flotación. Algunos de los minerales de zinc son la esfalerita (ZnS cúbico), la marmatita (ZnS con alto contenido de hierro) y la wurtzita (ZnS hexagonal).

La elección de reactivos para la flotación de menas de cobre y zinc, se hace en base al tipo y cantidad de minerales que originan la mena. Las consideraciones a tomar son las siguientes:

- La cantidad de minerales de valor y de minerales secundarios.
- La cantidad y tendencia a flotar de los sulfuros de hierro presentes como pirita o pirrotita.
- La existencia de minerales óxidos.
- La presencia de arsénico, antimonio o bismuto.
- El pH natural de la pulpa después de molienda.
- El grado de liberación de los valores y la ganga mineral.

La elección de reactivos se hace en base a la mineralogía de la mena, los objetivos metalúrgicos y las condiciones operativas. En las plantas la elección de los colectores se toma en base al pH de operación del circuito y si es posible o no modificar este pH.⁽²⁾

Las menas de sulfuros de cobre y zinc, en asociación con sulfuros de hierro masivos están generalmente diseminados con pirita y pirrotita. Para poder deshacer esta asociación de manera adecuada posiblemente se requiera de una molienda muy fina.

Para menas con pirita y pirrotita, el uso de sulfatos alcalinos puede incrementar la selectividad. Recientemente algunos polímeros sintéticos han sido desarrollados como buenos depresores.

3.2 Recirculación de agua

En la actualidad el uso de agua recirculada en los procesos de beneficio de minerales es muy recurrente, esto debido a lo complejo y costoso que puede resultar llevar agua fresca, ya que no todas las unidades mineras cuentan con fuentes de agua cercanas o de fácil extracción. Sin embargo, las operaciones de las plantas de beneficio de minerales, tales como la flotación, implican la adición de reactivos y el contacto con tuberías corroídas entre otras cosas hacen que la calidad del agua sea deficiente y pueda llegar afectar la operación de flotación.

Los dos factores que más influencia la calidad del agua es la procedencia de la misma, si es externa a la planta o interna, ya que puede ser recirculada del mismo proceso, recirculada de algún otro sitio o agua fresca. Y en el caso del agua interna la calidad del agua está dada por el proceso que se lleva a cabo en la planta, es decir ésta influenciada por los reactivos utilizados, por el desgaste del equipo y por el mineral que es procesado.

El punto más importante a cuidar sobre el uso de agua recirculada en los procesos de flotación son los reactivos residuales que pueden quedar diluidos dentro de la misma agua del proceso, ya que al reingresar al proceso estos iones pueden entrar en fases del proceso en las que su efecto puede ser perjudicial.⁽¹¹⁾

Otro problema común con el agua utilizada de manera recirculativa en plantas de beneficio es la dureza del agua. La dureza en el agua es una propiedad ocasionada por la presencia de cationes metálicos Polivalentes. Esta se manifiesta por reacciones entre los cationes de dureza y ciertos aniones (Ejemplo: SO_4^{2-} , CO_3^{2-}), los cuales forman incrustaciones.

La dureza en el agua se debe principalmente a la presencia de iones Ca^{2+} y Mg^{2+} . Otros cationes polivalentes (Ejemplos Fe^{3+} , Cu^{2+} , etc.), pueden estar presentes en pequeñas concentraciones, pero casi siempre son insignificantes.

Desde el punto de vista sanitario, las aguas duras son tan satisfactorias para el consumo humano como las aguas blandas; sin embargo, un agua dura requiere demasiado jabón para la formación de espuma y crea problemas de lavado; además deposita lodo e incrustaciones sobre las superficies con las cuales entra en contacto, así como en los recipientes, calderas o calentadores en los cuales se calienta. El límite para dureza en agua potable es de 160 mg CaCO_3/L . Para aguas de caldera de presión intermedia el límite es 1 mg/L y de presión alta, 0.07 mg CaCO_3/L , en aguas de enfriamiento 650 mg CaCO_3/L .

Los tipos de dureza, debido a que esta puede deberse sobre todo a los iones calcio y magnesio, se puede dividir en tres tipos:

- Dureza Total Que involucra a todos los iones metálicos Polivalentes que puedan encontrarse presentes en la muestra.
- Dureza Cálcica Que cuantifica solo la dureza por efecto del ion Calcio.
- Dureza Magnesiana Que cuantifica solo la dureza por efecto del ion Magnesio.^(6, 11)

Los valores a los que el agua es considerada como agua blanda o dura son variables en la literatura, empero en la figura 3.8, se observa una tabla con una de las propuestas en la literatura de los rangos de ppm de Ca a los que el agua es blanda o dura.

Tipo de agua	CaCO ₃ (ppm)
Muy blanda	0-15
Blanda	16-75
Semidura	76-150
Dura	151-300
Muy dura	>300

Figura 3.8 Valores de ppm Ca para definir dureza de agua.⁽⁶⁾

3.3 Electrobeneficio de cobre.

El cobre, resulta un elemento importante gracias a que desde la antigüedad ha sido muy útil, esto debido a sus buenas propiedades de conducción térmica y eléctrica, además de su versatilidad al ser aleada con otros metales como estaño y zinc.

Para obtener el cobre, se parte de minerales que contienen dicho metal, siendo los más comunes la malaquita, calcosita, calcopirita y bornita. Estos minerales se

procesan inicialmente pasando por varias etapas de conminución, hasta disminuir considerablemente su tamaño de partícula, esto ya que al encontrarse en la naturaleza se hayan asociados con otros minerales y por lo tanto con otros elementos químicos y es por ello que es necesario disminuir el tamaño de partícula para separar lo más posible estas especies. Posteriormente se realiza un procedimiento conocido como flotación, cuya finalidad es separar las diferentes especies químicas. Una vez terminado el proceso de flotación se obtiene un concentrado de cobre, sin embargo, este cobre se encuentra asociado aun a otros varios elementos químicos. Debido a esto es necesario que dicho concentrado pase por un proceso de lixiviación, es decir obtener purificar el cobre aplicando soluciones sobre el concentrado mineral, causando reacciones químicas que causan que el metal de interés quede libre de los otros elementos químicos a los que se encuentra asociado. No obstante, esto no es suficiente para obtener al elemento de importancia lo suficientemente purificado, además de quedar en estado acuoso. Es por esto que se realizan tratamientos electroquímicos a la solución resultante de la lixiviación, estas etapas son conocidas como electrobeneficio o electrobtención y electro refinamiento.^(6,12)

3.2.1 Electroquímica.

El electrobeneficio, forma parte de una amplia gama de procesos realizables gracias al estudio de la electroquímica. Este proceso tiene el propósito de realizar una deposición, selectiva, o colectiva, por medio de electrolisis de algún o algunos elementos a partir una solución.

Este proceso fue descubierto por Michael Faraday, un científico inglés, en el siglo XIX. Por sus experimentos Faraday propuso que la electricidad es una fuerza que podía pasar de una partícula de materia a otra. Basado en esto, formula una teoría sobre la capacidad de la electricidad para generar una reacción química. Al demostrar su teoría fueron postuladas las dos leyes que controlan este proceso, conocidas como las leyes de Faraday de la electrolisis, las cuales explican la gran importancia de la cantidad de electricidad aplicada, ya que es determinante por las siguientes dos razones:

- La carga eléctrica aplicada es directamente proporcional a la intensidad de corriente de la carga y al tiempo a que la misma es aplicada.
- La carga eléctrica aplicada es directamente proporcional a la masa de metal que ha de ser depositada en el cátodo.⁽¹²⁾

La electroquímica es la parte de la físico-química que trata la relación entre la electricidad y las reacciones químicas, esas reacciones químicas que dan lugar a energía eléctrica (celdas o pilas galvánicas) y el proceso inverso de estas reacciones que tienen lugar por medio de energía eléctrica (celda de electrólisis). Las aplicaciones prácticas de estos fenómenos son de gran importancia comercial, por lo que es importante entender bien las nociones básicas de electroquímica.

Se entiende por electricidad al flujo de partículas con carga eléctrica, o cargadas eléctricamente, a través de un conductor debido a una diferencia de potencial eléctrico entre los terminales del flujo, y es desde un punto de potencial negativo alto a otro de bajo potencial.

La conducción eléctrica, coloquialmente llamada corriente, se realiza generalmente sin transporte de materia, y es causada por el movimiento de los electrones cuando se aplica un campo eléctrico.

La precipitación por reducción electrolítica es actualmente uno de los procedimientos más sencillos para recuperar metales en forma pura y selectiva, respecto a las impurezas existentes en solución. Su principio radica en que el metal (ya disuelto en la solución), se trata de recuperar depositándolo en el cátodo, mientras el ánodo es esencialmente insoluble. En la actualidad es de gran importancia en el ámbito económico, al permitir el beneficio de recursos lixiviables, como es el caso del oro, como cobre, plata, etc., cuyo tratamiento por otras vías resultaría económicamente inviable.

El proceso de electrobeneficio de cobre básicamente consta en la transformación del cobre disuelto en un electrolito en cobre metálico depositado en un cátodo, esto realizado por vía electrólisis, mediante la utilización de energía eléctrica proveniente de una fuente externa. El cobre iónico del electrolito se deposita selectivamente sobre la superficie del cátodo al mismo tiempo que se descompone agua en oxígeno y iones hidronio libres, que al juntarse con los iones sulfato dejados por el cobre forman ácido sulfúrico en la superficie de ánodos insolubles de que pueden ser de plomo o platino.⁽¹³⁾

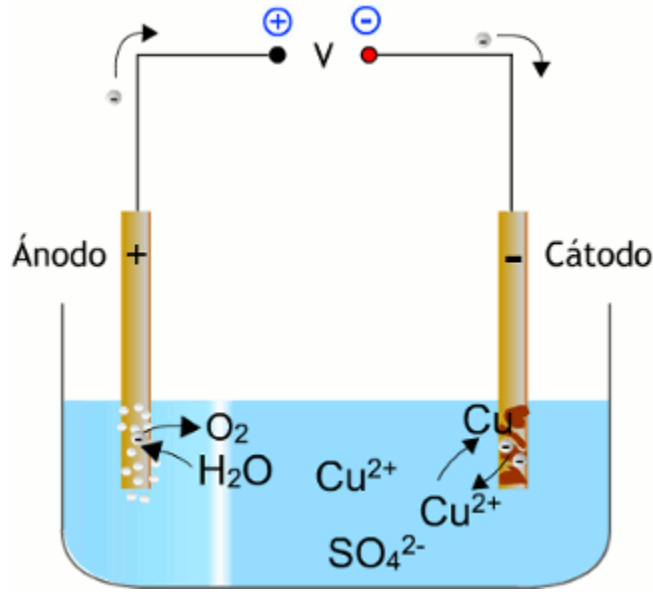
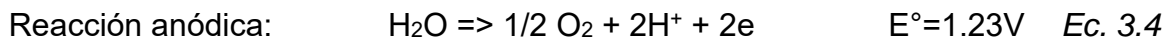
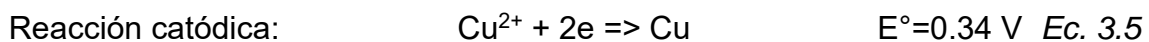


Figura 3.9 Esquema del funcionamiento de una celda de electrobeneficio de cobre⁽¹⁴⁾.

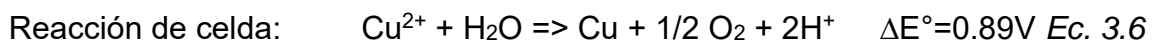
Las reacciones electroquímicas dadas en el proceso y ejemplificadas en la figura 3.1 son:



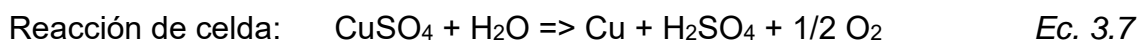
(Descomposición agua)



(Precipitación de cobre)



(Expresada en forma iónica)



(Expresada en forma molecular)

Los resultados del proceso electrolítico son los siguientes:

- * Depositación del cobre en el cátodo.
- * Evolución de oxígeno en el ánodo.
- * El electrolito se enriquece en ácido y se empobrece en cobre.

3.4 Espectrometría por plasma (ICP)

El plasma de acoplamiento inductivo (ICP por sus siglas en inglés Inductive Coupled Plasma), conocido también por sus dos métodos como ICP-AES (espectrometría de emisión atómica) o ICP-OES (espectrometría de emisión óptica), se utiliza para analizar simultáneamente muchos elementos y en niveles tan bajos como 1-10 partes por mil millones (ppb). Se utiliza en una gran variedad de mercados, incluidos alimentos y bebidas, minero-metalúrgico, farmacéutico, geológico, hidrológico y cementero.

El ICP funciona usando un plasma de argón en el que se inyecta una muestra líquida atomizada. La muestra se ioniza en el plasma y los iones emiten luz a diferentes longitudes de onda características que posteriormente se miden.

El argón necesita que los niveles de oxígeno y de agua sean bajos, ya que tienen un efecto de apantallamiento sobre la señal de algunos metales que da lugar a falsas lecturas. También necesita que sean bajos los niveles de hidrocarburo, puesto que pueden dar lugar a depósitos de carbono sobre el espejo, lo cual reduciría la potencia de la señal. A veces, en el ICP se emplea el nitrógeno como gas de refrigeración.

En el ICP con espectrómetro de masas o ICP-MS, los iones producidos en el plasma de argón se inyectan en el espectrómetro de masas, separando así los iones en función de su relación de masa y carga, más específicamente el funcionamiento del equipo se puede observar en la figura 3.10. Es ideal para análisis de metales en concentraciones de tan solo partes por billón. Las impurezas en el argón pueden provocar problemas graves con el ICP-MS debido a su alta sensibilidad.⁽¹⁵⁾

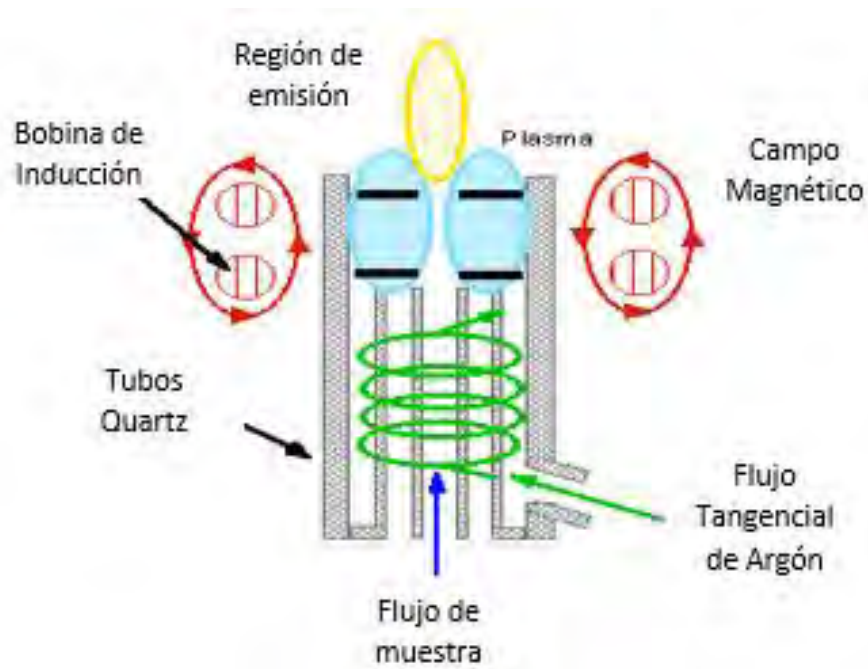


Figura 3.10 Esquema de un equipo de ICP.⁽¹⁶⁾

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA DE TRABAJO.

El primer paso para la realización de este trabajo fue la construcción de la celda de electrobeneficio. La celda se fabricó con geometría de paralelepípedo, hecha de placas de acrílico. En general se hizo con el diseño convencional de una celda de electrobeneficio a nivel laboratorio, pero con la peculiaridad de tener dos huecos, esto con el fin de poder pasar flujos de la misma solución que contendría la celda para poder crear el efecto de agitación dentro del sistema.

Posteriormente se caracterizó el agua de diferentes puntos de toda la unidad para saber en qué lugar se encontraba la mayor concentración de iones cúpricos. Después se preparó el mineral de trabajo tomando mineral de diferentes días para una mayor representatividad. Luego se realizaron pruebas con la celda de electrobeneficio para verificar su correcto funcionamiento en diferentes concentraciones de iones Cu^{2+} . Ya con los datos de las concentraciones de agua en diferentes puntos, se procedió a elaborar agua que fuera representativa del agua de la unidad y de la concentración problema de 10 ppm de iones cúpricos. También fue necesario hacer pruebas previas de flotación para disminuir la incertidumbre causada por el experimentador, es decir, que todas las flotaciones fuesen realizadas bajo las mismas condiciones. Una vez preparado y verificado el equipo y material de trabajo, se realizaron las pruebas de electrobeneficio, a diferentes condiciones, al agua representativa tanto de proceso como de concentración problema, posteriormente con el agua obtenido de dichas pruebas se realizaba la flotación del mineral preparado, para luego enviar analizar por ICP muestras de agua antes y después del electrobeneficio, así como los concentrados y colas finales obtenidos de las flotaciones.

El esquema de trabajo antes descrito, esta ejemplificado en la figura 4.1

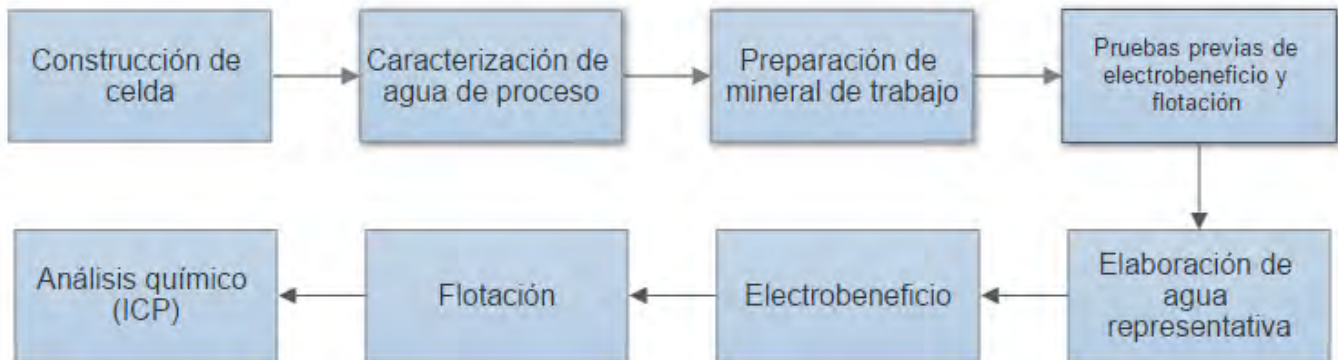


Figura 4.1 Esquema de trabajo.

4.1 Material y equipo.

- CuSO_4
- ZnSO_4
- NaCN
- CaCO_3
- Colector 8222
- Colector Aerofina
- Espumante Teutón
- Agua purificada
- Agua de espesadores
- Agua de proceso de flotación
- Agua de piletas de decantación
- Papeles filtro
- Molino de bolas
- Cronometro
- Trituradora
- Pulverizadora
- Tamiz 10
- Vasos de precipitados
- Matraz aforado
- Piseta
- Agitador magnético
- Balanza
- Mineral de planta 2
- Crisoles
- Celda de flotación de 2 litros
- Celda electrolítica de 1 litro
- Multímetro
- Bomba de agua
- Caimanes pasa corriente
- Solución patrón de CuSO_4

- Buretas de 50mL
- Buretas de 250mL
- Buretas de 500mL
- Fuente de poder

4.2 Diseño experimental.

La investigación se hace aprovechando la infraestructura de Unidad Minera Sabinas, pero por tanto es necesario realizarla bajo sus lineamientos y métodos de trabajo, los cuales están basados en el funcionamiento real de la unidad.

El agua durante el proceso pasa por varios puntos en los cuales puede haber cambio en su composición química, ya sea por el mineral tratado o por los reactivos utilizados, es por esto que es importante ubicar cuales pueden ser los puntos de interés. La planta de beneficio de minerales número dos de la Unidad Minera Sabinas, se obtienen concentrados de cobre y zinc, a partir de minerales de calcopirita (CuFeS_2), bornita (Cu_5FeS_4) y esfalerita (ZnS), además de que junto a estos se encuentran también especies como arsenopirita (AsFeS) y pirrotita (FeS_x).

El proceso de beneficio en esta planta comienza en el patio de gruesos donde son colocados los minerales extraídos de mina, para ser ingresados a la primera banda mediante camiones de acarreo, no sin antes pasar por una malla de 20". La primera banda ingresa el mineral a la triturada primaria, la cual es una trituradora de quijada Nordberg 25X40" que reduce la partícula a 4", posteriormente pasa a una trituradora secundaria de cono Sandvick CH-440 que reduce las partículas a $\frac{3}{4}$ " y dos trituradoras terciarias ambas de cono, una Sandvick CH-440 y la otra Nordberg Omnicone 1560, donde el mineral es reducido a $\frac{1}{4}$ ". Al finalizar la etapa de trituración el mineral ya con un tamaño de partícula máximo de $\frac{1}{4}$ " es depositado en

tolvas de almacenamiento, las cuales se encargan de distribuir el mineral a las bandas transportadoras que alimentan dos molinos de bolas, los cuales reducen las partículas a un tamaño de 200 μ m, al mismo tiempo que al molino se le agregan los reactivos sulfato de zinc (depresor de mineral de Zn), cianuro de sodio (depresor de Fe) y cal (reduce dureza del agua), además de agua para que el mineral se transforme en pulpa. La pulpa descargada de los molinos es clasificada en hidrociclones, en donde el material grueso es recirculado al circuito de molienda, mientras que el material fino es llevado al acondicionador de cobre. Una vez en el acondicionador de cobre, son agregados los colectores (8222 y Aerofina), además del espumante (Teutón) y se acondiciona durante 15 minutos, siendo el mismo procedimiento para el circuito de zinc, cambiando obviamente los reactivos para la óptima flotación de zinc. En la figura 4.2 se muestra el esquema del circuito de flotación de la planta número 2 de la Unidad Minera Sabinas.

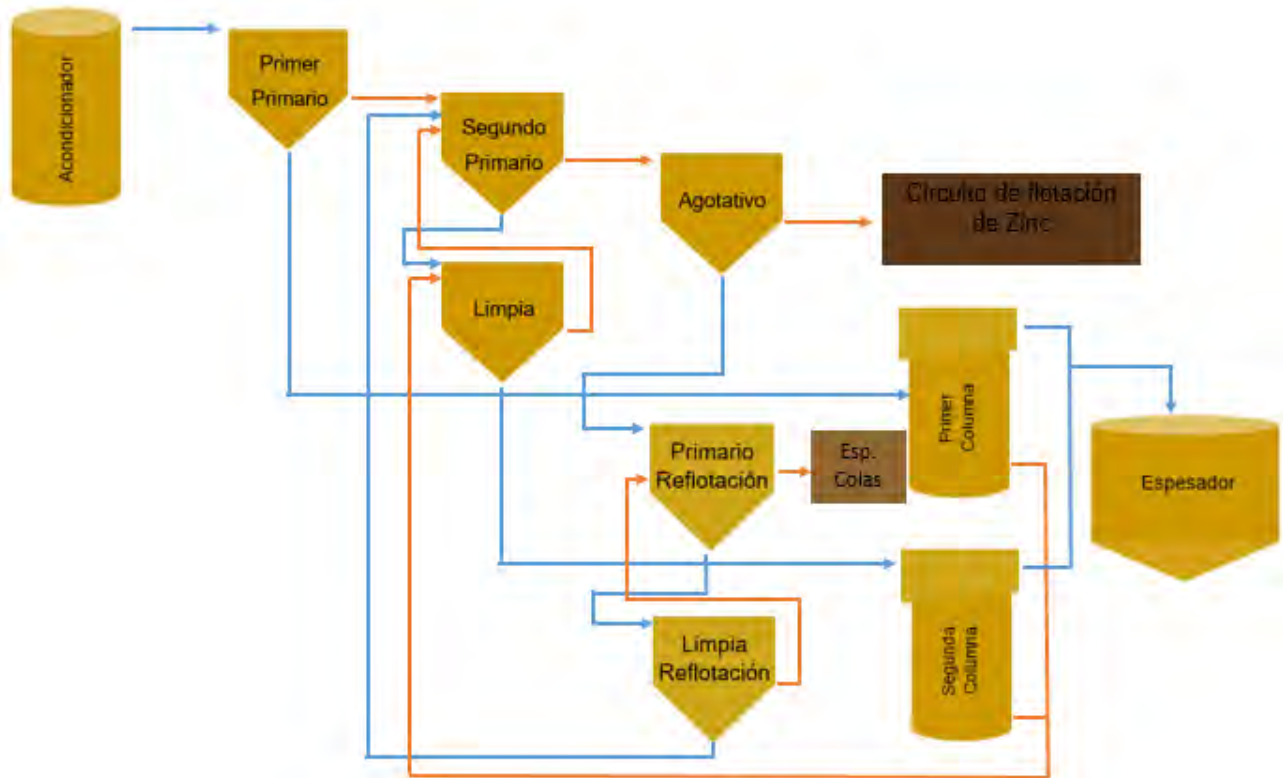


Figura 4.2 Esquema del circuito de flotación de Cobre de planta No. 2 Unidad Minera Sabinas

Los concentrados de cobre y de zinc pasan de los espesadores a filtros, mientras que el derrame del tanque de colas es transportado a la presa de jales número 4. El agua obtenida de la filtración, así como el agua recuperada en la presa de jales es circulada hacia tres tanques contenedores, de donde se redistribuye al proceso de la planta.

A los concentrados de cobre y zinc se les toma una muestra para realizarles análisis químico, para saber la concentración de cada elemento que tienen, además de la humedad que poseen. Los concentrados finalmente son embarcados en tráileres rumbo a diferentes destinos.

Este trabajo está basado en una investigación previa, en la cual se encontró que la esfalerita es activada a una concentración de 10ppm de iones cúpricos, lo cual puede ser perjudicial para el proceso en caso de que el agua al ser recirculada lleve consigo dichos iones de reactivos residuales o debido al mineral procesado. Es por esto que resulta importante realizar análisis químico al agua en diferentes puntos del proceso, con la intención de saber cuáles son las áreas afectadas con este tipo de condición y por lo tanto en donde es preciso realizar las pruebas necesarias para saber si la celda electrolítica es aplicable o no. Las pruebas de análisis químico al agua de seis diferentes puntos de planta 2 fueron realizadas por la técnica de Plasma Acoplado Inductivamente. Los puntos analizados fueron los siguientes:

- Agua de dilución de molino (misma agua que ingresa al circuito de flotación).
- Agua de espesador de cobre
- Agua de espesador de zinc
- Agua de espesador de colas
- Agua de pileta decantadora de cobre
- Agua de pileta decantadora de zinc

A partir de la cantidad de cobre presente en cada lugar analizado se determinó qué punto o puntos están afectados con las condiciones problema de 10 o más ppm de cobre. Una vez seleccionados los puntos de agua, el estudio consistió en tratar dicha agua con una celda electrolítica, trabajando a diferentes condiciones, con lo que se buscó la mejor y la peor condición de electrobeneficio. Las condiciones de trabajo a las que se trató en la celda electrolítica están representadas en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Condiciones de trabajo en celda electrolítica

Condición	Tiempo (min)	Voltaje (V)	pH	Agitación	Volumen (L)
C1	1	3	7	Sin	1
C2	3	3	7	Sin	1
C3	5	3	7	Sin	1
C4	1	4.5	7	Sin	1
C5	3	4.5	7	Sin	1
C6	5	4.5	7	Sin	1
C7	3	3	7	Con	3
C8	9	3	7	Con	3
C9	15	3	7	Con	3
C10	3	4.5	7	Con	3
C11	9	4.5	7	Con	3
C12	15	4.5	7	Con	3

Posteriormente a tratar el agua electrolíticamente, se realizaron pruebas de cinética de flotación usando la misma agua ya tratada. Las pruebas de flotación fueron realizadas obteniendo concentrados de cobre a 0.5, 1, 2 ,4, 6, 8 y 10 minutos, haciendo después análisis químico a dichos concentrados además de la cola final, con la intención de determinar el comportamiento de las concentraciones de cobre y zinc con las diferentes aguas trabajadas.

4.3 Desarrollo experimental.

La celda de electrobeneficio se diseñó en base a una celda de electrobeneficio a nivel laboratorio convencional, pero agregando dos orificios por los cuales se pudiese fluir la misma solución a electrobeneficiar con el fin de crear un efecto de agitación. El equipo es básicamente un paralelepípedo rectangular hueco echo con

paredes de polimetilmetacrilato con capacidad para almacenar un litro de solución. En la figura 4.3 se puede apreciar el diseño y las dimensiones de la celda.

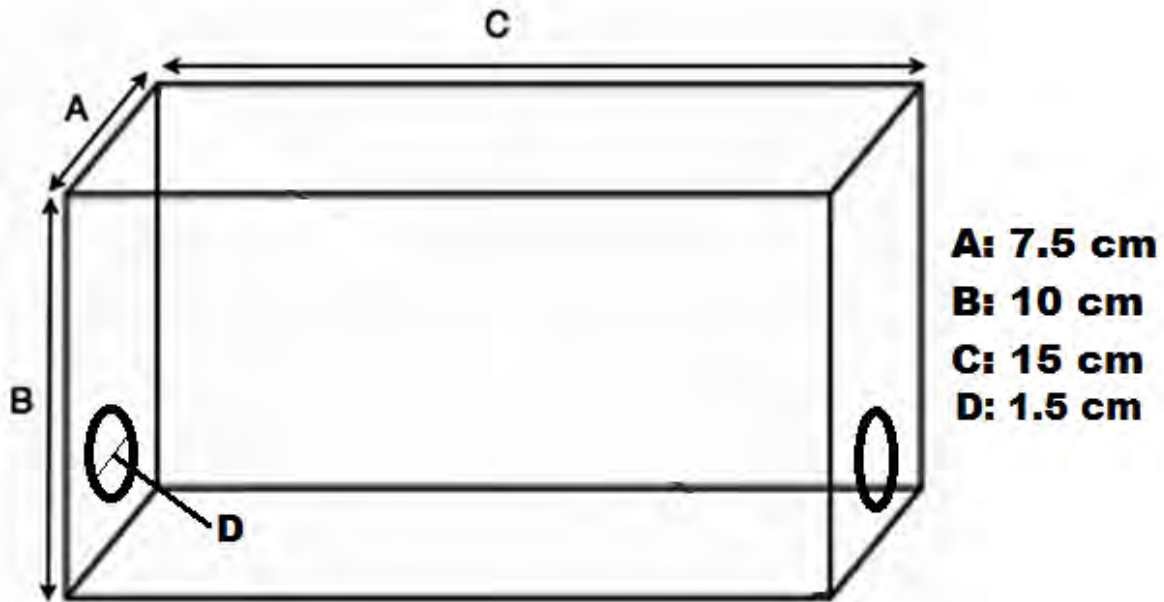


Figura 4.3 Esquema del diseño de la celda de electrobeneficio.

Las pruebas de electrobeneficio fueron realizadas con dos cátodos de acero inoxidable, un ánodo de platino y a temperatura ambiente.

La toma de muestras de los diferentes puntos fue realizada siete veces en el transcurso de los días 9 de marzo y 18 de marzo de 2016.

El agua de proceso pasa por varios puntos siendo los principales los mostrados en la figura 4.4.

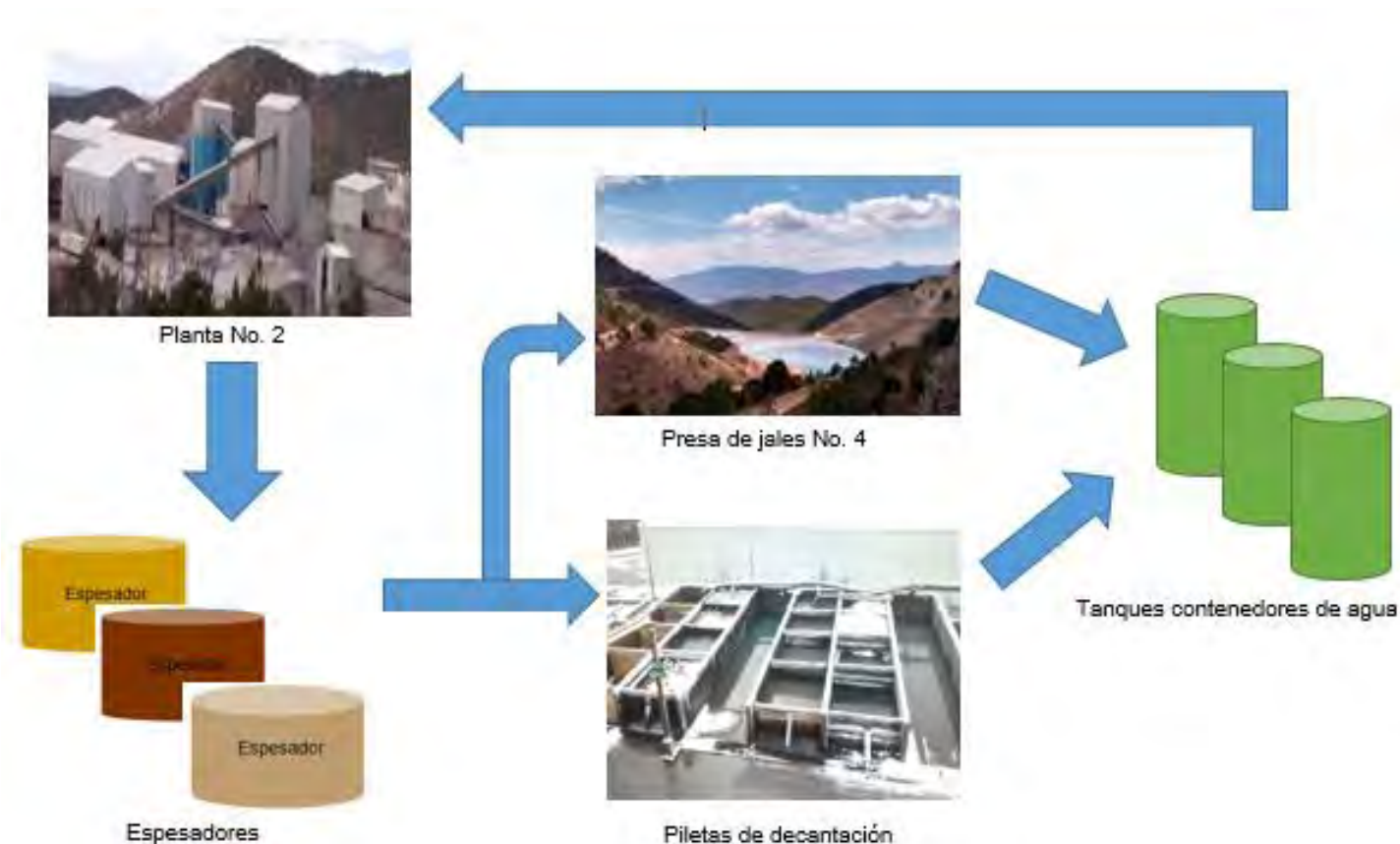


Figura 4.4 Esquema del circuito de agua en planta No. 2

El agua fue tomada con cortadores y depositada en contenedores plásticos de 500mL. Posteriormente parte del agua fue filtrada en dos etapas, la primera de ellas filtrando el total del agua en papel filtro grado 202 reeve ángel, quitando el agua con una bomba de vacío Millipore clase b. Después se filtraron 200mL con filtros de membrana Millipore, para luego colocar 1mL de ácido nítrico por cada 100mL de agua. Una vez realizado esto las pruebas eran ensayadas por ICP.

El resto del agua de circuito se usó para realizar pruebas de sólidos suspendidos, la cual consiste en igualmente filtrar el agua, pero en micro fibra de vidrio, dentro de crisoles adaptados para filtrar, esto era echo en el equipo de trabajo mostrado en la figura 4.5. Una vez filtrada el agua el sólido residual en el crisol era secado y

posteriormente pesado, teniendo el dato ya del peso del crisol y el filtro vacíos y secos. Los sólidos suspendidos se calculan haciendo uso de la ecuación 4.1.

$$S.S. = \frac{(\text{Peso Seco [g]}) - (\text{Crisol * filtro [g]})}{\text{Volumen [mL]}} * \frac{1000\text{mg}}{1\text{g}} * \frac{1000\text{mL}}{1\text{L}} = \frac{\text{mg}}{\text{L}} = \text{ppm} \quad \text{Ec. 4.1}$$



Figura 4.5 Equipo de filtración para preparación de agua para análisis químico y sólidos suspendidos.

Una vez obtenidos los resultados del análisis químico de agua de los diferentes puntos, se determinó a qué punto o puntos era conveniente realizar el estudio.

Debido a la variedad de minerales procesados en planta, se deben de dosificar diferentes volúmenes de reactivos al proceso de flotación y por lo tanto el agua de proceso también cambia de composición química día con día. Es por ello que en lugar de tomar muestras de agua directamente de los puntos de proceso, se realizó el cálculo del promedio de las siete muestras analizadas previamente para preparar agua con la misma concentración de iones cobre a partir de agua purificada y un patrón de sulfato de cobre, con el fin de tener mayor representatividad en el estudio.

La preparación del agua de trabajo, con el material y reactivo que se preparó, está representada en el esquema de la figura 4.6.



Figura 4.6 Esquema de preparación de agua de trabajo

En el procedimiento de las pruebas de flotación posteriormente explicado en esta misma sección se especifica el gasto de agua que tienen las pruebas, el cual es de tres litros, es por esto que para cada condición en la celda es necesario preparar tres litros de solución y tratarlos en la celda electrolítica. Sin embargo, al no contar con suficientes contenedores para el agua tratada, las pruebas han sido realizadas en tres grupos de seis, es decir tratando 18 L de agua, para pruebas de seis condiciones.

Las pruebas en la celda electrolítica, fueron llevadas en dos categorías; con agitación y sin agitación. Para ello se implementó una bomba de inmersión capaz de recircular el fluido generando agitación.

Las pruebas sin agitación se realizaron por triplicado en volúmenes de un litro, ya que era la capacidad del volumen de la celda, siguiendo las condiciones observadas en la tabla 4.1.

Por otro lado, las pruebas con agitación se realizaron en una sola prueba con volúmenes de tres litros juntos, ya que la bomba hacia posible la circulación del líquido y por lo tanto el tratamiento de todo el volumen, no obstante, al tener mayor volumen es necesario aplicar un tiempo equivalente, es decir teniendo el triple de volumen era necesario aplicar el triple de tiempo. En la figura 4.7 se puede observar la estructura del equipo de trabajo para las pruebas con la celda electrolítica.

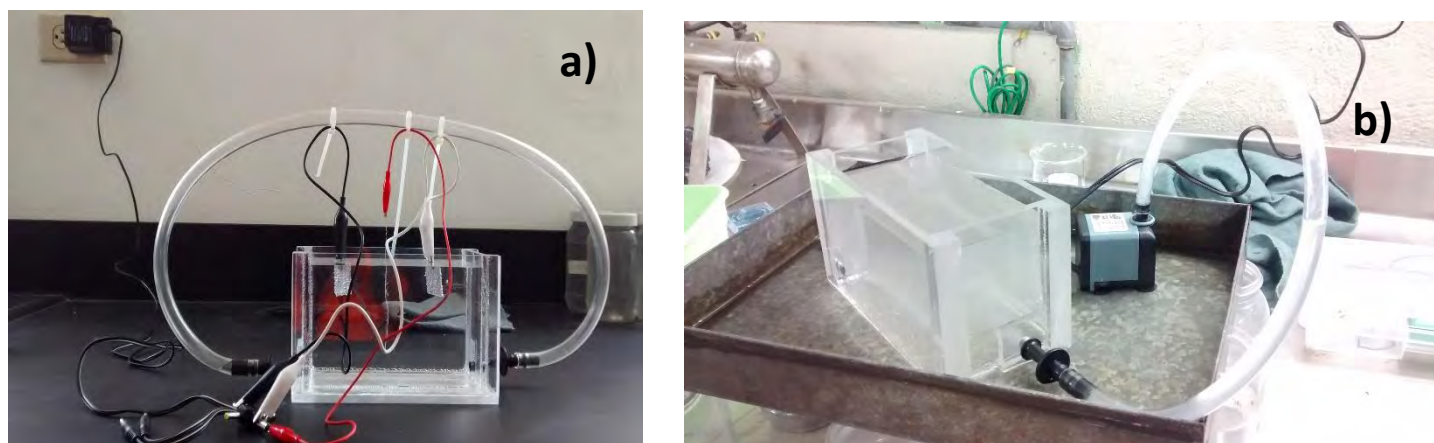


Figura 4.7 Acomodo de la celda electrolítica. a) Acomodo para pruebas sin agitación, b) Acomodo para pruebas con agitación.

Para verificar el correcto funcionamiento de la fuente de poder y en general del sistema de electrodeposición, además como complemento para el análisis del funcionamiento de la celda, se realizaron pruebas a una sola condición con diferentes concentraciones de iones cobre las cuales fueron 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 y 20 ppm de cobre, bajo las condiciones de pH=7, sin agitación, 5 minutos y 3 volts. El procedimiento de trabajo en la celda electrolítica es el mostrado en el esquema de la figura 4.8.

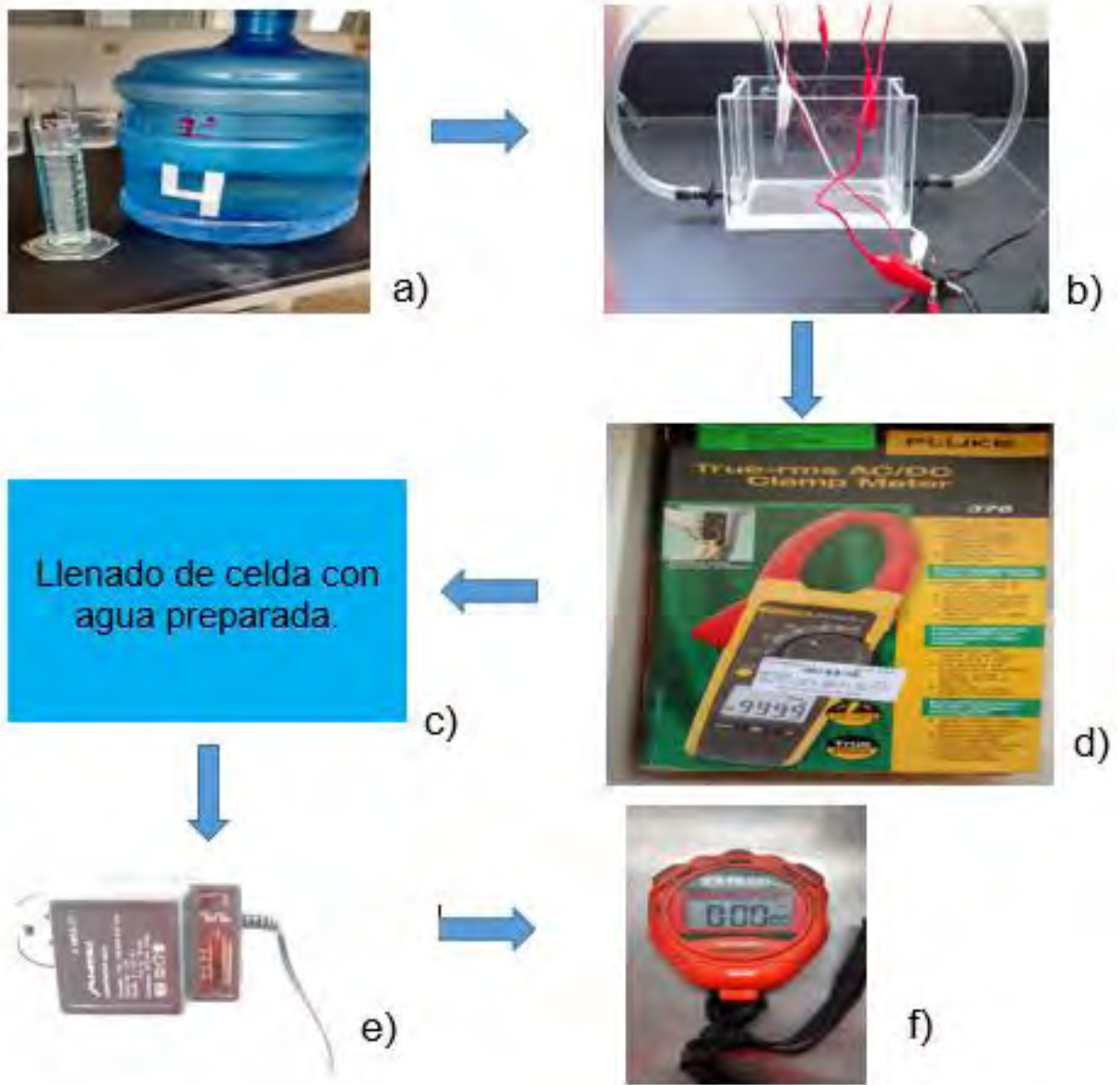


Figura 4.8 Esquema de trabajo para pruebas electrolíticas. a) Preparación de soluciones, b) Armado de equipo, c) Llenado de celda, d) Chequeo de paso de corriente con multímetro, e) Conexión de fuente de poder y f) Toma de tiempo de prueba

Una vez finalizado el tiempo de la prueba se desconectaba la fuente de poder y cuidadosamente se colocaba el volumen en contenedores para su uso posterior en las pruebas de flotación, apartando 200 mL para envío a análisis químico.

El agua trabajada electrolíticamente, se usó para realizar pruebas de flotación con el fin de verificar si el quitar iones cobre del agua mejora el proceso de flotación evitando la activación de la esfalerita durante la flotación de cobre.

Para llevar a cabo las pruebas de flotación se preparó el mineral a flotar. Para preparar el composito mineral se tomaron muestras de un kilo de diferentes días del mes de febrero y marzo de 2016, los cuales fueron cuarteados hasta dejar una pequeña porción de la que se tomaron 100 g, de esto se juntaron 22 kg de mineral. Sin tener aun la información necesaria para saber qué puntos habrían de analizarse se prepararon 50 kg de composito complementando los 22 kg con kilos de composito ya preparado del mes de septiembre de 2014, es decir se juntaron 22 kg provenientes de muestras de marzo y febrero de 2016, además de 28 kg provenientes de un composito ya preparado de septiembre de 2014. Una vez completos los 50 kg, la muestra se pasó por una quebradora de laboratorio (véase figura 4.8), hasta obtener un tamaño de partícula menor a malla 10 (1666 μm) en el total de la muestra. Posteriormente se cuarteo y homogeneizo la muestra hasta obtener una muestra de aproximadamente 20 g para su posterior pulverización y envío a análisis químico. Mientras que el resto de la muestra, fue homogeneizada una vez más y separada por kilos en bolsas de plástica etiquetadas para su identificación.



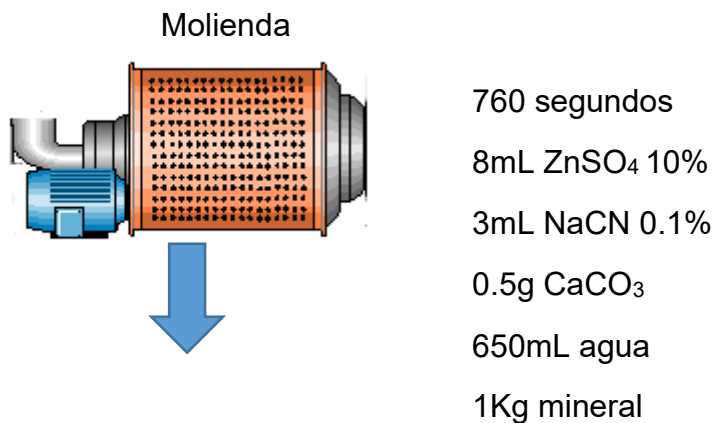
Figura 4.9 Quebradora de quijada del laboratorio metalúrgico Unidad Minera Sabinas.

El objetivo de los equipos de laboratorio, es simular lo ocurrido en planta es por esto que el procedimiento es el mismo que en planta, es decir triturar, moler, flotar, filtrar y secar. Así mismo es necesario verificar ciertos parámetros dentro del proceso en el laboratorio, uno de estos parámetros importantes es la granulometría del mineral proveniente de la quebradora y como esta después de pasar por el molino de bolas, esto es importante ya que el tamaño de partícula es un factor que tiene gran influencia en el proceso de flotación. En la figura 4.9 se puede observar la quebradora de quijada y en la figura 4.10 el molino de bolas con los que se trabajó en el laboratorio.



Figura 4.10 Molino de bolas del laboratorio metalúrgico Unidad Minera Sabinas.

Todas las pruebas de flotación se experimentaron bajo las mismas condiciones de adición de reactivos, acondicionamiento y tiempo de residencia en molino, esto con el fin de no poner más variables dentro del estudio. El método de trabajo es el mostrado en la figura 4.11. Cabe mencionar que la preparación de los reactivos, se realizó en el caso del $ZnSO_4$ pesando 10 g de sulfato de zinc en polvo dentro de un vaso de precipitados en una balanza y agregando 100 mL de agua purificada mediante un matraz aforado de 100 mL. Siguiendo el mismo procedimiento para el NaCN, pero pesando solo 0.1g, ya que este debe estar al 0.1%, mientras que el sulfato debe estar al 10%.



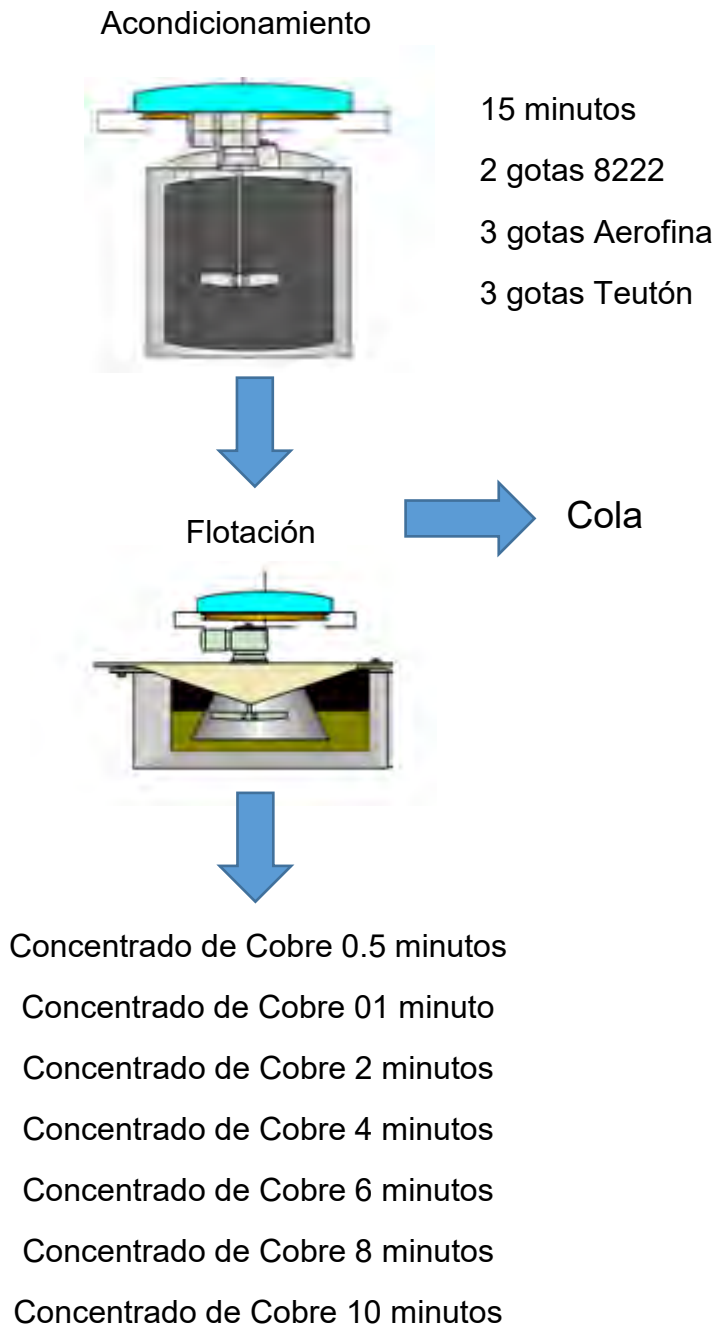


Figura 4.11 Esquema de pruebas cinética de flotación de cobre

Una vez finalizada la molienda se colocó la celda de flotación de 2 litros en la parte de debajo del molino para descargar ahí la pulpa limpiando el molino y las bolas con agua tratada electrolíticamente en una piseta. Posteriormente la celda era colocada

en el equipo observado en la figura 4.12, no sin antes agregar los reactivos indicados en el esquema de la figura 4.11 para el acondicionamiento.

Las pruebas fueron cinéticas de 10 minutos, es decir tomando concentrados a diferentes tiempos durante 10 minutos, en este caso los tiempos fueron de 0.5, 1, 2, 4, 6, 8 y 10 minutos. Cada muestra se filtró, secó, pesó, pulverizó y envió a análisis químico.



Figura 4.12 Equipo para pruebas de flotación Denver modelo 533000 tamaño D-12

CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Construcción de la celda.

La celda se fabricó de la forma esperada, de paredes de polimetilmetacrilato con geometría de paralelepípedo rectangular y con capacidad de un litro.

Para la conexión de los cátodos de acero y el ánodo de platino, se usaron caimanes pequeños. Mientras que la corriente fue aplicada mediante una fuente de poder capaz de modular su voltaje y cuidando las polaridades de las conexiones.

En todas las pruebas se comprobó el paso de corriente mediante un multímetro.

5.2 Caracterización del agua.

Los datos obtenidos de las pruebas de sólidos suspendidos y envío a análisis químico del agua sin sólidos, permitió calcular los valores máximos, mínimos y promedio de la composición química del agua, así como de los sólidos suspendidos en la misma. En la tabla 5.1 se observa los valores de sólidos suspendidos de cada punto analizado. Los valores de los pesos para los cálculos de la prueba se encuentran en la sección de anexos.

Tabla 5.1 Sólidos suspendidos de la planta número 2

Punto de toma de agua	Sólidos Suspendidos (ppm)						
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7
Espeador Zn	68	590	546	1054	1852	1220	2072
Espeador Cu	78	172	1748	854	138	120	216
Espeador Colas	60	148	40	38	38	42	82
Alim. Molino	118	98	16	26	22	44	44
Pileta Cu	62	150	216	34	154	44	72
Pileta Zn	134	384	30	142	186	74	190

Aunque el estudio está enfocado en lo sucedido dentro de planta 2, es decir, del circuito cobre-zinc, el agua recirculada de ambas plantas, planta 1 y planta 2 se junta en los tanques, por lo cual se determinó conveniente estudiar los mismos puntos analizados, pero de planta 1. Los resultados del cálculo de sólidos suspendidos en planta 1 están mostrados en la tabla 5.2.

Tabla 5.2 Sólidos suspendidos de la planta número 1

Punto de toma de agua	Sólidos Suspendidos (ppm)						
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7
Espesador Zn	148	3878	4682	182	2188	3092	2062
Espesador Pb	454	8072	18296	7812			2390
Espesador Colas	84	104	38	56	86	82	40
Alim. Molino	58	96	48	18	20	34	36
Pileta Cu	116	544	212	222	208	114	170
Pileta Zn	48	204	254	42	216	166	196

Es notorio que los valores cambian en cada prueba, es por esto que resulta conveniente visualizar los valores a manera de máximo y mínimo, así mismo también a manera de promedio, es decir los valores más grandes, más pequeños y la media del rango de valores hallado. Estos valores están representados en la tabla 5.3.

Tabla 5.3 Valores máximo, mínimo y promedio de sólidos suspendidos

Planta No. 1	Sólidos Suspendidos (ppm)			Planta No. 2	Sólidos Suspendidos (ppm)		
Punto de toma de agua	Mínimo	Máximo	Promedio	Punto de toma de agua	Mínimo	Máximo	Promedio
Espesador Zn	148	4682	2318.86	Espesador Zn	68	2072	1057.43
Espesador Pb	454	18296	7404.80	Espesador Pb	78	1748	475.14
Espesador Colas	38	104	70.00	Espesador Colas	38	148	64.00
Alim. Molino	18	96	44.29	Alim. Molino	16	118	52.57
Pileta Cu	114	544	226.57	Pileta Cu	34	216	104.57
Pileta Zn	42	254	160.86	Pileta Zn	30	384	162.86

El punto de agua con mayor cantidad de sólidos suspendidos es el espesador de plomo en planta 1, al tener la mayor cantidad de sólidos suspendidos de todos los puntos en todas las pruebas con 18296 ppm y el mayor promedio de 7404.80 ppm. Mientras que el punto con menor cantidad de sólidos es el agua de alimentación al molino de planta con un promedio de 44.29 ppm. En general los puntos con mayor presencia de sólidos suspendidos son los espesadores de concentrados, después de estos las piletas de contención, luego los espesadores de colas y finalmente el punto con menor cantidad de sólidos suspendidos en ambas plantas es el agua de alimentación a los molinos.

Debido a la variedad de minerales procesados en Minera Sabinas, día con día e inclusive turno con turno, es necesario modificar la dosificación de reactivos y es debido a esto que el agua de proceso sea cambiante, tal y como es posible apreciar con los sólidos suspendidos en el agua, aunado a esto la composición química del agua sufre del mismo problema, tal y como es apreciable en la tabla 5.4.

Tabla 5.4 Concentración de iones cobre en diferentes puntos del proceso.

	[Cu²⁺] ppm						
Planta 1	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7
Espesador Pb	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008
Espesador Colas	0.051	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011
Espesador Zn	0.005	0.005	0.000	0.000	0.000	0.043	0.060
Dilución Molino	0.058	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030	0.073
Pileta Pb	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010
Pileta Zn	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.034	0.010
Planta 2	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7
Espesador Cu	0.140	0.180	0.000	0.000	0.000	0.027	0.050
Espesador Colas	0.820	2.200	1.620	0.030	0.520	0.832	0.440
Espesador Zn	0.054	0.064	0.000	0.000	0.000	0.000	0.01
Dilución Molino	0.500	0.720	0.000	0.000	0.000	0.111	0.050
Pileta Cu	0.032	0.149	0.000	0.000	0.000	0.040	0.208
Pileta Zn	0.006	0.000	0.083	0.000	0.000	0.050	0.027

La concentración de iones cobre en los doce puntos analizados es muy baja, ninguna se acerca a los 10 ppm de cobre, concentración en la que se presenta la activación de la esfalerita. En casi todos los puntos la concentración de iones cúpricos fue cero en varias de las pruebas, siendo el espesador de colas de planta dos el único punto en el cual se tuvo presencia de cobre en las siete pruebas.

Tabla 5.5 Concentración máxima, mínima y promedio de iones cobre en diferentes puntos del proceso.

Planta 2	[Cu ²⁺] ppm						
	Promedio	Máximo	Mínimo	Planta 1	Promedio	Máximo	Mínimo
Espesador Cu	0.099	0.180	0.027	Espesador Pb	0.008	0.008	0.007
Espesador Colas	0.923	2.200	0.030	Espesador Colas	0.023	0.051	0.007
Espesador Zn	0.032	0.064	0.000	Espesador Zn	0.028	0.060	0.005
Dilución Molino	0.345	0.720	0.050	Dilución Molino	0.054	0.073	0.030
Pileta Cu	0.107	0.208	0.032	Pileta Pb	0.010	0.010	0.010
Pileta Zn	0.042	0.083	0.006	Pileta Zn	0.017	0.034	0.006

En la tabla 5.5 se expresa los valores mínimos, máximos y promedio de la concentración de iones cobre en los distintos puntos analizados, lo que hace posible apreciar que el punto con mayor concentración de cobre tanto promedio como con un valor máximo es el espesador de cobre de planta 2, ya que tiene un valor máximo de 2.2 y un valor promedio de 0.923 ppm, es decir que este punto es el que presenta mayor cantidad de iones cobre, sin embargo aún está muy lejano a los 10 ppm, con los que estos iones pueden causar problemas activando al mineral de zinc.

Por lo tanto, siguiendo lo planteado por estudios previos que indican que a partir de una concentración de 10 ppm de cobre en agua, se puede dar activación del mineral de zinc, Unidad Minera Sabinas no tiene este problema ya que el agua de proceso no presenta esta concentración de iones cobre, siendo 2.2 ppm en el espesador de colas la máxima concentración de cobre encontrada en toda el agua de proceso de la unidad, sin embargo la infraestructura de Sabinas es de gran ayuda para la realización de la investigación.

Con el objeto de proporcionar información útil para las plantas de beneficio que si operan en condiciones con aguas de recirculado con 10 o más ppm de iones cúpricos, se presentan las alternativas, para dar solución al problema de activación de esfalerita en los procesos de flotación.

5.3 Caracterización de la muestra.

Para conocer el contenido de los diferentes elementos de interés en el mineral de trabajo se realizó análisis químico de cabeza al composito preparado, cuyos resultados están mostrados en la tabla 5.6.

Tabla 5.6 Ley de cabeza del composito de trabajo.

Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	As	Cd	Bi	Sb
gr/ton	%	%	%	%	%	%	%	%
86.750	0.156	1.305	0.990	3.377	0.952	0.050	0.004	0.004

La granulometría del composito triturado y molido están presentadas en las tablas 5.7 y 5.8 respectivamente, mientras que en las figuras 5.1 y 5.2 se presenta la determinación del P80 gráfica (tamaño de partícula al 80%de acumulado negativo) de cada análisis granulométrico.

Tabla 5.7 Análisis granulométrico del composito de trabajo triturado.

Malla	Micras	Peso (g)	%Retenido	Acumulado (+)	Acumulado (-)
10	1666	2.84	0.28	0.28	99.72
20	850	215.83	21.65	21.93	78.07
30	600	215.86	21.65	43.58	56.42
40	425	186.37	18.69	62.27	37.73
60	250	98.59	9.89	72.16	27.84
100	150	65.55	6.57	78.74	21.26

140	106	38.82	3.89	82.63	17.37
200	75	31.75	3.18	85.81	14.19
270	53	26.51	2.66	88.47	11.53
325	45	8.84	0.89	89.36	10.64
-325	-45	106.1	10.64	100	0
	Total	997.06	100		
	Perdido	2.94			

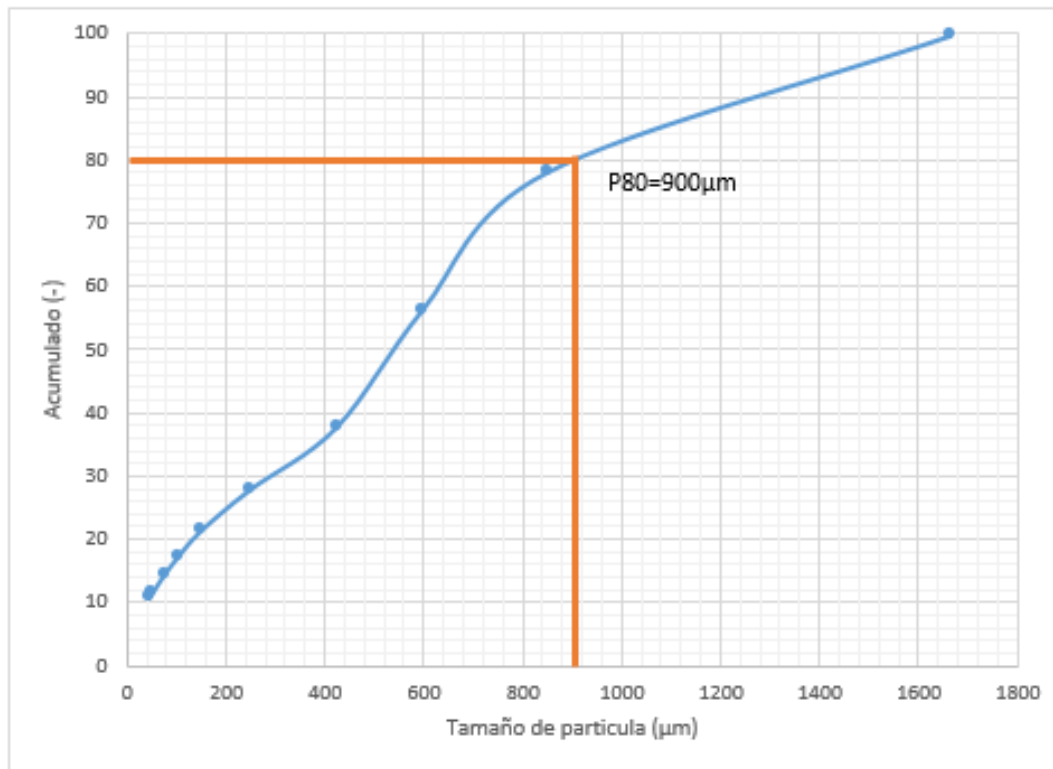


Figura 5.1 Análisis granulométrico del compuesto de trabajo triturado con P80 obtenido de manera gráfica.

Tabla 5.8 Análisis granulométrico del compuesto de trabajo molido.

Malla	Micras	Peso (g)	%Retenido	Acumulado (+)	Acumulado (-)
10	1666	1.2	0.12	0.12	99.88
20	850	75.43	7.56	7.68	92.32
30	600	55.19	5.53	13.21	86.79
40	425	30.36	3.04	16.25	83.75

60	250	32.69	3.27	19.52	80.48
100	150	78.93	7.91	27.43	72.57
140	106	99.26	9.94	37.37	62.63
200	75	106.3	10.65	48.02	51.98
270	53	98.46	9.86	57.89	42.11
325	45	35.58	3.56	61.45	38.55
-325	-45	384.79	38.55	100	0
	Total	998.19	100		

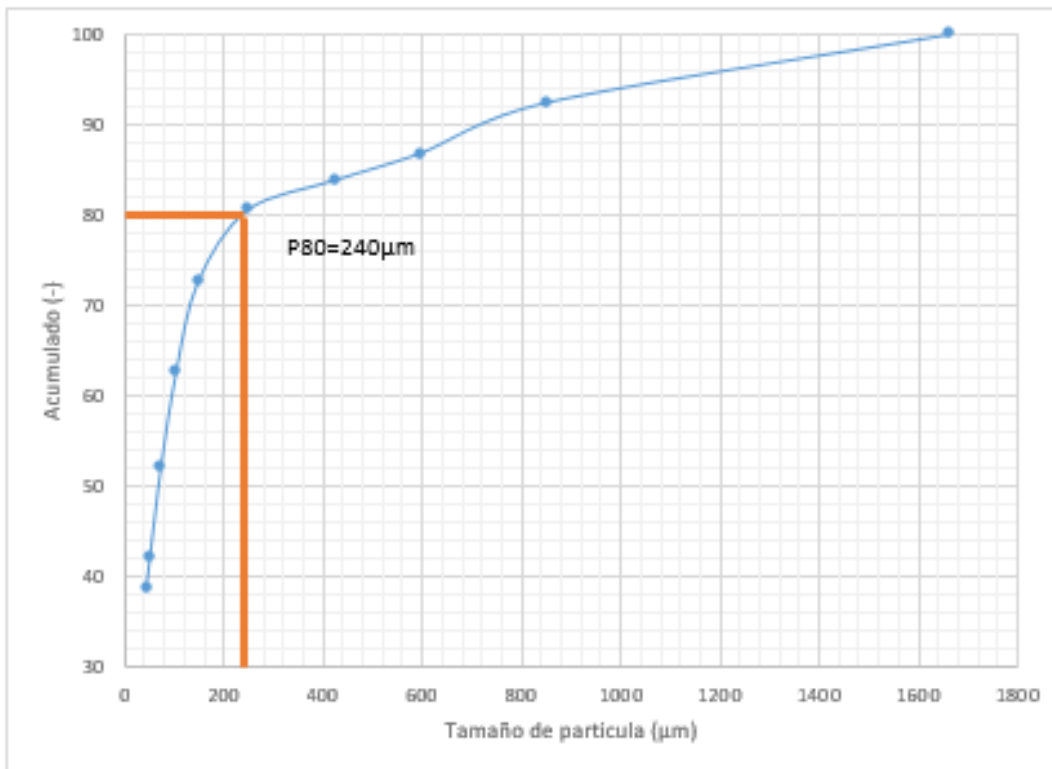


Figura 5.2 Análisis granulométrico del compuesto de trabajo molido con P80 obtenido de manera gráfica.

El P80 de molienda es de 240 μm, lo cual es un valor alto, es decir, la molienda no fue suficientemente efectiva ya que, a este tamaño de partícula, los valores puede que no estén del todo liberados y por lo tanto al momento de flotar la ganga flote al ir asociada con el mineral de interés. Aunque, esto es razonable, debido a que, por

falta de bolas, el molino no tenía la carga necesaria, la cual es de 12.5 Kg, teniendo en el molino 10.89 Kg. En la tabla 5.9 se expresan los radios de las diferentes bolas de molino, así como su peso, además de los pesos que debe tener de cada tipo de bola idealmente y lo tenido realmente en el molino.

Tabla 5.9 Distribución de pesos y tamaño de las bolas de molino de laboratorio.

Tamaño	(X) Peso c/u	(Y) Área c/u		% Peso	Peso	No. de	Peso medido
Pulg.	Lbs	pulg ²	X/Y	(% de X/Y)	Kg	bolas	Kg
1 ¼	0.290	4.91	0.059	25	3.078	23	3.008
1	0.148	3.14	0.047	20	2.457	37	2.2340
7/8	0.099	2.41	0.041	17	2.141	48	2.155
¾	0.063	1.77	0.036	15	1.855	65	1.848
½	0.045	0.79	0.057	24	2.969	145	1.645
			0.240	100.0	12.500		10.890
						Falta	1.610

Al molino le hacen falta 1.61Kg de bolas de molino, por lo cual es normal que, al tener una carga de bola menor a la necesaria, el mineral después de molienda quede más grueso y no llega al tamaño de liberación adecuado.

5.4 Electrobeneficio.

Inicialmente para probar el equipo, así como observar la capacidad de depositación de la celda, se realizaron pruebas a las mismas condiciones de voltaje (3V), pH (7), tiempo (5 minutos) y condición de agitación o no agitación (no agitación), pero usando soluciones a diferentes concentraciones de iones cobre.

Al tener mayor concentración y trabajando al mismo volumen, en teoría, conforme la concentración aumente, habrá una mayor cantidad de partículas de la especie en cuestión; en este caso partículas de iones cobre. Al haber mayor cantidad de

partículas, es decir, a mayor concentración, la cantidad de material depositado debería aumentar. En la figura 5.3 está representado el comportamiento del electrobeneficio con respecto a la concentración inicial trabajada.

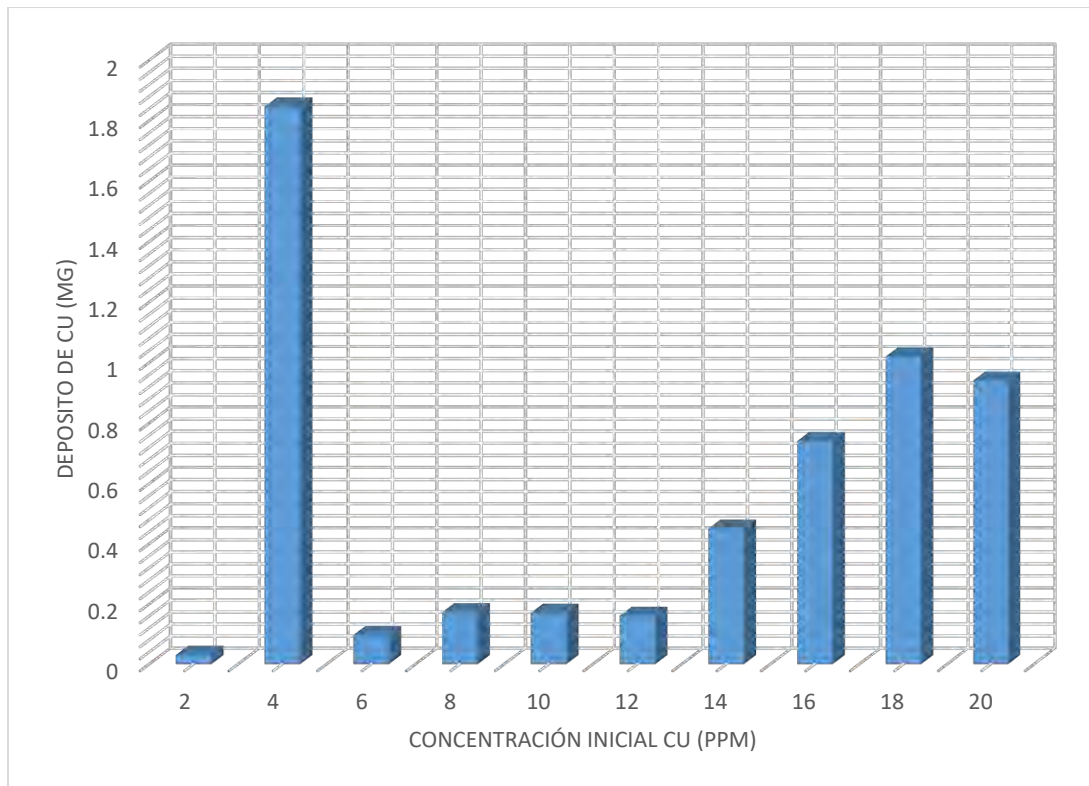


Figura 5.3 Depósito de cobre finalizadas las pruebas con respecto a la concentración inicial de cobre en solución.

El equipo funciona, ya que en cada una de las soluciones hubo disminución en la concentración de cobre, en el ánodo (alambre de platino) se observó burbujeo, es decir desprendimiento de un gas, posiblemente oxígeno tal y como es característico en el electrobeneficio de cobre, además de que en los cátodos (placas de acero) se observaba pequeñas zonas con tenues marcas color cobre, es decir que el depósito era visible. Además, se muestra una tendencia en la cual se va obteniendo un mayor depósito conforme aumenta la concentración, siendo la prueba con concentración

inicial de 4 ppm la única que sale de esta tendencia, pero, es un caso aislado, probablemente causado por alguna falla técnica al momento de la experimentación.

Las leyes de Faraday rigen el proceso de electrobeneficio. Estas leyes mencionan que la carga eléctrica aplicada es directamente proporcional a la cantidad de masa que se deposita en el ánodo, así mismo que es directamente proporcional a la intensidad e corriente que tiene la carga y el tiempo que se aplica dicha corriente. Por lo cual a mayor voltaje aplicado y a mayor tiempo debería haber mayor masa depositada de cobre.

La tabla 5.10 muestra los resultados obtenidos de las pruebas realizadas con las doce condiciones de trabajo, en el agua representativa del espesador de colas, que es el punto con mayor concentración de iones cobre en el circuito del agua de Minera Sabinas.

Tabla 5.10 Electrobeneficio de solución representativa del espesador de colas a diferentes condiciones de trabajo en celda electrolítica.

Agua representativa de espesador de colas			
Prueba	Cu²⁺ inicial (ppm)	C final (ppm)	Cu depositado (mg)
C1	0.27	0.15	0.12
C2	0.27	0.15	0.12
C3	0.27	0.14	0.13
C4	0.27	0.14	0.13
C5	0.27	0.13	0.15
C6	0.27	0.13	0.14
C7	1.033	0.363	0.67
C8	1.033	0.355	0.68
C9	1.033	0.372	0.66
C10	1.033	0.343	0.69
C11	1.033	0.407	0.63
C12	1.033	0.399	0.63

Esto se debe a la gran cantidad de volumen que se necesita de agua para cada prueba de flotación, lo cual es necesario realizar las pruebas electrolíticas de ese mismo volumen, por lo cual se requiere preparar una gran cantidad de solución. Al ser doce condiciones y de ser necesarios tres litros por prueba, son necesarios 36 litros en total, es por esto que se optó por preparar la solución en garrafones de agua, no obstante, los garrafones aunque tienen señalado un volumen, este no es exacto, lo cual puede causar que a pesar de agregar volúmenes iguales de la misma solución patrón de sulfato de cobre las concentraciones posean concentraciones diferentes, tal y como fue este el caso en el que la solución preparada para las primeras seis condiciones fue de un garrafón y para las otras seis de otro garrafón diferente, agregando los mismos volúmenes de solución de sulfato de cobre a 1000 ppm y como se observa de la tabla 5.11 las concentraciones iniciales son valores de diferentes. En la figura 5.4 es visible la diferencia entre las doce condiciones, sin embargo, es importante tomar en cuenta la consideración de que las pruebas de la primera a la sexta condición la concentración inicial fue mucho menor que en el resto de las pruebas.

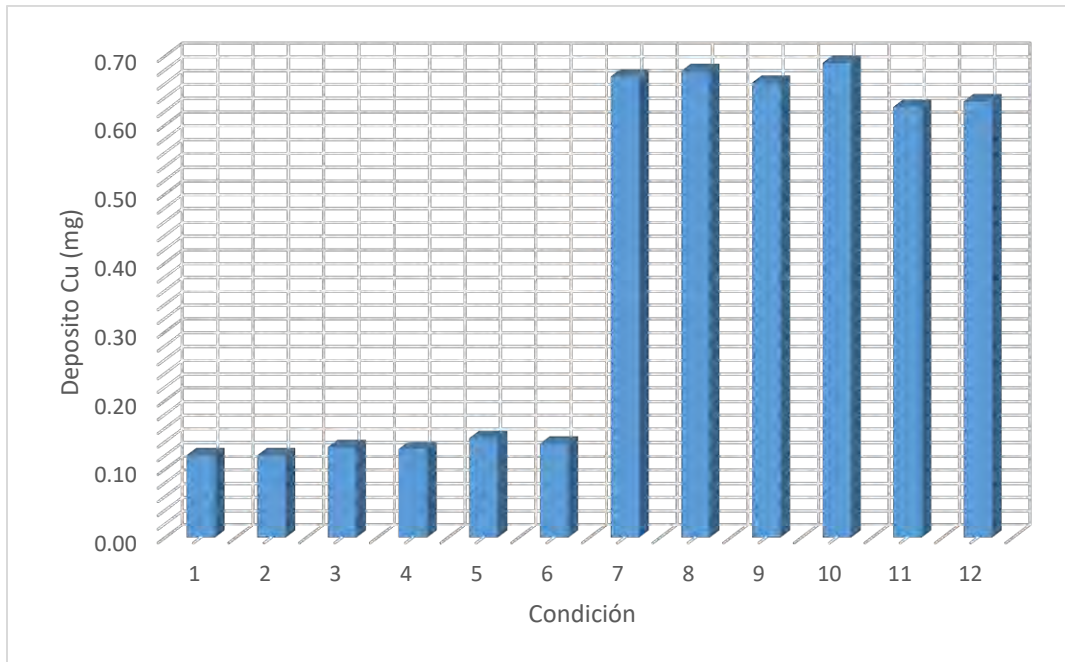


Figura 5.4 Depósito de cobre con respecto a la concentración inicial de cobre en solución en pruebas de agua representativa de espesador de colas.

La diferencia entre las pruebas con agitación y sin agitación marca una clara tendencia obteniendo un mejor depósito en presencia de agitación, esto es porque al promover el movimiento de las partículas, estas tienen mayor probabilidad de pasar por los cátodos y ser depositadas.

La mejor condición de trabajo, es decir la mejor recuperación de cobre depositado para las primeras seis condiciones es la prueba 5, o sea que las condiciones óptimas de trabajo para una celda electrolítica, sin agitación, con electrolito de sulfato de cobre a una concentración baja como 0.27 ppm es trabajando con 4.5 V y 3 minutos. No obstante, al no haber una gran diferencia entre las seis pruebas trabajar tan solo 1 minuto a 3 V es más que suficiente, para esto habría que realizar

un análisis de costo beneficio, para saber que es mejor aplicar a nivel planta en cuanto a la relación de efectividad y costo del proceso.

Por otra parte, para las pruebas con agitación, se obtuvo como mejor condición la décima condición, es decir 4.5 V y 1 minuto. Al igual que en las pruebas sin agitación no es necesario aplicar un tiempo mayor, pero en este caso si resulto conveniente usar un voltaje más grande.

Tabla 5.11 Electrobeneficio de solución representativa de agua representativa de concentración activadora de esfalerita

Agua representativa de concentración activadora de esfalerita			
Prueba	C inicial (ppm)	C final (ppm)	Cu depositado (mg)
C1	10.52	10.07	0.45
C2	10.52	10.08	0.445
C3	10.52	10.27	0.249
C4	10.52	10.09	0.433
C5	10.52	10.10	0.422
C6	10.52	10.07	0.452
C7	10.363	6.059	4.304
C8	10.363	6.771	3.592
C9	10.363	5.131	5.232
C10	10.363	8.883	1.48
C11	10.363	8.801	1.562
C12	10.363	0.383	9.98

En la tabla 5.11 están los datos obtenidos del electrobeneficio de cobre para el agua que tiene una cantidad de iones cobre suficiente para que se dé la activación del mineral de zinc.

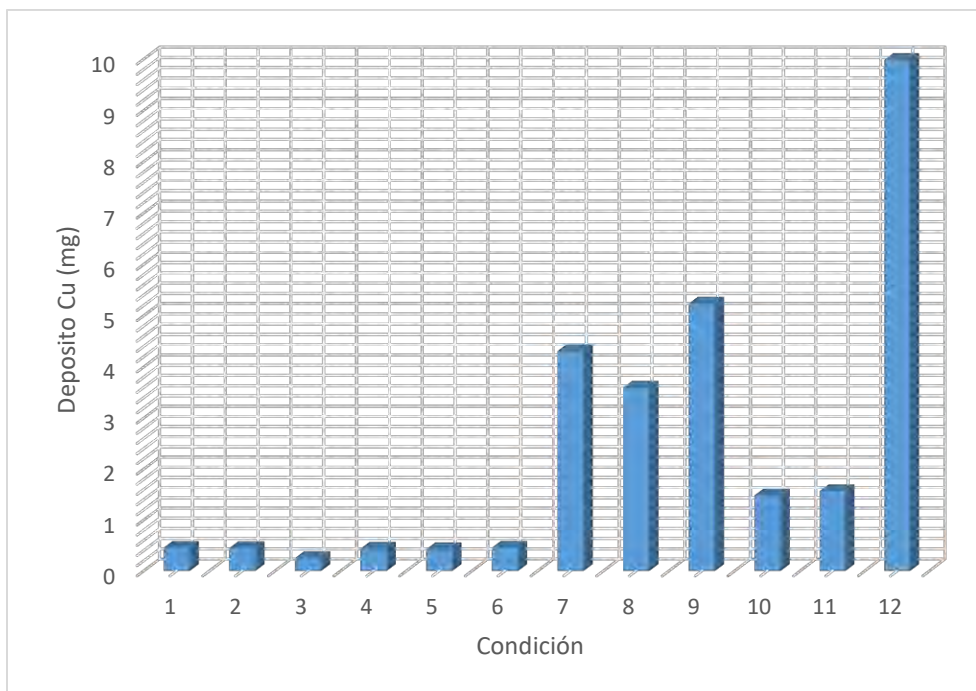


Figura 5.5 Depósito de cobre con respecto a la concentración inicial de cobre en solución en pruebas de agua representativa de concentración de cobre activadora de esfalerita.

En la figura 5.5 está representado el comportamiento obtenido en las pruebas con el agua representativa de una concentración de iones cobre causantes de activación de esfalerita. Es notorio que la condición C12 es la que mayor depositación de cobre se logró, por lo tanto, la mejor condición de trabajo para agua con concentración aproximada de 10 ppm es con agitación, 4.5 V y 5 minutos. Visualmente durante la experimentación esta aseveración tuvo coherencia, ya que fue la única prueba con un notable depósito de cobre en el cátodo, tal y como se puede apreciar en la figura 5.6. Igualmente es notorio que las pruebas con agitación respondieron mucho mejor que las pruebas sin agitación, ya que las pruebas sin agitación tuvieron muy poco

depósito, esto puede ser debido a que al no haber agitación hay una menor cantidad de iones cercanos a los cátodos.



Figura 5.6 Cátodo de acero inoxidable con depósito de cobre.

Una vez realizadas las pruebas de electrobeneficio, el agua tratada fue usada para realizar las pruebas de flotación

5.5 Flotación.

Aunque estudios previos señalan que la concentración necesaria de iones cobre en el agua de proceso para la activación de la esfalerita en un circuito de flotación cobre-zinc, debe ser igual o mayor a diez ppm, analizar si aún a bajas concentraciones de iones cobre en el agua tienen estos iones un efecto negativo en el proceso es importante. En la figura 5.5 se muestra los resultados del porcentaje de recuperación de cobre acumulado en flotaciones de cobre, usando agua con contenido de iones cobre similar al encontrado en el espesador de colas (2.2 ppm), pero tratada en una celda electrolítica para la eliminación de este ion. Mientras que

en la figura 5.7 se puede observar los resultados de las mismas pruebas, pero correspondientes al porcentaje de recuperación de zinc acumulado.

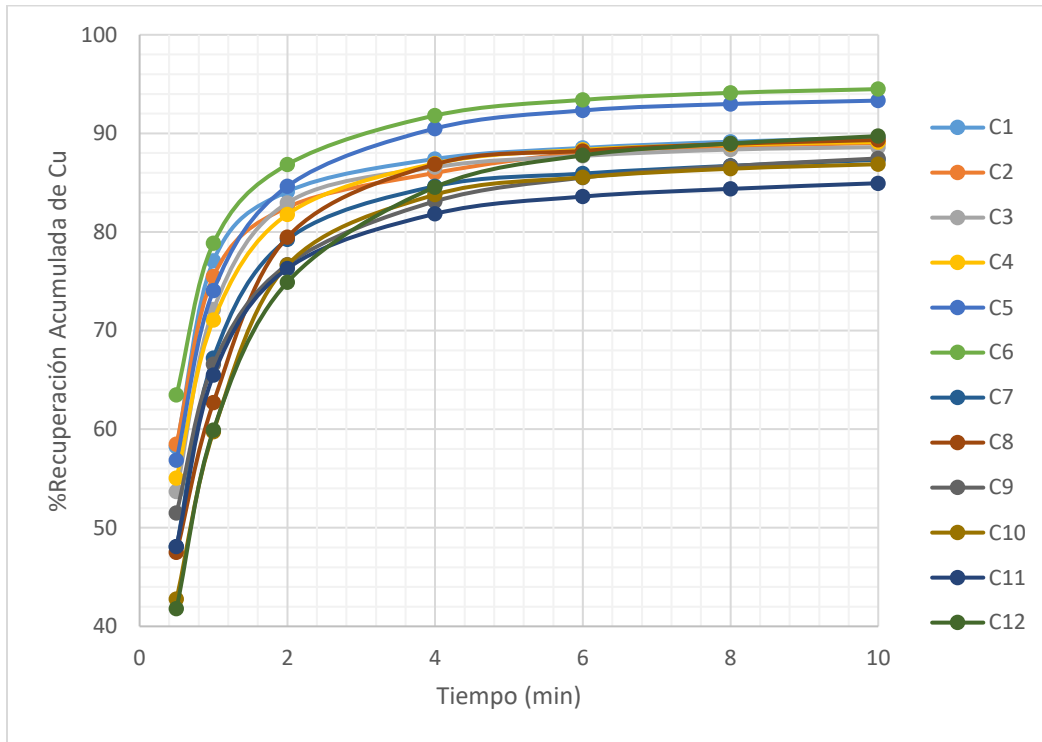


Figura 5.7 Cinética de flotación de cobre con %Recuperación acumulada de cobre en pruebas con agua representativa de agua de proceso.

Las dos mejores condiciones bajo las que se obtuvo una mayor recuperación de cobre en un menor tiempo, fueron C6 Y C7. Sin embargo, como vimos en la sección anterior, estas dos condiciones presentan concentraciones diferentes de iones cobre, es decir que a concentraciones bajas de cobre en el agua de flotación no influyen para la recuperación de cobre.

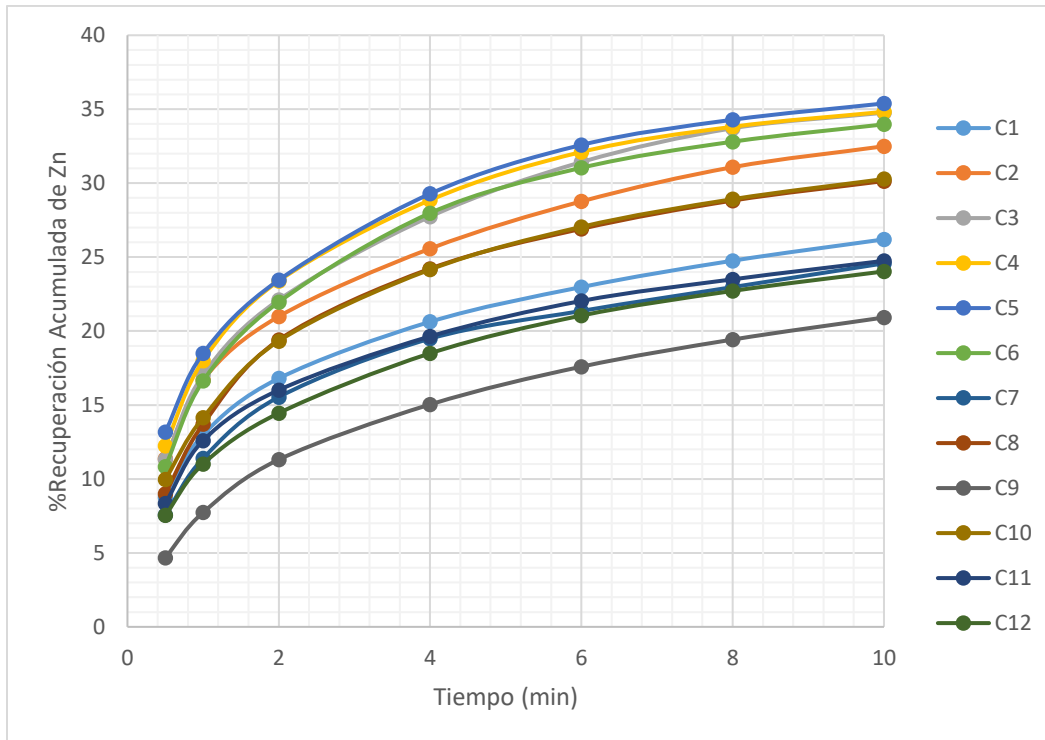


Figura 5.8 Cinética de flotación de cobre con %Recuperación acumulado de zinc en agua representativa de agua de proceso.

Para la recuperación de zinc en flotación de cobre, las mejores condiciones fueron las mismas C6 Y C7, además de C4, es decir que en este caso de nuevo tenemos que se recuperó más zinc en condiciones de concentración diferentes.

En el caso del zinc lo que se espera es que haya la menor cantidad de recuperación posible, ya que recuperar zinc en una flotación de cobre, significa que se está obteniendo un concentrado de menor calidad, lo cual industrialmente significa multas y por lo tanto disminución de valor monetario por el concentrado. La condición que mejor promueve la mínima aparición de zinc en concentrado es C9, es decir trabajando en la celda electrolítica con agitación, 3V y 5 minutos, lo que

quiere decir que aplicar un mayor tiempo de voltaje mejora el proceso aun usando un voltaje más bajo.

Analizando la cantidad de cobre disuelto en el agua en cada prueba, la condición más favorable para trabajar el proceso de celda electrolítica para el agua de Unidad Minera Sabinas, sería la condición C12, ya que, aunque la mejor condición para recuperar cobre es C1, esta también presenta una alta recuperación de zinc, mientras que C12 recuperó bastante bien el cobre y no presento tanta recuperación de zinc.

Sin embargo, estudios previos señalan que la concentración de iones cobre disueltos en agua para activar la esfalerita es de 10 ppm de lo cual resulta importante analizar este caso de estudio, ya que, aunque no es el caso de Unidad Sabinas, puede que estas condiciones estén dadas en muchas otras Unidades minero-metalúrgicas. En las figuras 5.9 y 5.10 se observan los resultados de las cinéticas de flotación de 12 pruebas trabajadas bajo las mismas condiciones operativas de flotación, pero con diferente tratamiento al agua.

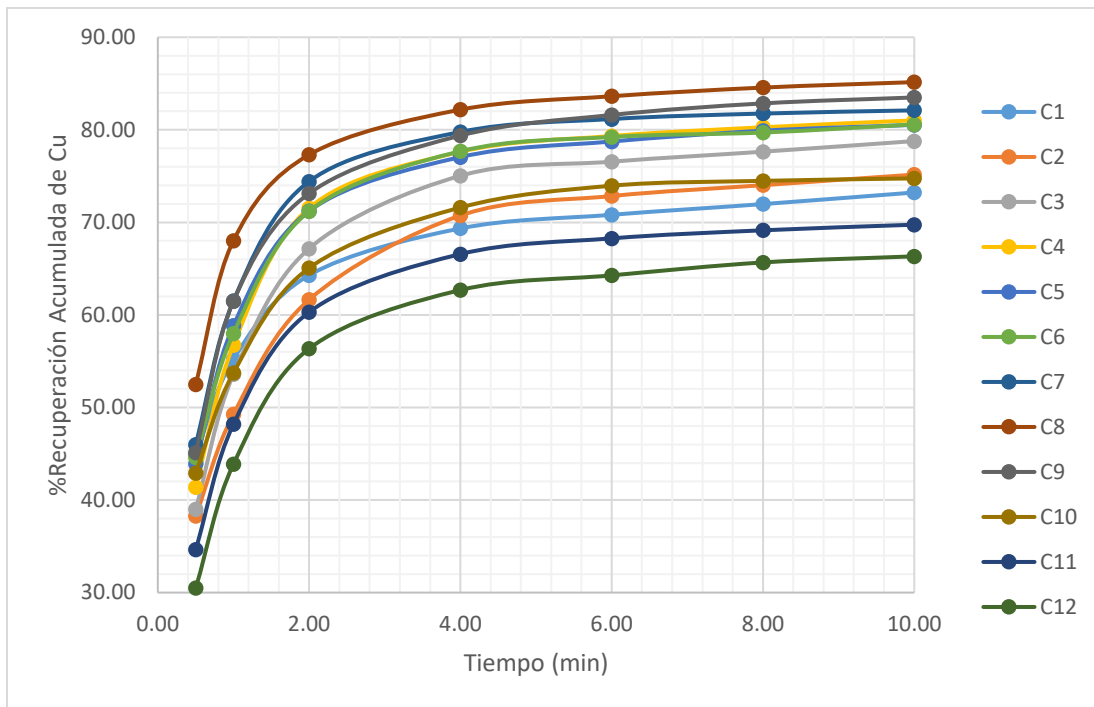


Figura 5.9 Cinética de flotación de cobre con %Recuperación acumulado de cobre en pruebas con agua representativa de agua con concentración de iones Cu^{2+} causantes de activación de mineral de zinc.

La condición con la que se obtuvo mayor recuperación de cobre fue C8, es decir sin agitación, 3V y 3 minutos, mientras que la menos efectiva, resulto ser C12, es decir con agitación, 4.5V y 5 minutos. Algunas otras pruebas con resultados sobresalientes fueron C9, C7, C4 y C6, mientras que además de C12, C7 obtuvo resultados de recuperación de cobre muy pobres. Por lo tanto, la mejor condición de trabajo para la recuperación de cobre es C8.

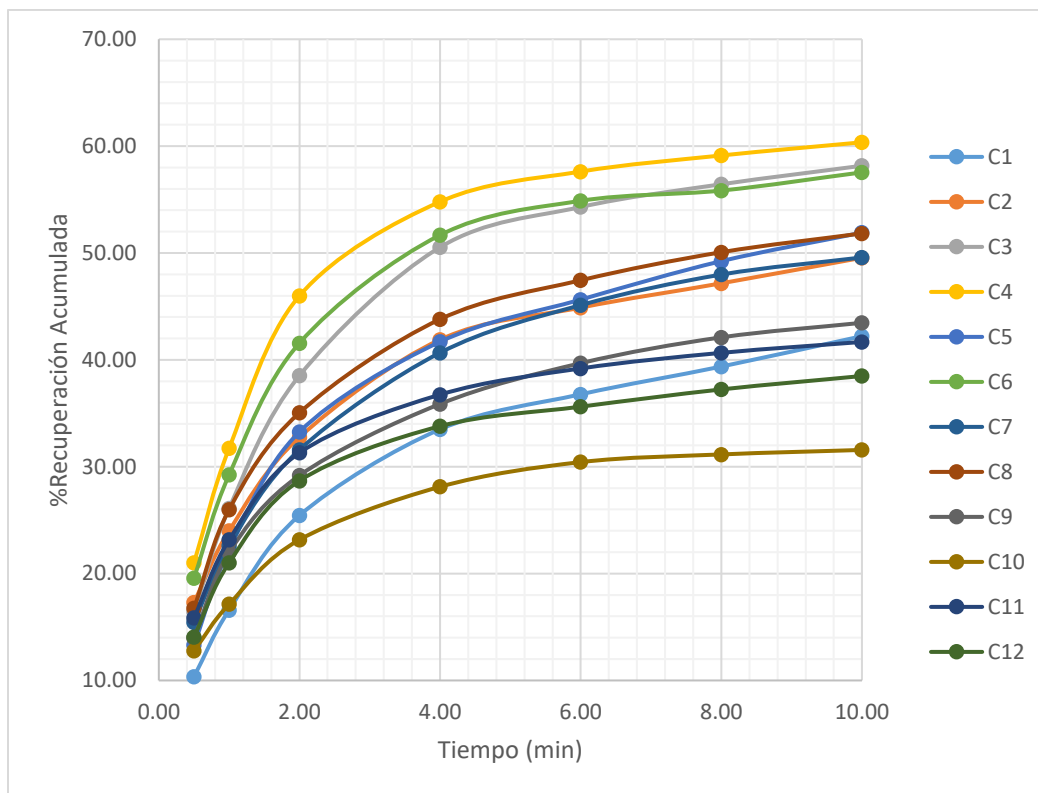


Figura 5.10 Cinética de flotación de cobre con %Recuperación acumulado de zinc en pruebas con agua representativa de agua con concentración de iones Cu^{2+} causantes de activación de mineral de zinc.

La condición con la que se obtuvo menor recuperación de zinc fue C10, es decir con agitación, 4.5V y 1 minuto, mientras que la menos efectiva para evitar la recuperación de zinc, resulto ser C4, es decir sin agitación, 4.5V y 1 minutos. Algunas otras pruebas con resultados sobresalientes fueron C12, C7, y C1, mientras que además de C4, C6 y C3 obtuvieron resultados evitando la recuperación de zinc muy pobres. En consecuencia, la mejor condición de trabajo para evitar la recuperación de zinc es C10. El resultado dado en C10 no era esperado, ya que fue una prueba cuyos resultados de depositación de cobre no fueron altos, sin embargo, el caso de C12 en donde también hubo una notable baja en la activación del zinc

cumple con lo esperado, ya que fue la condición donde mayor depósito de cobre en la electroobtención se obtuvo y por lo tanto era el agua con menor cantidad de iones Cu^{2+} .

C10, aunque fue la prueba en donde se obtuvo una menor recuperación de zinc, en la recuperación de cobre obtuvo resultados medios en comparación con el resto de las pruebas. La segunda mejor condición de menor activación del zinc fue C12, aunque, para la recuperación de cobre esta condición también fue la que obtuvo menor recuperación de cobre, es decir, aunque presenta buenos resultados para la no activación de esfalerita también resulta mala para la recuperación de cobre, por lo cual no es una condición conveniente.

Probablemente la más conveniente condición sería C9, ya que es una de las más altas en cuanto a recuperación de cobre, mientras que, empero, no es la que menor activación de zinc presentó, si obtuvo bajas en la activación de este mineral.

Conclusiones.

- La mejora en el proceso de flotación, para circuitos con iones cúpricos excedentes de 10ppm, mediante la implementación de un sistema de recuperación de iones cobre por vía electroquímica es posible.
- El tener una gran variedad de minerales, causa que se tengan que modificar las condiciones de flotación y por lo tanto el agua de proceso también cambia en su composición química, es decir, la contaminación del agua recirculada dependerá del tipo de mineral tratado previamente.
- A concentraciones tan bajas como 10 ppm o menores las variables controlables en una electrodeposición no representan un cambio importante en la cantidad de masa depositada.
- La condición de trabajo más conveniente para operar un proceso electrolítico con agua de proceso con concentraciones bajas de iones Cu^{2+} son pH 7, 4.5V, 5 minutos, con agitación.
- La condición de trabajo más conveniente para operar un proceso electrolítico de agua con concentraciones cercanas a 10ppm de iones Cu^{2+} son pH 7, 3V, 5 minutos, con agitación.
- La mayor cantidad de sólidos suspendidos está presente en los espesadores de ambas plantas, esto puede causar problemas de taponamiento en tuberías, disminución en los flujos, necesidad de aplicación de mayor potencia en bombas y contaminación del agua recirculada.

Referencias.

1. Wills. "Mineral Processing Technology". Elsevier Science & Technology Books. (2006), p. 1-25
2. "Mining Chemicals Handbook". CYTEC. (2010), p. 54-70
3. Norgate. "Assessing the environmental impact of metal production processes". (2006)
4. Fuerstenau. "Chemistry of flotation". Society of mining engineers. (1985) p. 1-10
5. Recuperado el 26 de diciembre de 2016, de <https://sites.google.com/site/mineriaservicio/practica-de-flotacion/mquinas-de-flotacin/celda-de-flotacin-dorr-oliver>
6. Biswas. "El cobre Metalurgia extractiva". Limusa. (1993), p. 17-18.
7. Sivamohan. "The problem of recovering very fine particles in mineral processing". International Journal of Mineral Processing. (1985). p. 260-282.
8. Rabone. "Concentración de minerales por flotación". Comisión de fomento minero. 1975.
9. Dudenhov. "Fundamentos de la teoría y la práctica de empleo de reactivos de flotación". MIR. (1980). p. 11-20
10. Tapia Bacovich. "Flotación fundamentos y aplicaciones". Universidad Católica del Norte. Chile. p. 33-50
11. Pacheco. "Uso del agua en la industria minera. Parte 2: Estudio de opciones para recircular agua de proceso". Tecnología, Ciencia, Educación. México (2007). p. 15-29

12. Recuperado el 27 de diciembre de 2016, de http://www.academia.edu/10355067/Universidad_de_Atacama
13. Morales. "Electrometalurgia Apuntes para alumnos". Universidad Católica del Norte. Chile (2003). p. 5-15
14. Recuperado el 16 de marzo de 2017 <http://www.fisquiweb.es/Laboratorio/Electrolisis/ElectrolisisSulfatoCu.htm>
15. Recuperado el 29 de diciembre de 2016, de <http://laboratoriotecnicasinstrumentales.es/analisisquimicos/espectroscopa-de-plasma-icp-oes>
16. Recuperado el 26 de diciembre de 2016, de <http://em1.stanford.edu/Schedule/ICP/abouticp.htm>

Anexos.

Anexo 1. Calculo de sólidos suspendidos.

Sólidos suspendidos prueba 1.

Planta 1			
Agua Espesador Zn		Agua Alimentación SAG	
Crisol+Filtro (g)	32.0189	Crisol+Filtro (g)	31.5031
Peso seco (g)	32.0263	Peso seco (g)	31.506
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	148	S.S. (ppm)	58
Agua Espesador Pb		Agua Pileta Pb	
Crisol+Filtro (g)	32.7456	Crisol+Filtro (g)	32.1867
Peso seco (g)	32.7683	Peso seco (g)	32.1925
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	454	S.S. (ppm)	116
Agua Espesador Colas		Agua Pileta Zn	
Crisol+Filtro (g)	32.2764	Crisol+Filtro (g)	32.0957
Peso seco (g)	32.2806	Peso seco (g)	32.0981
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	84	S.S. (ppm)	48

Planta 2			
Agua Espesador Zn		Agua Alimentación Molino	
Crisol+Filtro (g)	34.5678	Crisol+Filtro (g)	32.3016
Peso seco (g)	34.5712	Peso seco (g)	32.3075
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	68	S.S. (ppm)	118
Agua Espesador Cu		Agua Pileta Cu	
Crisol+Filtro (g)	34.7505	Crisol+Filtro (g)	32.2765
Peso seco (g)	34.7544	Peso seco (g)	32.2796
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	78	S.S. (ppm)	62
Agua Espesador Colas		Agua Pileta Zn	
Crisol+Filtro (g)	31.3216	Crisol+Filtro (g)	31.5017
Peso seco (g)	31.3246	Peso seco (g)	31.5084
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50

S.S. (ppm)	60	S.S. (ppm)	134
------------	----	------------	-----

Sólidos suspendidos prueba 2.

Planta 1			
Agua Espesador Zn		Agua Alimentación SAG	
Crisol+Filtro (g)	32.1592	Crisol+Filtro (g)	32.0193
Peso seco (g)	32.3531	Peso seco (g)	32.0241
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	3878	S.S. (ppm)	96
Agua Espesador Pb		Agua Pileta Pb	
Crisol+Filtro (g)	32.7456	Crisol+Filtro (g)	34.7495
Peso seco (g)	33.1492	Peso seco (g)	34.7767
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	8072	S.S. (ppm)	544
Agua Espesador Colas		Agua Pileta Zn	
Crisol+Filtro (g)	32.0953	Crisol+Filtro (g)	31.3215
Peso seco (g)	32.1005	Peso seco (g)	31.3317
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	104	S.S. (ppm)	204

Planta 2			
Agua Espesador Zn		Agua Alimentación Molino	
Crisol+Filtro (g)	31.3232	Crisol+Filtro (g)	34.5685
Peso seco (g)	31.3527	Peso seco (g)	34.5734
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	590	S.S. (ppm)	98
Agua Espesador Cu		Agua Pileta Cu	
Crisol+Filtro (g)	34.7506	Crisol+Filtro (g)	32.3008
Peso seco (g)	34.7592	Peso seco (g)	32.3083
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	172	S.S. (ppm)	150
Agua Espesador Colas		Agua Pileta Zn	
Crisol+Filtro (g)	32.3032	Crisol+Filtro (g)	32.0178
Peso seco (g)	32.3106	Peso seco (g)	32.037
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	148	S.S. (ppm)	384

Sólidos suspendidos prueba 3.

Planta 1			
Agua Espesador Zn		Agua Alimentación SAG	
Crisol+Filtro (g)	32.0952	Crisol+Filtro (g)	32.7451
Peso seco (g)	32.3293	Peso seco (g)	32.7475
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	4682	S.S. (ppm)	48
Agua Espesador Pb		Agua Pileta Pb	
Crisol+Filtro (g)	34.5671	Crisol+Filtro (g)	31.3216
Peso seco (g)	35.4819	Peso seco (g)	31.3322
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	18296	S.S. (ppm)	212
Agua Espesador Colas		Agua Pileta Zn	
Crisol+Filtro (g)	31.5021	Crisol+Filtro (g)	32.0175
Peso seco (g)	31.504	Peso seco (g)	32.0302
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	38	S.S. (ppm)	254

Planta 2			
Agua Espesador Zn		Agua Alimentación Molino	
Crisol+Filtro (g)	32.3012	Crisol+Filtro (g)	32.0959
Peso seco (g)	32.3285	Peso seco (g)	32.0967
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	546	S.S. (ppm)	16
Agua Espesador Cu		Agua Pileta Cu	
Crisol+Filtro (g)	34.7489	Crisol+Filtro (g)	34.5667
Peso seco (g)	34.8363	Peso seco (g)	34.5775
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	1748	S.S. (ppm)	216
Agua Espesador Colas		Agua Pileta Zn	
Crisol+Filtro (g)	32.2769	Crisol+Filtro (g)	32.7449
Peso seco (g)	32.2789	Peso seco (g)	32.7464
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	40	S.S. (ppm)	30

Sólidos suspendidos prueba 4.

Planta 1			
Agua Espesador Zn		Agua Alimentación SAG	
Crisol+Filtro (g)	32.3022	Crisol+Filtro (g)	32.0962
Peso seco (g)	32.3113	Peso seco (g)	32.0971
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	182	S.S. (ppm)	18
Agua Espesador Pb		Agua Pileta Pb	
Crisol+Filtro (g)	31.3228	Crisol+Filtro (g)	32.2183
Peso seco (g)	31.7134	Peso seco (g)	32.2294
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	7812	S.S. (ppm)	222
Agua Espesador Colas		Agua Pileta Zn	
Crisol+Filtro (g)	31.5029	Crisol+Filtro (g)	34.5683
Peso seco (g)	31.5057	Peso seco (g)	34.5704
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	56	S.S. (ppm)	42

Planta 2			
Agua Espesador Zn		Agua Alimentación Molino	
Crisol+Filtro (g)	32.7458	Crisol+Filtro (g)	32.0187
Peso seco (g)	32.7985	Peso seco (g)	32.02
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	1054	S.S. (ppm)	26
Agua Espesador Cu		Agua Pileta Cu	
Crisol+Filtro (g)	34.7507	Crisol+Filtro (g)	34.5683
Peso seco (g)	34.7934	Peso seco (g)	34.57
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	854	S.S. (ppm)	34
Agua Espesador Colas		Agua Pileta Zn	
Crisol+Filtro (g)	32.2763	Crisol+Filtro (g)	31.3222
Peso seco (g)	32.2782	Peso seco (g)	31.3293
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	38	S.S. (ppm)	142

Sólidos suspendidos prueba 5.

Planta 1			
Agua Espesador Zn		Agua Alimentación SAG	
Crisol+Filtro (g)	32.302	Crisol+Filtro (g)	32.0971
Peso seco (g)	32.4114	Peso seco (g)	32.0981
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	2188	S.S. (ppm)	20
Agua Espesador Pb		Agua Pileta Pb	
Crisol+Filtro (g)		Crisol+Filtro (g)	32.7454
Peso seco (g)		Peso seco (g)	32.7558
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	0	S.S. (ppm)	208
Agua Espesador Colas		Agua Pileta Zn	
Crisol+Filtro (g)	32.7452	Crisol+Filtro (g)	32.302
Peso seco (g)	32.7495	Peso seco (g)	32.3128
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	86	S.S. (ppm)	216

Planta 2			
Agua Espesador Zn		Agua Alimentación Molino	
Crisol+Filtro (g)	31.5027	Crisol+Filtro (g)	34.7498
Peso seco (g)	31.5953	Peso seco (g)	34.7509
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	1852	S.S. (ppm)	22
Agua Espesador Cu		Agua Pileta Cu	
Crisol+Filtro (g)	32.0189	Crisol+Filtro (g)	32.0959
Peso seco (g)	32.0258	Peso seco (g)	32.1036
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	138	S.S. (ppm)	154
Agua Espesador Colas		Agua Pileta Zn	
Crisol+Filtro (g)	32.2772	Crisol+Filtro (g)	34.5682
Peso seco (g)	32.2791	Peso seco (g)	34.5775
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	38	S.S. (ppm)	186

Sólidos suspendidos prueba 6.

Planta 1			
Agua Espesador Zn		Agua Alimentación SAG	
Crisol+Filtro (g)	31.5025	Crisol+Filtro (g)	32.0183
Peso seco (g)	31.6571	Peso seco (g)	32.02
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	3092	S.S. (ppm)	34
Agua Espesador Pb		Agua Pileta Pb	
Crisol+Filtro (g)		Crisol+Filtro (g)	34.75
Peso seco (g)		Peso seco (g)	34.7583
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	0	S.S. (ppm)	166
Agua Espesador Colas		Agua Pileta Zn	
Crisol+Filtro (g)	34.7499	Crisol+Filtro (g)	32.7454
Peso seco (g)	34.754	Peso seco (g)	32.7511
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	82	S.S. (ppm)	114

Planta 2			
Agua Espesador Zn		Agua Alimentación Molino	
Crisol+Filtro (g)	31.3226	Crisol+Filtro (g)	32.0956
Peso seco (g)	31.3836	Peso seco (g)	32.0978
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	1220	S.S. (ppm)	44
Agua Espesador Cu		Agua Pileta Cu	
Crisol+Filtro (g)	32.018	Crisol+Filtro (g)	31.5019
Peso seco (g)	32.024	Peso seco (g)	31.5041
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	120	S.S. (ppm)	44
Agua Espesador Colas		Agua Pileta Zn	
Crisol+Filtro (g)	32.2764	Crisol+Filtro (g)	34.5672
Peso seco (g)	32.2785	Peso seco (g)	34.5709
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	42	S.S. (ppm)	74

Sólidos suspendidos prueba 7.

Planta 1			
Agua Espesador Zn		Agua Alimentación SAG	
Crisol+Filtro (g)	31.5018	Crisol+Filtro (g)	32.3015
Peso seco (g)	31.6049	Peso seco (g)	32.3033
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	2062	S.S. (ppm)	36
Agua Espesador Pb		Agua Pileta Pb	
Crisol+Filtro (g)	32.7447	Crisol+Filtro (g)	32.7452
Peso seco (g)	32.8642	Peso seco (g)	32.7537
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	2390	S.S. (ppm)	170
Agua Espesador Colas		Agua Pileta Zn	
Crisol+Filtro (g)	32.2763	Crisol+Filtro (g)	34.7494
Peso seco (g)	32.2783	Peso seco (g)	34.7592
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	40	S.S. (ppm)	196

Planta 2			
Agua Espesador Zn		Agua Alimentación Molino	
Crisol+Filtro (g)	34.5677	Crisol+Filtro (g)	32.0181
Peso seco (g)	34.6713	Peso seco (g)	32.0203
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	2072	S.S. (ppm)	44
Agua Espesador Cu		Agua Pileta Cu	
Crisol+Filtro (g)	32.0952	Crisol+Filtro (g)	31.5022
Peso seco (g)	32.106	Peso seco (g)	31.5058
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	216	S.S. (ppm)	72
Agua Espesador Colas		Agua Pileta Zn	
Crisol+Filtro (g)	31.3224	Crisol+Filtro (g)	34.5676
Peso seco (g)	31.3265	Peso seco (g)	34.5771
Volumen (mL)	50	Volumen (mL)	50
S.S. (ppm)	82	S.S. (ppm)	190

Anexo 2. Análisis químico del agua de proceso en distintos puntos.

Análisis químico prueba 1.

Prueba 1	Pb	Zn	Cu	Fe	Ca	Mg
Planta 1	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Agua Alim Molino	0.000	0.796	0.058	0.301	672.400	6.525
Agua Esp. Pb	0.017	1.500	0.007	0.000	687.700	7.816
Agua Esp. Zn	0.000	1.548	0.005	0.000	690.000	7.390
Agua Esp. Cola	0.000	0.000	0.051	0.000	716.100	5.438
Agua Piletas Pb	1.386	2.561	0.000	0.000	651.200	7.577
Agua Piletas Zn	0.287	1.706	0.006	0.000	626.900	6.885
Planta 2						
Agua Alim Molino	0.000	0.389	0.500	0.000	644.000	11.240
Agua Esp. Cu	0.000	2.517	0.135	0.000	593.400	14.150
Agua Esp. Zn	0.090	2.016	0.054	0.000	501.900	12.920
Agua Esp. Cola	0.000	0.019	0.819	0.000	693.100	10.740
Agua Piletas Cu	0.000	2.462	0.032	0.000	562.400	13.870
Agua Piletas Zn	0.000	2.046	0.006	0.000	536.300	13.950

Análisis químico prueba 2.

Prueba 2	Pb	Zn	Cu	Fe	Ca	Mg
Planta 1	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Agua Alim Molino	0.000	0.039	0.001	0.000	612.500	5.972
Agua Esp. Pb	0.000	5.698	0.000	0.000	508.600	13.150
Agua Esp. Zn	0.000	0.338	0.005	0.000	516.300	5.637
Agua Esp. Cola	0.000	0.000	0.007	0.000	642.200	3.517
Agua Piletas Pb	0.000	0.110	0.000	0.000	592.300	6.315
Agua Piletas Zn	0.627	0.473	0.000	0.000	614.400	6.304
Planta 2						
Agua Alim Molino	0.000	1.848	0.716	0.000	609.700	13.070
Agua Esp. Cu	0.128	2.735	0.176	0.000	567.700	13.700
Agua Esp. Zn	0.000	3.890	0.064	0.000	557.200	13.980
Agua Esp. Cola	0.000	2.205	2.196	0.000	694.300	15.120
Agua Piletas Cu	0.000	2.923	0.149	0.000	570.700	13.960
Agua Piletas Zn	0.000	3.798	-0.001	0.000	590.900	14.570

Análisis químico prueba 3.

Prueba 3	Pb	Zn	Cu	Fe	Ca	Mg
Planta 1	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L

Agua Alim Molino	0.000	0.000	0.000	0.000	685.400	6.871
Agua Esp. Pb	0.245	11.650	0.000	0.000	554.800	14.380
Agua Esp. Zn	0.095	0.330	0.000	0.000	693.100	6.972
Agua Esp. Cola	0.000	0.000	0.000	0.000	664.000	4.165
Agua Piletas Pb	0.717	0.000	0.000	0.000	656.800	6.476
Agua Piletas Zn	0.000	0.158	0.000	0.000	641.200	6.026
Planta 2						
Agua Alim Molino	0.000	0.267	0.000	0.000	513.600	10.160
Agua Esp. Cu	0.000	3.043	0.000	0.000	533.900	11.850
Agua Esp. Zn	0.019	3.966	0.000	0.000	529.100	11.880
Agua Esp. Cola	0.000	13.470	1.622	0.000	608.000	13.250
Agua Piletas Cu	0.000	3.838	0.000	0.000	528.700	11.860
Agua Piletas Zn	0.000	3.447	0.083	0.000	520.200	11.290

Análisis químico prueba 4.

Prueba 4	Pb	Zn	Cu	Fe	Ca	Mg
Planta 1	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Agua Alim Molino	0.000	0.000	0.000	0.000	601.100	6.703
Agua Esp. Pb	0.304	2.500	0.000	0.000	632.400	8.510
Agua Esp. Zn	1.079	0.988	0.000	0.000	656.900	7.304
Agua Esp. Cola	0.000	0.000	0.000	0.000	655.100	3.178
Agua Piletas Pb	1.486	1.634	0.000	0.000	717.200	8.000
Agua Piletas Zn	0.377	0.623	0.000	0.000	726.700	8.012
Planta 2						
Agua Alim Molino	0.000	0.217	0.000	0.000	579.700	11.640
Agua Esp. Cu	0.000	2.394	0.000	0.000	593.400	14.220
Agua Esp. Zn	0.000	2.354	0.000	0.000	608.600	14.500
Agua Esp. Cola	0.000	0.090	0.033	0.000	711.000	16.180
Agua Piletas Cu	0.133	4.066	0.000	0.000	550.900	14.120
Agua Piletas Zn	0.000	5.494	0.000	0.000	562.300	14.520

Análisis químico prueba 5.

Prueba 5	Pb	Zn	Cu	Fe	Ca	Mg
Planta 1	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Agua Alim Molino	0.000	0.000	0.000	0.000	682.200	7.259
Agua Esp. Zn	0.000	0.539	0.000	0.000	648.200	7.623
Agua Esp. Cola	0.000	0.000	0.000	0.000	760.300	3.542
Agua Piletas Pb	0.126	0.298	0.000	0.000	743.400	8.012
Agua Piletas Zn	0.029	0.442	0.000	0.000	694.000	7.516

Planta 2						
Agua Alim Molino	0.000	0.680	0.000	0.000	689.600	20.840
Agua Esp. Cu	0.000	3.195	0.000	0.000	570.500	13.880
Agua Esp. Zn	0.000	5.055	0.000	0.000	582.600	15.400
Agua Esp. Cola	0.000	2.899	0.516	0.000	721.200	20.300
Agua Piletas Cu	0.000	3.991	0.000	0.000	545.500	13.820
Agua Piletas Zn	0.000	2.625	0.000	0.000	518.100	12.550

Análisis químico prueba 6.

Prueba 6	Pb	Zn	Cu	Fe	Ca	Mg
Planta 1	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Agua Esp. Zn	1.129	2.369	0.043	0.181	714.100	8.847
Agua Esp. Cola	0.109	0.000	0.000	0.000	743.600	3.594
Agua Alim Molino	0.282	0.319	0.030	0.000	552.300	19.250
Agua Piletas Zn	0.388	0.770	0.034	0.000	681.800	8.063
Agua Piletas Pb	1.336	0.891	0.000	0.000	710.100	8.516
Planta 2						
Agua Esp. Zn	0.867	3.948	0.003	0.004	581.200	14.200
Agua Esp. Cu	0.065	3.460	0.027	0.000	604.900	15.070
Agua Esp. Cola	0.449	2.577	0.832	0.000	679.900	16.690
Agua Alim Molino	3.824	0.519	0.111	0.017	577.300	21.380
Agua Piletas Zn	0.110	4.026	0.052	0.000	681.700	16.250
Agua Piletas Cu	0.074	6.096	0.035	0.000	758.800	18.430

Análisis químico prueba 7.

Prueba 7	Pb	Zn	Cu	Fe	Ca	Mg
Planta 1	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Agua Esp. Pb	1.252	5.176	0.008	0.222	726.400	8.988
Agua Esp. Zn	0.175	1.711	0.060	0.000	738.900	9.109
Agua Esp. Cola	0.118	0.000	0.011	0.000	815.800	4.501
Agua Alim Molino	0.137	0.428	0.073	0.030	640.100	18.630
Agua Piletas Pb	4.639	5.035	0.010	0.191	698.400	8.822
Agua Piletas Zn	0.420	1.529	0.010	0.000	887.800	10.700
Planta 2						
Agua Esp. Cu	0.197	4.245	0.048	0.000	641.100	16.480
Agua Esp. Zn	0.045	7.990	0.011	0.000	827.200	21.240
Agua Esp. Cola	0.189	1.163	0.435	0.020	910.230	21.490
Agua Alim Molino	0.034	0.422	0.047	0.000	705.400	19.270
Agua Piletas Cu	0.105	5.194	0.208	0.158	825.800	20.900

Agua Piletas Zn	0.105	3.888	0.027	0.000	612.000	15.360
-----------------	-------	-------	-------	-------	---------	--------

Anexo 3. Cinética de flotación con agua representativa de agua de proceso.

Cinética de flotación prueba 1.

Prueba C1			Ensaye		Contenido		%Recuperación		%Recuperación Acumulada	
Tiempo (min)	Peso (g)	%Peso	%Cu	%Zn	Cu (g)	Zn (g)	%Cu	%Zn	%Cu	%Zn
0.50	25.13	2.52	22.87	5.57	5.75	1.40	58.22	8.75	58.22	8.75
1.00	9.85	0.99	18.91	6.88	1.86	0.68	18.87	4.23	77.08	12.98
2.00	7.91	0.79	8.75	7.72	0.69	0.61	7.01	3.82	84.10	16.80
4.00	9.23	0.93	3.54	6.64	0.33	0.61	3.31	3.83	87.41	20.63
6.00	7.34	0.74	1.50	5.11	0.11	0.38	1.12	2.35	88.52	22.97
8.00	6.74	0.68	0.93	4.24	0.06	0.29	0.63	1.78	89.15	24.76
10.00	5.44	0.55	0.74	4.24	0.04	0.23	0.41	1.44	89.56	26.20
Cola	925.55	92.82	0.07	1.24	0.65	11.46	6.56	71.59	96.12	97.79
Total	997.19	100.00	0.99	1.61	9.87	16.00				

Cinética de flotación prueba 2.

Prueba C2			Ensaye		Contenido		%Recuperación		%Recuperación Acumulada	
0.50	25.10	2.51	20.27	7.27	5.09	1.82	58.49	11.39	58.49	11.39
1.00	9.57	0.96	14.46	8.90	1.38	0.85	17.00	5.31	75.49	16.70
2.00	8.32	0.83	5.95	8.25	0.49	0.69	7.01	4.28	82.50	20.98
4.00	9.19	0.92	2.68	8.00	0.25	0.74	3.49	4.59	85.99	25.57
6.00	7.85	0.79	1.33	6.52	0.10	0.51	2.06	3.19	88.05	28.76
8.00	6.84	0.69	0.93	5.42	0.06	0.37	0.64	2.31	88.69	31.08
10.00	5.71	0.57	0.57	3.97	0.03	0.23	0.33	1.42	89.02	32.49
Cola	925.58	92.73	0.06	1.05	0.56	9.75	5.62	64.84	94.64	97.33
Total	998.16	100.00	0.99	1.61	9.88	16.02				
0.50	25.10	2.51	20.27	7.27	5.09	1.82	58.49	11.39	58.49	11.39

Cinética de flotación prueba 3.

Prueba C3			Ensaye		Contenido		%Recuperación		%Recuperación Acumulada	
0.50	25.70	2.58	20.63	8.93	5.30	2.30	53.67	11.33	53.67	11.33
1.00	9.66	0.97	18.88	9.46	1.82	0.91	18.46	5.71	72.13	17.04

2.00	7.69	0.77	13.90	10.56	1.07	0.81	10.82	5.07	82.95	22.11
4.00	9.47	0.95	3.78	9.52	0.36	0.90	3.62	5.63	86.57	27.74
6.00	7.61	0.76	1.49	7.76	0.11	0.59	1.15	3.69	87.72	31.42
8.00	7.05	0.71	0.89	5.20	0.06	0.37	0.64	2.29	88.36	33.71
10.00	5.50	0.55	0.45	3.06	0.02	0.17	0.25	1.05	88.61	34.76
Cola	925.16	92.72	0.06	1.27	0.56	11.79	5.71	62.60	94.32	97.36
Total	997.84	100.00	0.99	1.61	9.88	16.02				
0.50	25.70	2.58	20.63	8.93	5.30	2.30	53.67	11.33	53.67	11.33

Cinética de flotación prueba 4.

Prueba C4			Ensaye		Contenido		%Recuperación		%Recuperación Acumulada	
0.50	25.49	2.55	21.34	7.69	5.44	1.96	55.05	12.24	55.05	12.24
1.00	9.53	0.95	16.61	9.69	1.58	0.92	16.02	5.76	71.07	18.01
2.00	8.37	0.84	12.65	10.30	1.06	0.86	10.72	5.38	81.79	23.39
4.00	9.45	0.95	5.39	9.26	0.51	0.88	5.16	5.46	86.95	28.85
6.00	7.48	0.75	1.84	6.97	0.14	0.52	1.39	3.25	88.34	32.11
8.00	6.70	0.67	0.78	4.08	0.05	0.27	0.53	1.71	88.87	33.81
10.00	5.63	0.56	0.46	2.87	0.03	0.16	0.26	1.01	89.13	34.82
Cola	925.39	92.72	0.07	1.33	0.62	12.30	6.28	62.78	95.41	97.60
Total	998.04	100.00	0.99	1.61	9.88	16.02				
0.50	25.49	2.55	21.34	7.69	5.44	1.96	55.05	12.24	55.05	12.24

Cinética de flotación prueba 5.

Prueba C5			Ensaye		Contenido		%Recuperación		%Recuperación Acumulada	
0.50	25.02	2.51	23.22	8.42	5.81	2.11	56.87	13.17	56.87	13.17
1.00	9.59	0.96	19.75	8.88	1.89	0.85	17.19	5.32	74.06	18.50
2.00	7.90	0.79	13.21	10.03	1.04	0.79	10.57	4.95	84.63	23.45
4.00	9.43	0.95	6.13	9.90	0.58	0.93	5.86	5.83	90.49	29.28
6.00	7.65	0.77	2.36	6.91	0.18	0.53	1.83	3.30	92.32	32.58
8.00	6.42	0.64	1.01	4.25	0.06	0.27	0.66	1.70	92.98	34.29
10.00	5.85	0.59	0.58	3.02	0.03	0.18	0.34	1.10	93.32	35.39
Cola	925.02	92.79	0.03	1.53	0.27	11.86	2.72	62.35	96.04	97.74
Total	996.88	100.00	0.99	1.61	9.87	16.00				
0.50	25.02	2.51	23.22	8.42	5.81	2.11	56.87	13.17	56.87	13.17

Cinética de flotación prueba 6.

Prueba C6			Ensaye		Contenido		%Recuperación		%Recuperación Acumulada	
0.50	25.57	2.56	24.51	6.78	6.27	1.73	63.48	10.83	63.48	10.83
1.00	9.43	0.95	16.11	9.83	1.52	0.93	15.39	5.79	78.86	16.62
2.00	7.83	0.79	10.05	10.90	0.79	0.85	7.97	5.33	86.84	21.96
4.00	9.42	0.94	5.22	10.23	0.49	0.96	4.98	6.02	91.81	27.98
6.00	7.62	0.76	2.06	6.43	0.16	0.49	1.59	3.06	93.40	31.04
8.00	6.83	0.68	1.02	4.14	0.07	0.28	0.71	1.77	94.11	32.80
10.00	5.45	0.55	0.69	3.44	0.04	0.19	0.38	1.17	94.49	33.98
Cola	925.13	92.77	0.09	1.21	0.82	11.16	2.34	64.70	96.83	98.68
Total	997.28	100.00	0.99	1.61	9.87	16.01				
0.50	25.57	2.56	24.51	6.78	6.27	1.73	63.48	10.83	63.48	10.83

Cinética de flotación prueba 7.

Prueba C7			Ensaye		Contenido		%Recuperación		%Recuperación Acumulada	
0.50	19.22	1.93	24.71	6.31	4.75	1.21	48.05	7.57	48.05	7.57
1.00	9.11	0.91	20.80	6.72	1.89	0.61	19.17	3.82	67.22	11.39
2.00	8.65	0.87	13.73	7.68	1.19	0.66	12.02	4.15	79.24	15.54
4.00	8.17	0.82	6.54	7.74	0.53	0.63	5.40	3.95	84.64	19.48
6.00	6.28	0.63	2.01	4.79	0.13	0.30	1.28	1.88	85.92	21.36
8.00	7.18	0.72	1.08	3.60	0.08	0.26	0.79	1.61	86.71	22.97
10.00	8.91	0.89	0.68	2.89	0.06	0.26	0.61	1.61	87.32	24.58
Cola	930.83	93.24	0.09	1.25	0.82	11.64	8.29	72.67	95.61	97.25
Total	998.35	100.00	0.99	1.61	9.88	16.02				
0.50	19.22	1.93	24.71	6.31	4.75	1.21	48.05	7.57	48.05	7.57

Cinética de flotación prueba 8.

Prueba C8			Ensaye		Contenido		%Recuperación		%Recuperación Acumulada	
0.50	20.81	2.08	22.56	6.93	4.69	1.44	47.51	9.00	47.51	9.00
1.00	9.23	0.92	16.26	8.16	1.50	0.75	15.19	4.70	62.70	13.70
2.00	11.40	1.14	14.54	8.00	1.66	0.91	16.78	5.70	79.48	19.40
4.00	9.82	0.98	7.43	7.86	0.73	0.77	7.39	4.82	86.86	24.22
6.00	6.31	0.63	2.13	6.85	0.13	0.43	1.36	2.70	88.22	26.91
8.00	6.24	0.63	1.12	4.91	0.07	0.31	0.71	1.91	88.93	28.82
10.00	6.43	0.64	0.61	3.29	0.04	0.21	0.40	1.32	89.33	30.14
Cola	927.85	92.96	0.06	0.99	0.56	9.18	5.63	57.28	94.97	87.43

Total	998.09	100.00	0.99	1.61	9.88	16.02				
0.50	20.81	2.08	22.56	6.93	4.69	1.44	47.51	9.00	47.51	9.00

Cinética de flotación prueba 9.

Prueba C9			Ensaye		Contenido		%Recuperación		%Recuperación Acumulada	
0.50	19.02	1.91	26.73	3.93	5.08	0.75	51.50	4.68	51.50	4.68
1.00	8.92	0.89	16.69	5.49	1.49	0.49	15.08	3.06	66.58	7.73
2.00	8.65	0.87	11.53	6.61	1.00	0.57	10.10	3.57	76.69	11.31
4.00	10.19	1.02	6.22	5.86	0.63	0.60	6.42	3.73	83.11	15.04
6.00	8.32	0.83	2.85	4.92	0.24	0.41	2.40	2.56	85.51	17.59
8.00	7.17	0.72	1.61	4.10	0.12	0.29	1.17	1.83	86.68	19.43
10.00	6.90	0.69	1.11	3.46	0.08	0.24	0.78	1.49	87.46	20.92
Cola	927.96	93.06	0.09	1.23	0.81	11.41	8.18	71.32	95.64	92.24
Total	997.13	100.00	0.99	1.61	9.87	16.00				
0.50	19.02	1.91	26.73	3.93	5.08	0.75	51.50	4.68	51.50	4.68

Cinética de flotación prueba 10.

Prueba C10			Ensaye		Contenido		%Recuperación		%Recuperación Acumulada	
0.50	21.47	2.15	19.65	7.42	4.22	1.59	42.76	9.96	42.76	9.96
1.00	8.84	0.89	18.97	7.57	1.68	0.67	17.00	4.18	59.75	14.15
2.00	10.74	1.08	15.52	7.72	1.67	0.83	16.89	5.18	76.64	19.33
4.00	10.07	1.01	6.99	7.67	0.70	0.77	7.13	4.83	83.78	24.16
6.00	6.88	0.69	2.53	6.72	0.17	0.46	1.77	2.89	85.55	27.05
8.00	6.79	0.68	1.26	4.41	0.09	0.30	0.87	1.87	86.41	28.92
10.00	6.83	0.69	0.66	3.19	0.05	0.22	0.46	1.36	86.87	30.28
Cola	925.06	92.81	0.05	1.03	0.47	9.52	4.78	59.51	91.65	89.78
Total	996.68	100.00	0.99	1.61	9.87	16.00				
0.50	21.47	2.15	19.65	7.42	4.22	1.59	42.76	9.96	42.76	9.96

Cinética de flotación prueba 11.

Prueba C11			Ensaye		Contenido		%Recuperación		%Recuperación Acumulada	
0.50	21.16	2.12	22.47	6.32	4.75	1.34	48.10	8.34	48.10	8.34
1.00	9.37	0.94	18.36	7.28	1.72	0.68	17.40	4.25	65.50	12.59
2.00	7.34	0.74	14.53	7.46	1.07	0.55	10.79	3.42	76.29	16.01
4.00	8.31	0.83	6.61	7.00	0.55	0.58	5.56	3.63	81.84	19.64

6.00	6.83	0.68	2.53	5.62	0.17	0.38	1.75	2.39	83.59	22.03
8.00	6.14	0.61	1.26	3.82	0.08	0.23	0.78	1.46	84.37	23.50
10.00	6.13	0.61	0.93	3.28	0.06	0.20	0.57	1.25	84.95	24.75
Cola	933.29	93.46	0.07	1.18	0.62	11.03	6.23	68.83	91.18	93.58
Total	998.57	100.00	0.99	1.61	9.89	16.03				
0.50	21.16	2.12	22.47	6.32	4.75	1.34	48.10	8.34	48.10	8.34

Cinética de flotación prueba 12.

Prueba C12			Ensaye		Contenido		%Recuperación		%Recuperación Acumulada	
0.50	19.59	1.96	21.08	6.16	4.13	1.21	41.80	7.54	41.80	7.54
1.00	8.66	0.87	20.65	6.42	1.79	0.56	18.10	3.47	59.91	11.01
2.00	8.20	0.82	18.06	6.71	1.48	0.55	14.99	3.44	74.90	14.45
4.00	8.80	0.88	10.84	7.36	0.95	0.65	9.66	4.04	84.56	18.49
6.00	6.52	0.65	4.87	6.27	0.32	0.41	3.22	2.55	87.77	21.05
8.00	5.92	0.59	2.01	4.51	0.12	0.27	1.20	1.67	88.98	22.71
10.00	6.92	0.69	1.07	3.06	0.07	0.21	0.75	1.32	89.72	24.03
Cola	933.19	93.52	0.09	1.21	0.82	11.27	8.31	70.39	98.04	94.42
Total	997.80	100.00	0.99	1.61	9.88	16.01				
0.50	19.59	1.96	21.08	6.16	4.13	1.21	41.80	7.54	41.80	7.54

Anexo 4. Cinética de flotación con agua representativa de agua con concentración de iones Cu²⁺ activadora de mineral de zinc.

Cinética de flotación prueba 1.

Prueba C1			Ensaye		Contenido		%Recuperación		%Recuperación Acumulada	
Tiempo (min)	Peso (g)	%Peso	%Cu	%Zn	Cu (g)	Zn (g)	%Cu	%Zn	%Cu	%Zn
0.50	19.54	1.96	22.71	8.48	4.44	1.66	44.95	10.35	44.95	10.35
1.00	6.78	0.68	14.95	14.73	1.01	1.00	10.27	6.24	55.21	16.59
2.00	8.32	0.83	10.77	17.03	0.90	1.42	9.08	8.85	64.29	25.44
4.00	6.95	0.70	7.18	18.56	0.50	1.29	5.06	8.06	69.35	33.50
6.00	3.36	0.34	4.33	15.60	0.15	0.52	1.47	3.27	70.82	36.78
8.00	3.11	0.31	3.67	13.36	0.11	0.42	1.16	2.60	71.98	39.37
10.00	4.45	0.45	2.77	10.22	0.12	0.45	1.25	2.84	73.23	42.21
Cola	944.73	94.73	0.29	1.02	2.73	9.66	27.65	60.38	100.88	102.60
Total	997.24	100.00	0.99	1.61	9.87	16.01				

Cinética de flotación prueba 2.

Prueba C2			Ensaye		Contenido		%Recuperación		%Recuperación Acumulada	
0.50	21.85	2.19	17.30	12.67	3.78	2.77	38.27	17.29	38.27	17.29
1.00	6.89	0.69	15.76	15.61	1.09	1.08	10.99	6.72	49.26	24.00
2.00	8.07	0.81	15.16	17.38	1.22	1.40	12.39	8.76	61.65	32.76
4.00	8.57	0.86	10.48	17.06	0.90	1.46	9.09	9.13	70.74	41.89
6.00	3.46	0.35	6.02	13.87	0.21	0.48	2.11	3.00	72.85	44.89
8.00	2.98	0.30	3.89	12.23	0.12	0.36	1.17	2.28	74.02	47.16
10.00	3.07	0.31	3.68	12.47	0.11	0.38	1.14	2.39	75.16	49.55
Cola	942.88	94.50	0.17	0.66	1.59	6.20	16.13	38.74	91.29	88.30
Total	997.77	100.00	0.99	1.61	9.88	16.01				
0.50	21.85	2.19	17.30	12.67	3.78	2.77	38.27	17.29	38.27	17.29

Cinética de flotación prueba 3.

Prueba C3			Ensaye		Contenido		%Recuperación		%Recuperación Acumulada	
0.50	19.78	1.98	19.48	13.31	3.85	2.63	38.99	16.43	38.99	16.43
1.00	8.71	0.87	16.56	17.79	1.44	1.55	14.60	9.67	53.59	26.10
2.00	9.75	0.98	13.76	20.41	1.34	1.99	13.58	12.42	67.16	38.53
4.00	9.17	0.92	8.48	20.99	0.78	1.92	7.87	12.01	75.03	50.54
6.00	4.07	0.41	3.70	14.81	0.15	0.60	1.52	3.76	76.56	54.30
8.00	2.78	0.28	3.83	12.26	0.11	0.34	1.08	2.13	77.64	56.43
10.00	3.95	0.40	2.87	7.03	0.11	0.28	1.15	1.73	78.78	58.16
Cola	939.98	94.17	0.15	0.48	1.40	4.49	14.17	28.05	92.96	86.21
Total	998.19	100.00	0.99	1.61	9.88	16.02				
0.50	19.78	1.98	19.48	13.31	3.85	2.63	38.99	16.43	38.99	16.43

Cinética de flotación prueba 4.

Prueba C4			Ensaye		Contenido		%Recuperación		%Recuperación Acumulada	
0.50	21.09	2.11	19.37	15.94	4.09	3.36	41.38	21.00	41.38	21.00
1.00	8.92	0.89	17.01	19.23	1.52	1.72	15.37	10.72	56.75	31.72
2.00	10.89	1.09	13.42	20.98	1.46	2.28	14.80	14.27	71.55	46.00
4.00	8.17	0.82	7.33	17.24	0.60	1.41	6.07	8.80	77.62	54.80
6.00	4.14	0.42	4.09	10.91	0.17	0.45	1.71	2.82	79.33	57.62
8.00	2.95	0.30	3.16	8.18	0.09	0.24	0.94	1.51	80.28	59.13
10.00	2.85	0.29	2.60	6.92	0.07	0.20	0.75	1.23	81.03	60.36
Cola	938.21	94.08	0.14	0.40	1.27	3.79	12.83	23.68	93.86	84.04
Total	997.22	100.00	0.99	1.61	9.87	16.01				

0.50	21.09	2.11	19.37	15.94	4.09	3.36	41.38	21.00	41.38	21.00
------	-------	------	-------	-------	------	------	-------	-------	-------	-------

Cinética de flotación prueba 5.

Prueba C5			Ensaye		Contenido		%Recuperación		%Recuperación Acumulada	
0.50	19.80	1.99	21.91	10.77	4.34	2.13	43.93	13.32	43.93	13.32
1.00	8.81	0.88	16.72	16.20	1.47	1.43	14.92	8.92	58.85	22.24
2.00	9.32	0.93	13.11	18.94	1.22	1.77	12.37	11.03	71.22	33.26
4.00	7.14	0.72	8.06	18.91	0.58	1.35	5.83	8.43	77.05	41.70
6.00	3.68	0.37	4.52	17.15	0.17	0.63	1.68	3.94	78.74	45.64
8.00	3.91	0.39	2.96	14.73	0.12	0.58	1.17	3.60	79.91	49.24
10.00	3.64	0.36	1.70	11.73	0.06	0.43	0.63	2.67	80.53	51.90
Cola	941.14	94.36	0.13	0.64	1.25	6.06	12.68	37.86	93.21	89.76
Total	997.44	100.00	0.99	1.61	9.87	16.01				
0.50	19.80	1.99	21.91	10.77	4.34	2.13	43.93	13.32	43.93	13.32

Cinética de flotación prueba 6.

Prueba C6			Ensaye		Contenido		%Recuperación		%Recuperación Acumulada	
0.50	21.36	2.14	20.63	14.68	4.41	3.14	44.60	19.58	44.60	19.58
1.00	8.28	0.83	15.98	18.70	1.32	1.55	13.39	9.67	58.00	29.24
2.00	9.49	0.95	13.75	20.80	1.30	1.97	13.21	12.32	71.21	41.57
4.00	8.23	0.82	7.78	19.67	0.64	1.62	6.48	10.11	77.68	51.68
6.00	3.66	0.37	4.17	14.02	0.15	0.51	1.54	3.20	79.23	54.88
8.00	2.47	0.25	1.91	6.24	0.05	0.15	0.48	0.96	79.70	55.84
10.00	4.38	0.44	1.97	6.22	0.09	0.27	0.87	1.70	80.58	57.54
Cola	940.04	94.20	0.14	0.50	1.32	4.69	13.32	29.29	93.90	86.83
Total	997.91	100.00	0.99	1.61	9.88	16.02				
0.50	21.36	2.14	20.63	14.68	4.41	3.14	44.60	19.58	44.60	19.58

Cinética de flotación prueba 7.

Prueba C7			Ensaye		Contenido		%Recuperación		%Recuperación Acumulada	
0.50	21.31	2.13	21.34	11.62	4.55	2.48	45.98	15.44	45.98	15.44
1.00	8.33	0.83	18.44	13.84	1.54	1.15	15.53	7.19	61.52	22.64
2.00	9.59	0.96	13.31	14.96	1.28	1.43	12.91	8.95	74.42	31.58
4.00	9.05	0.91	5.84	16.09	0.53	1.46	5.34	9.08	79.77	40.67
6.00	5.31	0.53	2.60	13.44	0.14	0.71	1.40	4.45	81.17	45.12

8.00	4.49	0.45	1.31	10.22	0.06	0.46	0.59	2.86	81.76	47.98
10.00	4.90	0.49	0.70	5.24	0.03	0.26	0.35	1.60	82.10	49.58
Cola	935.94	93.70	0.04	0.59	0.33	5.49	3.31	34.27	85.42	83.85
Total	998.92	100.00	0.99	1.61	9.89	16.03				
0.50	21.31	2.13	21.34	11.62	4.55	2.48	45.98	15.44	45.98	15.44

Cinética de flotación prueba 8.

Prueba C8			Ensaye		Contenido		%Recuperación		%Recuperación Acumulada	
0.50	21.06	2.11	24.62	12.75	5.18	2.69	52.48	16.77	52.48	16.77
1.00	8.87	0.89	17.31	16.65	1.54	1.48	15.54	9.22	68.03	25.99
2.00	8.70	0.87	10.54	16.68	0.92	1.45	9.28	9.06	77.31	35.05
4.00	8.88	0.89	5.42	15.79	0.48	1.40	4.87	8.75	82.18	43.80
6.00	5.24	0.53	2.73	11.14	0.14	0.58	1.45	3.64	83.63	47.45
8.00	4.92	0.49	1.88	8.55	0.09	0.42	0.94	2.63	84.56	50.07
10.00	4.21	0.42	1.39	6.70	0.06	0.28	0.59	1.76	85.16	51.83
Cola	936.01	93.80	0.07	0.56	0.64	5.22	6.44	32.61	91.60	84.44
Total	997.89	100.00	0.99	1.61	9.88	16.02				
0.50	21.06	2.11	24.62	12.75	5.18	2.69	52.48	16.77	52.48	16.77

Cinética de flotación prueba 9.

Prueba C9			Ensaye		Contenido		%Recuperación		%Recuperación Acumulada	
0.50	19.08	1.91	23.36	11.74	4.46	2.24	45.13	13.99	45.13	13.99
1.00	8.67	0.87	18.63	14.75	1.62	1.28	16.35	7.99	61.48	21.98
2.00	7.67	0.77	15.00	15.05	1.15	1.15	11.65	7.21	73.13	29.19
4.00	7.38	0.74	8.36	14.51	0.62	1.07	6.25	6.69	79.38	35.87
6.00	5.62	0.56	3.91	10.87	0.22	0.61	2.22	3.82	81.60	39.69
8.00	4.66	0.47	2.65	8.31	0.12	0.39	1.25	2.42	82.86	42.11
10.00	4.27	0.43	1.48	5.10	0.06	0.22	0.64	1.36	83.50	43.47
Cola	940.29	94.25	0.16	0.82	1.50	7.72	15.23	48.21	98.73	91.68
Total	997.64	100.00	0.99	1.61	9.88	16.01				
0.50	19.08	1.91	23.36	11.74	4.46	2.24	45.13	13.99	45.13	13.99

Cinética de flotación prueba 10.

Prueba C10			Ensaye		Contenido		%Recuperación		%Recuperación Acumulada	
0.50	19.32	1.94	21.95	10.59	4.24	2.05	42.92	12.77	42.92	12.77
1.00	7.96	0.80	13.44	8.79	1.07	0.70	10.83	4.37	53.75	17.14

2.00	8.47	0.85	13.21	11.39	1.12	0.96	11.32	6.02	65.07	23.16
4.00	7.32	0.73	8.82	10.86	0.65	0.79	6.53	4.96	71.60	28.13
6.00	4.28	0.43	5.44	8.63	0.23	0.37	2.36	2.31	73.96	30.43
8.00	4.10	0.41	1.27	2.80	0.05	0.11	0.52	0.72	74.48	31.15
10.00	4.55	0.46	0.57	1.48	0.03	0.07	0.26	0.42	74.75	31.57
Cola	942.07	94.39	0.60	1.68	5.64	15.78	57.11	98.51	131.86	130.08
Total	998.07	100.00	0.99	1.61	9.88	16.02				
0.50	19.32	1.94	21.95	10.59	4.24	2.05	42.92	12.77	42.92	12.77

Cinética de flotación prueba 11.

Prueba C11			Ensaye		Contenido		%Recuperación		%Recuperación Acumulada	
0.50	19.76	1.98	17.32	12.85	3.42	2.54	34.64	15.85	34.64	15.85
1.00	8.34	0.84	16.05	14.03	1.34	1.17	13.55	7.31	48.19	23.16
2.00	9.47	0.95	12.64	13.78	1.20	1.30	12.12	8.15	60.30	31.30
4.00	7.60	0.76	8.15	11.47	0.62	0.87	6.27	5.44	66.57	36.75
6.00	4.01	0.40	4.19	9.78	0.17	0.39	1.70	2.45	68.27	39.19
8.00	3.28	0.33	2.62	7.13	0.09	0.23	0.87	1.46	69.14	40.66
10.00	4.13	0.41	1.45	3.96	0.06	0.16	0.61	1.02	69.75	41.68
Cola	941.40	94.33	0.30	0.91	2.78	8.52	28.11	53.19	97.86	94.87
Total	997.99	100.00	0.99	1.61	9.88	16.02				
0.50	19.76	1.98	17.32	12.85	3.42	2.54	34.64	15.85	34.64	15.85

Cinética de flotación prueba 12.

Prueba C12			Ensaye		Contenido		%Recuperación		%Recuperación Acumulada	
0.50	18.98	1.90	15.87	11.87	3.01	2.25	30.49	14.06	30.49	14.06
1.00	8.48	0.85	15.60	13.13	1.32	1.11	13.39	6.95	43.87	21.02
2.00	9.17	0.92	13.45	13.40	1.23	1.23	12.48	7.67	56.36	28.69
4.00	7.02	0.70	8.91	11.65	0.63	0.82	6.33	5.11	62.69	33.79
6.00	3.24	0.32	4.84	9.03	0.16	0.29	1.59	1.83	64.27	35.62
8.00	4.01	0.40	3.44	6.45	0.14	0.26	1.40	1.61	65.67	37.23
10.00	2.95	0.30	2.21	6.82	0.07	0.20	0.66	1.26	66.33	38.49
Cola	944.18	94.60	0.26	0.80	2.45	7.54	24.85	47.10	91.18	85.58
Total	998.03	100.00	0.99	1.61	9.88	16.02				
0.50	18.98	1.90	15.87	11.87	3.01	2.25	30.49	14.06	30.49	14.06