



EL SABER DE MIS HIJOS
HARÁ MI GRANDEZA

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISION DE INGENIERIA

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA Y
METALURGIA**

FLOTACION SELECTIVA DE GALENA, ESFALERITA Y PIRITA CON INDICIOS DE ORO Y PLATA DE MINERAL DE MINA BACIS

Prácticas Profesionales

Que para obtener el título de:

INGENIERO METALURGICO

Presenta

Jesús Alejandro Guardado Acosta

Hermosillo, Sonora

mayo 2023

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

DEDICATORIA

A Mi Madre María De La Luz Acosta Graciano y a Mi Padre Jesús Guardado Zapata por apoyarme en mi formación desde el inicio de mi vida formándome como estudiante y más importante como persona, por su paciencia, consejos que siempre estarán conmigo y por su amor incondicional.

A mis hermanos: Gracias David, Gracias Jaira que con su apoyo, bromas, risas y anécdotas influyeron en mi carácter y en mi forma de ser.

A mis Abuelos Papa Emi, Mama Lily y Abuelita Concha. Por el apoyo que me dan estando lejos de mí y la felicidad que me causan cuando los veo.

A los profesores de la UNIVERSIDAD DE SONORA, que me dieron todo su conocimiento para poder lograr mis objetivos.

Al Doctor José Refugio Parga Torres por apoyarme y creer en mí, al igual de darme un lugar donde vivir, comida y todo su conocimiento.

AGRADECIMIENTOS

A mis grandes amigos David, Yayo, Ximena Sotomayor, Andrea Hernández, Ricardo Alegría, Juan Damián, Ángel Moreno, Edgardo Bueras, Luis Daniel Cruz Goldbaum, Luis Ángel Duarte, José Luzanía, Julio Cesar Lara Valenzuela, Saul Adrián Cuevas Mendoza, Ana Jazmín Payan Quintero, Peñasquito, Esteban Parra, Suluay López, Vidal Chilena, Rubicón, Erika Pelona quienes me apoyaron en mi etapa universitaria ayudándome a estudiar, alegrando mi día, y compartiendo experiencias dentro y fuera de la universidad.

Es algo que no se puede dejar pasar por alto, el agradecimiento a todos los profesores de la UNIVERSIDAD DE SONORA que se esforzaron para ayudarme cada vez que les solicite apoyo.

Al Maestro Fabian Coronado que nunca me negó ningún tipo de ayuda y me dio consejos desde el primer día que lo conocí.

Al Doctor Jesús Leobardo Valenzuela que me dio la oportunidad de abrir mis horizontes e irme a Saltillo con el Doctor Parga para poder completar mis estudios.

Al gran Doctor José Parga, a su esposa y al Instituto Tecnológico de Saltillo por el apoyo que me dieron personal y profesionalmente para poder realizar la investigación de este proyecto.

INDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I	1
INTRODUCCION	2
CAPITULO II	4
ANTECEDENTES	5
2.1 Concentración De Minerales	5
2.2 Fundamentos de Flotación.....	6
2.2.1 Termodinámica de la Flotación	7
2.2.2 Preparación de la Superficie Mineral.	11
2.3 Microscopio Electrónico de Barrido.....	16
2.4 Importancia del Plomo	17
2.5 Importancia del Zinc.....	18
2.6 Importancia del Oro.....	20
2.7 Importancia de la Plata	23
CAPITULO III	26
METODOLOGIA	27
CAPITULO IV.....	39
RESULTADOS Y DATOS OBTENIDOS.....	40

4.1 Resultados y datos obtenidos en la caracterización óptica.....	40
4.2 Resultados y datos obtenidos del mapeo con SEM.....	42
4.2.1 Mapeo de partícula de galena.....	42
4.2.2 Mapeo de partícula de esfalerita.....	44
4.2.3 Mapeo de partícula de pirita.....	45
4.2.4 Mapeo de partícula de cuarzo y cola.....	46
4.3. Análisis de las especies con EDS en SEM.....	47
4.3.1 Análisis de partícula de galena con EDS en SEM.....	47
4.3.2 Análisis de partícula de esfalerita con EDS en SEM.....	48
4.3.3 Análisis de partícula de pirita con EDS en SEM.....	49
4.3.4 Análisis de partícula de cuarzo con EDS en SEM.....	50
4.4 Resultados y datos obtenidos en análisis de mallas.....	51
4.5 Resultados y datos obtenidos en pruebas de flotación.....	52
4.6 Resultados de SEM de concentrados, cabeza y cola.....	63
4.6.1 Análisis de concentrado de plomo con EDS en SEM.....	63
4.6.2 Análisis de concentrado de zinc con EDS en SEM.....	64
4.6.3 Análisis de concentrado de fierro con EDS en SEM.....	65

4.6.4 Análisis de la cabeza de flotación con EDS en SEM.	66
4.6.5 Análisis de la cola de flotación con EDS en SEM.	67
CAPITULO V	68
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	69
RETRO ALIMENTACIÓN.....	70
BIBLIOGRAFÍA	71
ANEXO A. REACTIVOS Y PRUEBAS DE FLOTACION.....	74
ANEXO B. ANALISIS FRX, DRX	98

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Celda de flotación	7
Figura 2.- Representación esquemática del equilibrio de contacto entre la burbuja de aire y un sólido inmerso en un líquido.....	8
Figura 3.- Diagrama de la doble capa eléctrica.....	11
Figura 4.- Clasificación de los colectores más importantes.	13
Figura 5.- Participación en la producción mineral mundial de plomo por países en 2021.....	18
Figura 6.- Participación porcentual en la producción minera de plomo en México por estado en 2021.	18
Figura 7.- Ranking de los principales países productores de zinc a nivel mundial en 2021.....	19
Figura 9.- Metodología global.....	29
Figura 10.- Muestras analizadas en sem	30
Figura 11.- Microscopio electrónico de barrido	30
Figura 12.- Metodología de proceso de flotación	31
Figura 13.- pH-metro utilizado.....	32
Figura 14.- Celda de flotación Denver 12.....	32
Figura 15.- Diagrama del proceso de sección de flotación de plomo.....	34

Figura 16.- Diagrama de flujo sección de flotación de zinc	35
Figura 17.- Diagrama de flujo sección de flotación de fierro	36
Figura 18.- Galena.....	40
Figura 19.- Esfalerita.....	41
Figura 20.- Pirita.....	41
Figura 22.- Resto del mineral.....	42
Figura 24.- Mapeo de mineral de zinc.....	44
Figura 25.- Mapeo de mineral de hierro	45
Figura 26.- Mapeo de mineral de cuarzo	46
Figura 27.- Mapeo de cola	46
Figura 28.- Resultado de análisis EDS de cristal de galena	47
Figura 29.- Resultado de análisis EDS de cristal de esfalerita.....	48
Figura 30.- Resultado de análisis EDS de cristal de pirita	49
Figura 31.- Resultado de análisis EDS de cristal de cuarzo	50
Figura 32.- Análisis EDS del concentrado de plomo.....	63
Figura 33.- Análisis EDS del concentrado de zinc	64
Figura 34.- Análisis EDS del concentrado de hierro.....	65

Figura 35.- Análisis EDS de cabeza de flotación 66

Figura 36.- Análisis EDS de la cola de flotación..... 67

INDICE DE TABLAS

Tabla I. Formulas químicas de algunos colectores comunes.....	13
Tabla II. Producción de oro de los 10 estados con mayor producción	22
Tabla III. Mayores productores de oro en el año 2021	22
Tabla IV. Producción de plata de los 10 estados con mayor producción	24
Tabla V. Mayores productores de plata en el año 2021 de una producción anual de 822 millones de onzas	25
Tabla VI. Reactivos utilizados y método de alimentación con etapas de uso. ...	33
Tabla VII. Tiempo y reactivos en sección de flotación de plomo.....	34
Tabla VIII. Tiempo y reactivos en sección de flotación de zinc	35
Tabla IX. Tiempo y reactivos en sección de flotación de fierro	36
Tabla X. Parámetros utilizados en las siete pruebas de flotación iniciales	37
Tabla XI. Parámetros utilizados en la flotación de fierro	38
Tabla XII. Análisis de mallas	51
Tabla XIII. Porcentaje de recuperación en el análisis de mallas	51
Tabla XIV. Etapas de flotación con los tiempos y cantidades de reactivos	52
Tabla XV. Balance metalúrgico flotación analítica	53
Tabla XVI. Porcentaje de recuperación de la flotación analítica	54

Tabla XVII. Etapas de flotación bulk con los tiempos y cantidades de reactivos utilizados.....	55
Tabla XVIII. Balance metalúrgico flotación bulk	56
Tabla XIX. Porcentaje de recuperación en flotación bulk.....	56
Tabla XX. Etapas de flotación en prueba de 3 ciclos con los tiempos y cantidades de reactivos utilizados.....	57
Tabla XXI. Balance metalúrgico de la prueba de 3 ciclos	58
Tabla XXII. Porcentaje de recuperación en prueba de 3 ciclos.....	58
Tabla XXIII. Etapas de flotación en prueba de 5 ciclos con los tiempos y cantidades de reactivos utilizados.....	59
Tabla XXIV. Balance metalúrgico de prueba de 5 ciclos.....	60
Tabla XXV. Porcentaje de recuperación prueba de 5 ciclos	60
Tabla XXVI. Etapas de flotación en prueba de 6 ciclos con los tiempos y cantidades de reactivos usados.....	61
Tabla XXVII. Balance metalúrgico de prueba de 6 ciclos.....	62
Tabla XXVIII. Porcentaje de recuperación en prueba de 6 ciclos	62

RESUMEN

Este estudio tuvo el fin de realizar un análisis y evaluación de un proceso de flotación selectiva con mineral proveniente de los corazones de barrenos. El enfoque es realizar el análisis y evaluación de un proceso de flotación a escala laboratorio que posteriormente será aplicada en un nivel industrial en la minera Bacis.

Para la realización de este proyecto se utilizaron reactivos proporcionados por el grupo minero.

Se hicieron más de 10 flotaciones para obtener resultados que indicaran una recuperación de mineral efectiva. Cada flotación que se realizó fue analizada por un laboratorio metalúrgico para poder ir cambiando los parámetros que afectan el proceso de flotación, cada cambio realizado fue registrado, de esta forma se puede observar cómo estos cambios afectaron en la recuperación de los metales.

Los resultados obtenidos después de las pruebas fueron analizados y expresados en formas de tablas realizando los respectivos balances metalúrgicos para obtener los porcentajes de recuperación de cada metal.

Al realizar pruebas cíclicas, se obtuvieron los mejores resultados de recuperación metálica, obteniendo resultados de recuperación de oro de un 91.24%, 85.71% de plata, 76.98% de plomo y 65.89% de zinc. Mencionando esto los resultados no son favorables por la calidad del mineral, haciendo este proceso no factible.

CAPITULO I

INTRODUCCION

En la minera Bacis que está ubicada en el municipio de Otáez, Durango se realizan 3 etapas de flotación, una sección de flotación de plomo, una sección de flotación de zinc y una sección de flotación de fierro. El grupo minero Bacis proporciona mineral en forma de barrenos los cuales tienen un contenido bajo de mineral, este mineral tiene que ser, molido, homogenizado, caracterizado para poder definir que especies componen el mineral y seleccionar los reactivos de flotación adecuados en cada etapa de flotación.

El mineral que fue recibido fue caracterizado utilizando diferentes técnicas, primero se realizó una caracterización visual utilizando el microscopio óptico para ver las especies mineralógicas identificándolas y marcarlas para su posterior análisis con el microscopio electrónico de barrido y realizar un análisis con el EDS.

El grupo minero Bacis tiene como misión incrementar su producción de Ag y Au de una manera rentable mejorando sus estándares de trabajo, es por esto que se decidió hacer este proyecto de investigación, para poder evaluar la posibilidad de recuperar metales de valor comercial de una fuente de baja ley y de un tamaño fino.

Objetivo General

El objetivo principal de este estudio es determinar las condiciones óptimas de trabajo para una flotación selectiva de los barrenos proporcionados por el grupo minera Bacis con el fin de recuperar los principales minerales que contengan Oro, Plata, Zinc, Plomo y Hierro

Objetivos Particulares

1. Estudiar el efecto de diferentes reactivos en el mineral ensayado.
2. Tener una flotación selectiva con resultados altos de recuperación.
3. Determinar las cantidades adecuadas de los reactivos de flotación utilizados.
4. Recuperar metales preciosos que se encuentran en bajas concentraciones en los diferentes minerales de galena, esfalerita y pirita.
5. Caracterizar a detalle el mineral sulfurado proporcionado por el grupo minero Bacis antes de ser tratado al igual de caracterizar el producto obtenido.
6. Realizar estudios de flotaciones cíclicas

CAPITULO II

ANTECEDENTES

La metalurgia comienza cuando el ser humano descubre los primeros metales, los metales se usaron por civilizaciones de antaño, El primer metal utilizado por el ser humano fue el cobre siendo utilizado alrededor de 8000 A.C en una región cerca de Turquía e Irán, desde este momento se inicia la historia de la metalurgia, con el paso del tiempo otras civilizaciones humanas empezaron a extraer y utilizar los metales para la fabricación de herramientas, fabricación de las primeras divisas y la fabricación de infraestructuras. Ejemplos comunes siendo la civilización romana, egipcia, griega y persa. (Murillo-Barroso, 2020)

Con el paso del tiempo el ser humano aprendió a reconocer minerales, en que zonas se presentan, y como explotarlos.

Todo cambia al finalizar la edad media, en el periodo entre el siglo XVIII y XIX se realizan grandes descubrimientos e invenciones que influyeron en la metalurgia, el descubrimiento de metales como el níquel, zinc, cobalto, entre otros; Al mismo tiempo se empiezan a formar las primeras tablas periódicas y la invención del espectroscopio.

Esto fomenta la nueva era de la metalurgia, generando nuevos conocimientos para la explotación de los metales recién descubiertos, procesos nuevos como la hidrometalurgia, electrometalurgia, nuevos métodos de concentración y mejoras a los procesos pirometalúrgicos.

2.1 Concentración De Minerales

La concentración de minerales se define como la operación en la cual se eleva la concentración porcentual de un mineral deseado, esto se hace mediante el uso de equipos de separación solido-solido lográndose una separación de dos o más especies mineralógicas y así obtener un producto enriquecido del mineral de interés.

Los métodos de concentración se dividen en dos métodos, los cuales son los siguientes:

- Métodos que emplean propiedades físicas, por ejemplo:
 - Concentración Gravimétrica
 - Concentración Magnética
 - Concentración Eléctrica
- Métodos que usan propiedades fisicoquímicas de superficie, por ejemplo:
 - Flotación Espumante
 - Flotación Selectiva
 - Coagulación Selectiva

La importancia de la concentración de minerales es muy grande, ya que es una etapa intermedia, generalmente el mineral concentrado se pasa a otra fase metalúrgica para obtener un producto en forma de lingote o en alguna forma específica. En algunos casos la concentración de mineral es la parte final en el proceso de una mina. (Bustamante et al., 2007)

2.2 Fundamentos de Flotación

La flotación es un método fisicoquímico de concentración de minerales, esto se realiza al tener mineral en suspensión acuosa y se basa en la hidrofobia de ciertos minerales la cual se define como repeler el agua, al igual de la hidrofilia de estos la cual es la atracción al agua, esto siendo asistido por la inyección de aire.

Algunos minerales presentan la cualidad de ser hidrofóbicos naturalmente, como son el talco, azufre, grafito y la molibdenita. Aunque estos minerales presentan esta propiedad la gran mayoría de ellos necesitan la aplicación de ciertos activos químicos que fomentan la formación de burbujas de aire al igual de reducir la tensión superficial de la superficie en la interfase sólido-agua.

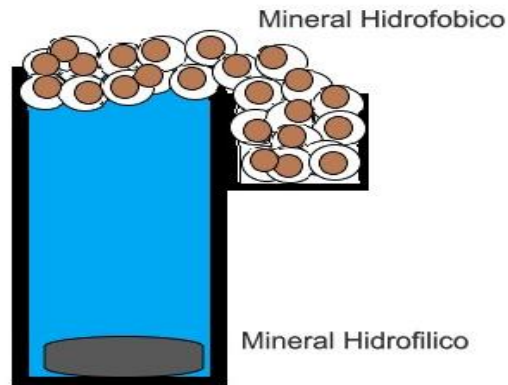


Figura 1.- Celda de flotación

En el caso de los minerales hidrofílicos, estos se empapan en el medio acuoso y establecen enlaces superficiales con los grupos iónicos del agua y estos se sedimentan en la parte inferior de la celda.

Por lo tanto, el proceso de flotación es un fenómeno que involucra las interfases liquido/gas, liquido/sólido y solido/gas. (Bustamante et al., 2007)

2.2.1 Termodinámica de la Flotación

Fenómenos superficiales

Uno de los aspectos más importantes de una flotación es la formación de burbujas de aire adecuadas. En la formación de la burbuja se puede tener una situación donde la burbuja de aire no desplace la fase acuosa en este caso el ángulo de contacto es de 0° y por otro lado cuando se desplaza toda la fase acuosa se obtiene un ángulo de contacto de 180° , estos valores se dan por la aplicación de la fórmula de Young:

$$0 = \gamma_{SV} - \gamma_{SL} - \gamma \cos\theta_c. \quad \text{Ec. (1)}$$

Estos valores tan extremos indican el grado de hidratación de la superficie o por lo contrario se tiene el carácter hidrofóbico de la superficie.

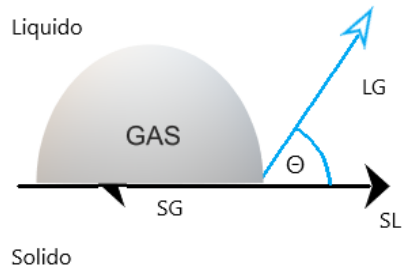


Figura 2.- Representación esquemática del equilibrio de contacto entre la burbuja de aire y un sólido inmerso en un líquido.

En el caso de la formación de la burbuja de agua se tiene un cambio en la energía libre de Gibbs ΔG , la cual se puede describir en términos del trabajo de adhesión W_A , y el trabajo de cohesión W_C , del agua.

$$\Delta G = W_A - W_C \quad \text{Ec. (2)}$$

Para que la adhesión sea realizada, el trabajo de adhesión del agua, W_A debe ser menos del trabajo de cohesión del agua W_C .

$$W_A < W_C \quad \text{Ec. (3)}$$

El trabajo de adhesión es definido como el trabajo requerido para remover el líquido de la superficie sólida dejando una capa de agua adsorbida en equilibrio con una fase saturada de gas. El trabajo de adhesión este compuesto por tres componentes:

W_I - Energía ionizante, proveniente de las fuerzas de coulomb de la superficie sólida.

W_H - Energía del enlace de hidrogeno, surge de las fuerzas de coordinación, la interacción dipolo del solvente con la superficie sólida.

W_D - Energía de dispersión, surge de la interacción del solvente con dipolos inducidos en la superficie sólida.

$$W_A = W_I + W_H + W_D \quad \text{Ec. (4)}$$

El trabajo de cohesión del agua es simplemente la energía necesaria para crear una nueva superficie en la interfase aire/agua, siendo $2\gamma_{LG}$ o 0.146 j/m^2 . (Weiss & Society of Mining Engineers of AIME.1985)

Adsorción

La adsorción es un concepto que se utiliza en los temas de la física haciendo referencia al proceso y resultado de adsorber. Este proceso se puede definir como la adhesión de átomos, iones o moléculas de un gas, líquido o sólido disuelto que pertenecen a un cuerpo diferente.

A través de la adsorción, un cuerpo logra capturar las moléculas de otro y mantenerlas en su propia superficie. De esta manera, la adsorción se diferencia de la absorción donde las moléculas penetran en su superficie.

Este fenómeno se puede llevar a cabo de distintas maneras, de acuerdo con el vínculo que establecen el adsorbato y el adsorbente. A continuación, se mencionan los tres tipos de adsorción que se reconocen, tomando en cuenta la atracción que existe entre los dos componentes recién mencionados como parámetro para determinar la clasificación:

- Adsorción física: Es donde las fuerzas o interacciones de Van der Waals, un concepto fisicoquímico que hace referencia a las fuerzas de atracción o repulsión que existen entre las moléculas, o entre diferentes porciones de una misma. Estas fuerzas son diferentes de las que ocurren por un enlace intramolecular o por la interacción electrostática de moléculas neutras con iones o varios iones entre sí. En este caso, la molécula

adsorbida no se fija a un punto en particular de la superficie, y por esta razón tiene libertad total para moverse en la interfase.

- Adsorción química: Tiene lugar cuando en los centros activos del adsorbente se produce la formación de enlaces fuertes por parte del adsorbato.
- Adsorción por intercambio: Así como ocurre en las proximidades de un electrodo con carga, este tipo de adsorción se da cuando, a causa de la atracción electrostática en los puntos cargados de la superficie, los iones de una sustancia se concentran en la misma

En la adsorción física la cual es la que ocurre en la flotación se aplican los isothermas de adsorción, en específico el isoterma de Langmuir.

Doble Capa Eléctrica

La definición de la doble capa eléctrica es un sistema en el que existe una separación de carga eléctrica en una interfaz, teniendo una capa de carga positiva y una capa de carga negativa.

Cuando se desarrolla la carga superficial, la superficie sólida adquiere un potencial con respecto a la solución. La carga es compensada por una carga igual en la fase acuosa. La carga en solución junto con la carga en superficie esta referida a la doble capa eléctrica.

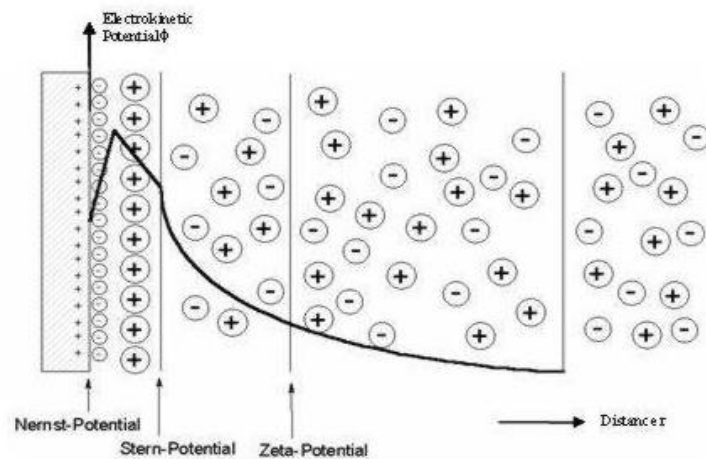


Figura 3.- Diagrama de la doble capa eléctrica (Zeta Meter, 1968).

Al hablar de la doble capa eléctrica se tiene que mencionar la potencial zeta, Como se menciona la doble capa mantiene una neutralidad de cargas en el sistema, pero cuando se tiene un exceso de contraiones en la superficie del mineral esta genera una diferencia de potencial eléctrico, aquí se asume un potencial de referencia cero y la diferencia de energía potencial entre la superficie y el seno de la solución se denomina potencial superficial.

Entre la capa difusa y la capa Stern se ubica la potencial zeta, el cual es la magnitud de la repulsión o atracción electrostática entre las partículas y es un parámetro fundamental que afecta la estabilidad. (Bustamante et al., 2007)

2.2.2 Preparación de la Superficie Mineral.

En la preparación de la superficie mineral, se utilizan reactivos químicos que son sustancias orgánicas e inorgánicas que promueven, intensifican y modifican las condiciones óptimas del mecanismo fisicoquímico del proceso de flotación por espuma de minerales, sean estos polares o apolares, sulfuros o no sulfuros; metálicos y no metálicos.

Los reactivos de flotación se clasifican en tres grandes grupos, los cuales son:

- Colectores
- Espumantes
- Modificadores

La selección de estos reactivos se realiza tomando en cuenta el comportamiento superficial de los minerales involucrados cuando están en suspensión, las curvas de potencial Z, las relaciones que tiene la carga superficial a diferentes condiciones de pH.

Colectores

Los colectores son compuestos orgánicos que convierten a los minerales seleccionados en repelentes al agua por la adsorción de moléculas o iones sobre la superficie mineral de la burbuja de aire, hasta un nivel tal que la adhesión de la partícula a la burbuja puede hacerse por contacto.

Son compuestos heterogéneos que contienen un grupo inorgánico activo asociado con una cadena de hidrocarburos (Almazan, 2021).

La mayoría de los minerales flotables son sulfuros y la gran mayoría de estos necesitan de un colector para poder flotar, hay unas excepciones a esto como la molibdenita y la estibina.

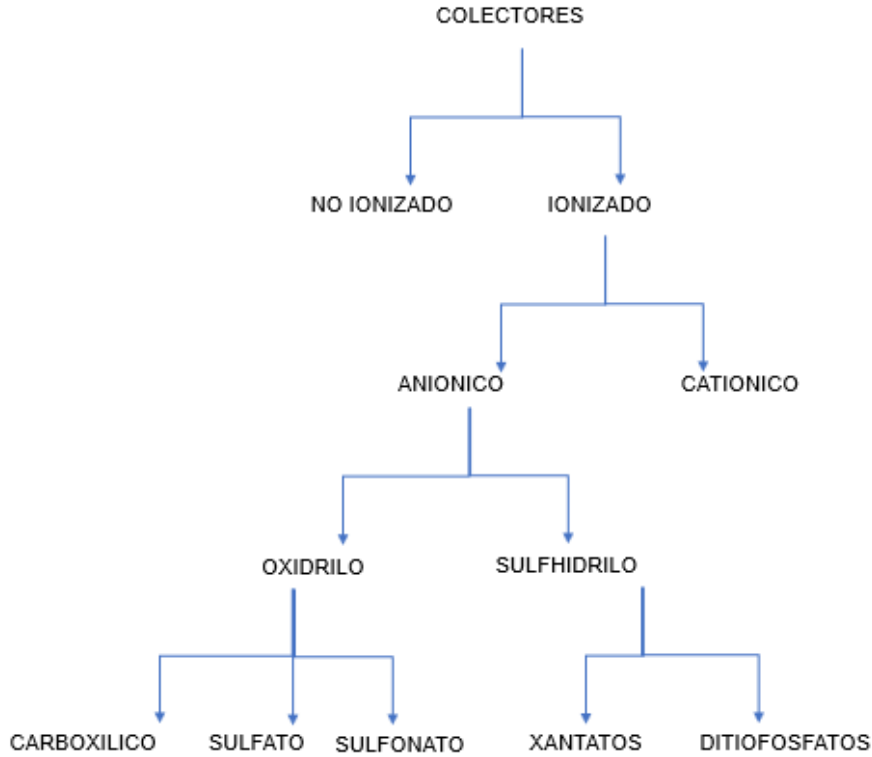


Figura 4.- Clasificación de los colectores más importantes.
(Almazan,2021)

Para la flotación de sulfuros se utilizan primordialmente los xantatos o los ditiolfosfatos, también se utilizan otros agentes como los minerecs y los ditiocarbomatos.

Tabla I. Formulas químicas de algunos colectores comunes,

Colector	Formula química
Xantatos	$R - O - C(-S) - SM$
Acido carboxílico	$R - COOH$
Sales carboxílicas	$-COO - Na^+$
Sulfonatos	$Na R - OSO_3 - Na^+$
Aminas	RNH_3

donde R es una cadena de hidrocarburo y M es Na, K, o NH_4 .

En caso de la flotación de los no sulfurados, la variedad reactivos es más grande en el caso de los polares se utiliza el grupo de los ácidos carboxílicos, las sales de estos, los sulfonatos y con un uso menos común se utilizan los sulfatos, fosfonatos y los arsonatos.

El uso de las aminas como agentes de flotación ha aumentado especialmente para la flotación de sílice (Almazan, 2021).

La cantidad de colector que se utiliza depende de las características y la cantidad del mineral que será flotado, pero generalmente para minerales sulfurosos o minerales metálicos se utiliza 0.01-0.20 lb por tonelada (0.004-0.09 kg por tonelada). Cuando se realiza una flotación de óxidos o de minerales no metálicos se utiliza una cantidad mayor, y en el caso de los ácidos grasos el rango es de 0.5-2.5 lb por tonelada (0.22-1.13 kg).

Modificadores de flotación

No basta con aumentar la flotabilidad en el tratado de la superficie, también se tiene que controlar la selectividad a través de la adsorción preferencial del colector y así evitar que adsorba otro mineral no deseado.

Esto es raramente posible con el uso del colector por sí solo, esto se da ya que en un agrupamiento de minerales siempre existirán varias especies que reaccionen a un colector en específico.

Depresores-Minerales sulfurados

El número de depresores utilizados para los minerales sulfurados es relativamente pequeño y su modo de acción está bastante bien entendido. El control del pH es de suma importancia, con las soluciones alcalinas siendo más común.

La selectividad puede resultar en tendencias diferentes en los cationes minerales que forman complejos hidroxilo, estos impiden la adsorción del colector, algunos otros factores pueden estar involucrados, como es el caso de la oxidación de la superficie o del colector y la sensibilidad al pH. La sensibilidad de los minerales sulfurados a los iones OH⁻ disminuyen de la siguiente manera: Pirita, Pirrotina, Galena, Esfalerita activada, Calcopirita, Calcosina. Para la flotación efectiva de la pirita se necesitan valores de pH superiores de 7 para la depresión, con la adición de iones Ca⁺⁺ el efecto depresivo del OH⁻ se intensifica. Esto hace que la cal sea el depresor más común y generalmente el único requerido para los minerales de cobre.

Otros depresores utilizados en los sistemas sulfurados son: CN⁻, SO₃⁻, Cr₂O₇⁻, S, Fe(CN)₆⁴⁻. El uso de estos se determina por el colector seleccionado.

Depresores-Minerales No Sulfurados

Con los minerales no sulfurados la variedad de depresores es mayor y su efecto es más difícil de generalizar. En estos depresores el control del pH es de una importancia primordial, siendo los iones OH⁻ los responsables.

Como los colectores no sulfurados son ácidos o bases débiles, el pH también determina la concentración, este es el caso con el ácido oleico y con las aminas, que juntos forman la mayor parte de los colectores no metálicos.

Activadores

Los activadores son iones que, al ser adsorbidos en la superficie mineral, permiten adsorción del colector, esto no sucede efectivamente sin un activador. Hay tres instancias mayores de esta situación:

1) La activación de la Esfalerita/Marmatita por el CuSO₄ para su flotación con colectores tiol.

2) La activación del cuarzo por el Ca^{+2} para su flotación con colectores de ácidos grasos.

3) La activación de Cobre ionizado y minerales de Plomo por Na_2S o NaHS con colectores tiol.

Los minerales de zinc son ejemplos de la necesidad de los activadores, ya que estos raramente son flotados sin activadores. El CuSO_4 también se utiliza para activar el Cobalto, Hierro, Antimonio y los sulfuros de Arsénico.

Las sales de Plomo se usan para activar la Antimonita y para reactivar los sulfuros de Cobre deprimidos por el cianuro.

2.3 Microscopio Electrónico de Barrido

El Microscopio electrónico de barrido comúnmente conocido como SEM por sus iniciales en inglés Scanning Electron Microscope, tiene como función principal la de cualquier otro microscopio la cual es aumentar las características o los objetos que no son visibles al ojo humano.

La forma en la que el SEM logra esto es usando un rayo de electrones en lugar de usar luz para formar imágenes como en la microscopía óptica, el nombre proviene de realizar un barrido con los rayos de electrones de alta energía. Ya que los electrones tienen una longitud de onda pequeña lo cual permite que los electrones puedan definir detalles o características más finas que las obtenidas con luz óptica.

El SEM moderno puede realizar magnificaciones de un millón de veces y dar características más pequeñas que un 1 nm en dimensión, aquí se puede utilizar una herramienta adicional con las interacciones del rayo de electrones que emiten rayos X de una cantidad de energía única que se puede detectar para realizar una caracterización del material examinado (UI-Hamid, 2019).

El SEM utilizado tiene una herramienta adicional, se puede obtener una lectura EDX (espectroscopia de rayos X), con esta herramienta se puede obtener una lectura del porcentaje de un elemento que se encuentra en la muestra, esto se realiza detectando fotones en forma de rayos X y estos generan un par de electrón-agujero, cada elemento emite energía diferente lo que permite que se pueda separar energéticamente cada para de electrón-agujero generado (Ul-Hamid, 2019).

2.4 Importancia del Plomo

El plomo es un mineral que se encuentra en concentraciones pequeñas en la corteza terrestre, aunque generalmente su extracción se da cuando se buscan otros metales como la plata y el zinc.

El uso principal del plomo se da en la fabricación de baterías, municiones, soldaduras y cañerías. La facilidad que tiene para estirarse se aprovecha para hacer forros de cables, ya que estos se pueden hacer de forma continua.

El plomo se aplica en la industria médica para la fabricación de láminas de protección contra rayos X, también en la industria química por su resistencia a la corrosión (Minero, 2022).

En las figuras 5 y 6 se presenta la producción anual de plomo en el mundo y la producción anual a nivel estatal, siendo china el país con más producción con un 42.6% y el estado de Zacatecas siendo el estado mexicano con más producción con un 63% (Minero, 2022).

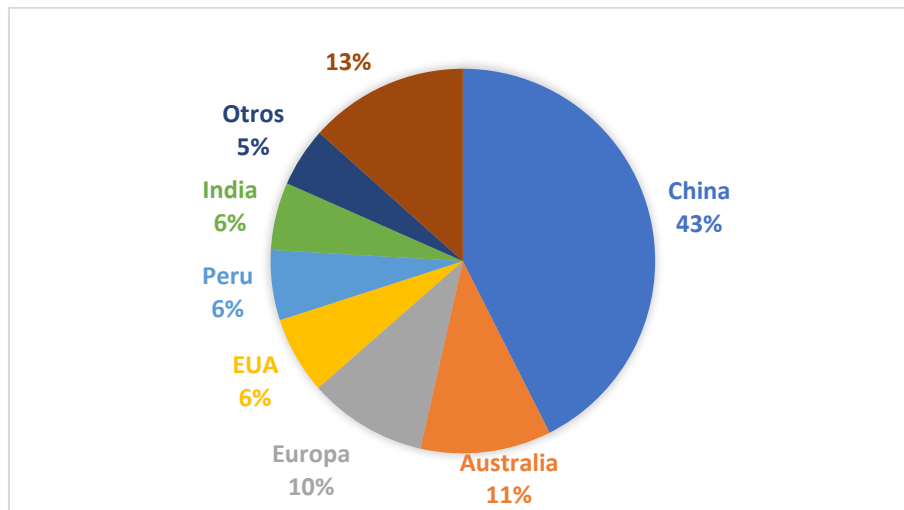


Figura 5.- Participación en la producción mineral mundial de plomo por países en 2021.

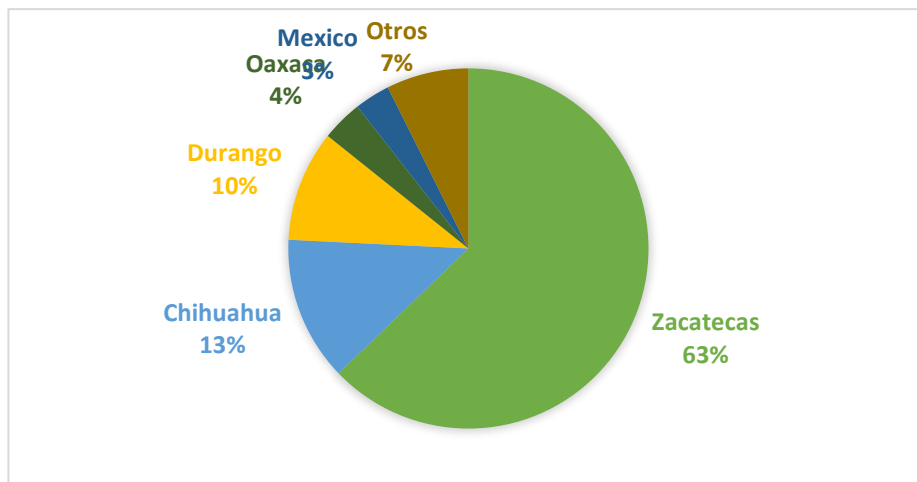


Figura 6.- Participación porcentual en la producción minera de plomo en México por estado en 2021.

2.5 Importancia del Zinc

El zinc es uno de los metales más utilizados en la industria, es considerado un Elemento químico esencial. Su aplicación tiene un amplio rango de industrias,

por mencionar unas se tiene la industria alimenticia, la industria automotriz, la industria aeroespacial, la industria farmacéutica.

Las aplicaciones generales del zinc son en forma de recubrimientos de los metales. Las aplicaciones y usos comunes son los siguientes:

- Galvanizado del acero
- Aleaciones de metales
- Recubrimiento de metales
- Protección de metales
- Conductor de calor y electricidad (QuimiNet, 2011)

En cuanto a la producción mundial del zinc en el año 2021 los mayores productores se pueden observar en la figura 7.

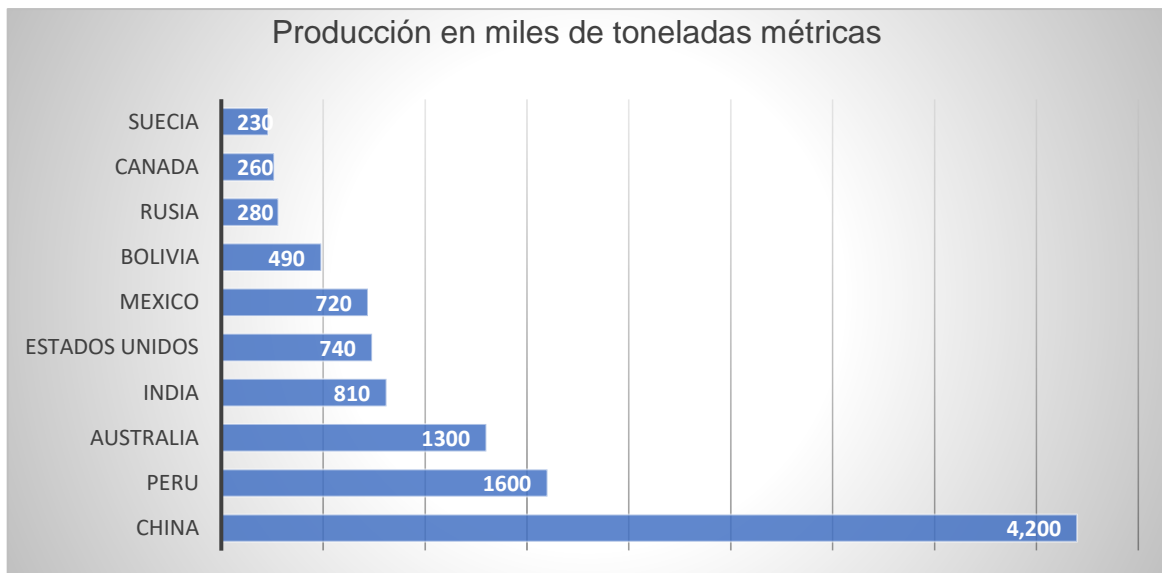


Figura 7.- Ranking de los principales países productores de zinc a nivel mundial en 2021. (Statista, 2022)

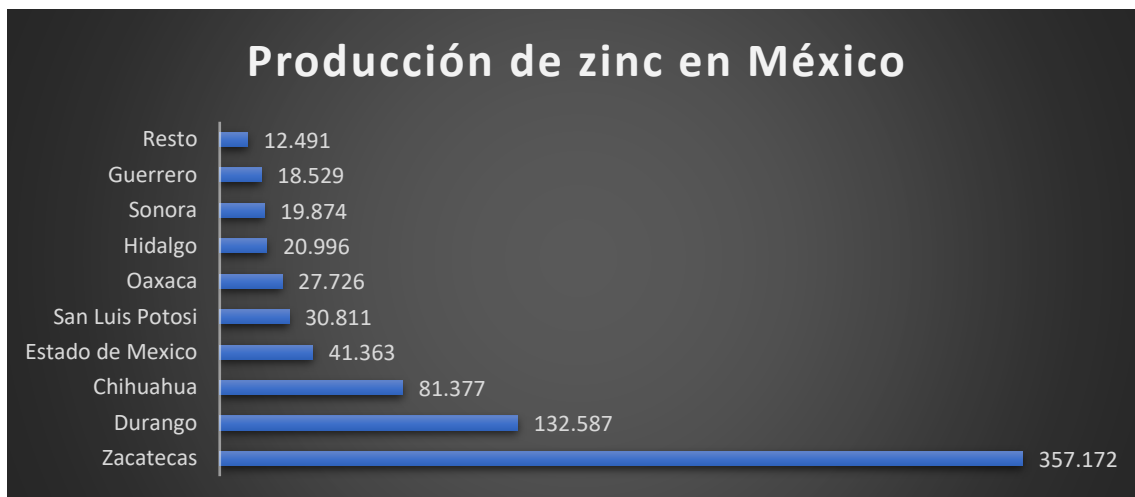


Figura 8.- Ranking de los principales estados productores de zinc en 2021.
(Statista, 2022b)

2.6 Importancia del Oro

El oro es uno de los metales más deseados en la sociedad desde la antigüedad, sus características como su brillo, su color amarillo intenso, su peso, su cualidad de resistir la oxidación en condiciones normales y su ductilidad son las razones por las cuales el oro siempre ha sido codiciado por el ser humano.

Las cualidades del oro son las que le proporcionan ese valor tan alto que conocemos, al igual de su rareza. Al ser un metal noble tiene las propiedades de ser un metal de transición siendo pesado pero maleable, dúctil, tiene una gran conductividad eléctrica, no es magnético, forma aleaciones con otros metales y solo reacciona con un metal el cual es el mercurio. No reacciona con la mayoría de los agentes químicos, solo con el cloro y el agua regia (Phillips & Phillips, 1986), generalmente se encuentra en forma pura en forma de pepitas y en depósitos aluviales.

El uso principal del oro es en la creación de monedas y en la joyería, en la creación de monedas se utiliza como aleación ya sea con plata y/o cobre, por su resistencia a la corrosión este se utiliza en la joyería y raramente pierde su valor

y en caso de la electrónica se utiliza en la mayoría de los instrumentos electrónicos por su resistencia a la corrosión y su cualidad de conducción eléctrica y resistencia al calor.

“El uso del oro se prefiere sobre otros materiales por su gran resistencia a la corrosión, porque es muy dúctil, tiene la capacidad de deformarse sin romperse, tiene baja resistencia eléctrica y una elevada conductividad térmica. Aunque su costo es mayor, su uso en pequeñas cantidades es justificable y necesario.” (Vega & Samano, 2013)

La producción anual de oro en el país en el año 2021 fue de 769,393.30 kg o 769.39330 T siendo esto un alto histórico, en los años 2020 y 2019 la producción anual fueron las siguientes, 71,703.00 kg y 80,595.00 kg. (Producción Minera de México, s. f.)

En cuestión del valor anual en MM\$ en el año 2021 fue \$101,802.39 y en el caso de los años 2020 y 2019 se tuvo un valor anual de \$87,841.42 y \$ 69,238.13 respectivamente. (Producción Minera de México, s. f.)

En la producción anual de oro en los estados se tienen datos actualizados al mes de agosto del 2022, estos datos se pueden visualizar en la tabla II, en la tabla III se pueden observar los 10 mayores productores a nivel mundial.

Tabla II. Producción de Oro de los 10 estados con mayor producción
(Instituto Nacional De Estadística y Geografía [INEGI], s. f.)

Entidad	Kilogramos
Sonora	2954
Zacatecas	1864
Guerrero	1659
Durango	1450
Chihuahua	1258
Oaxaca	338
Guanajuato	127
México	107
San Luis potosí	86
Baja california	42

Tabla III. Mayores productores de oro en el año 2021 (Statista,2022a)

País	Producción en toneladas métricas
China	370
Australia	330
Rusia	300
Estados unidos	180
Canadá	170
México	130
Sudáfrica	100
Uzbekistán	100
Perú	90
Sudan	90

2.7 Importancia de la Plata

La plata al igual que el oro es un metal de transición de color blanco es un poco más dura que el oro, pero comparte características con el oro como que es brillante, blando, dúctil y maleable. Sus conductividades eléctricas y térmicas son las más altas de todos los metales, pero su precio no permite que se utilice en aplicaciones eléctricas.

La plata generalmente se encuentra en la naturaleza en pequeñas cantidades, y se encuentra en formas de plata pura o en minerales, siendo las principales menas parte la familia de los sulfuros como la Argentita (Ag_2S).

La plata se utiliza para realizar monedas como el oro por su ductilidad y maleabilidad, aunque es un poco más dura que el oro, como su precio es elevado no se utiliza frecuentemente en la electrónica y se estima que el 70% de su producción se utiliza en la industria (fotográfica, química, médica y electrónica), el resto se utiliza para fines monetarios y joyería. (Vega & Samano, 2013)

La producción anual de plata en el país en el año 2021 fue de 314,052.45 kg o 314.05245 T. (Producción Minera de México, s. f.)

En la producción anual de plata en los estados se tienen datos actualizados al mes de agosto del 2022, estos datos se pueden visualizar en la tabla IV, en la tabla V se encuentran los 10 países con mayor producción de plata.

Tabla IV. Producción de Plata de los 10 estados con mayor producción
(Instituto Nacional De Estadística y Geografía [INEGI], s. f.)

Entidad	Kilogramos
Zacatecas	183,479
Chihuahua	110,067
Durango	95,153
Sonora	34,548
Oaxaca	28,398
México	19,032
San Luis potosí	11,405
Coahuila	9,626
Hidalgo	4,802
Guerrero	4,049

Tabla V. Mayores productores de plata en el año 2021 de una producción anual de 822 millones de onzas (Minero, 2022b)

País	Contribución porcentual
México	23.9
China	13.7
Perú	13.1
Australia	5.2
Polonia	5.1
Bolivia	5.0
Chile	5.0
Rusia	4.7
Estados unidos	4.0
Otros	20.2

CAPITULO III

METODOLOGIA

El estudio empezó con la preparación de los barrenos para la identificación de las principales especies mineralógicas para posteriormente realizar una caracterización metalúrgica que involucre las técnicas de Análisis óptico, Microscopio electrónico de barrido, Difractograma de rayos X y Flotación Selectiva si el contenido de plomo, zinc y hierro lo permiten.

El mineral recibido fue de 17 kg los cuales se tenían un tamaño menor a la malla Tyler 35, aun así, se tuvo mineral de mayor tamaño el cual fue tamizado a mano. La homogenización del mineral fue usando una lona para mover el mineral dentro de ella de un lado a otro haciendo esto 4 veces por cada recolección de muestra para el muestro utilizando una espátula para retirar mineral de cada zona, esto se realizó hasta que los 17 kg proporcionados estuvieran en un contenedor para ser pesados y separados en bolsas de 1 kg.

Se guardo un kilogramo para realizar un análisis de malla y para mandarlo a un laboratorio para tener un análisis de cabeza, obteniendo los valores de 0.29 g/t de Au, 17.23 g/t de Ag, 0.39 g/t de Pb, 1.24 g/t de Zn y 2.88 g/t de Fe.

Para verificar estos valores se realizó un análisis con el SEM para ver la composición elemental del mineral, dando valores de 0.23 g/t de Au, 16.48 g/t de Ag, 0.38 g/t de Pb, 1.2 g/t de Zn y 3.02 g/t de Fe.

Después de estos análisis se decidió hacer un ensaye óptico con los gruesos que fueron separados en el momento de la homogenización con un microscopio óptico marca Nikon eclipse MA100, donde se identificaron visualmente las especies mineralógicas de galena, esfalerita, pirita y cuarzo. Lo que hizo que se realizara una caracterización con el microscopio electrónico de barrido para confirmar las especies y determinar que mineral tenía la mayor cantidad de oro asociado a él, siendo la pirita el mineral con mayor cantidad de oro.

Al ser mineral proveniente de barrenos que se recibió en un tamaño muy fino que provenía de los corazones de barrenación se realizó una molienda con un 60% de sólidos, en la etapa de molienda se agregaron los reactivos iniciales para que el mineral empezara a acondicionarse, los reactivos de molienda son cal, bisulfito de sodio, cianuro de sodio y sulfato de zinc.

Al terminar la molienda se vació el molino y las bolas de este fueron limpiadas con 1 a 2 litros de agua para remover todo el mineral en ellas, el interior del molino también fue lavado con agua por esta misma razón, esto causo que el porcentaje de solidos bajara a 30-35% en la celda de flotación. El porcentaje de solidos se calculó de la siguiente manera:

$$\%Solidos = \frac{Solido}{Solido+H_2O} \quad \text{Ec. (5)}$$

$$\%Solidos = \frac{1 Kg}{1 Kg + 0.65 L} = 0.60 \quad \text{Ec. (6)}$$

$$\%Solidos = \frac{1 Kg}{1 Kg + (1.5 L + 0.65 L)} = 0.30 \quad \text{Ec. (7)}$$

En el caso de las flotaciones de limpia el porcentaje de solidos igual cambia porque se transfieren a una celda de flotación menor donde se agrega más agua para poder realizar dicha limpia, esto causa que el porcentaje de solidos caiga a un 15-25%, esto se calcula usando la ecuación 5.

La figura 9 muestra de una forma resumida todo el proceso realizado en el proyecto de una forma resumida.

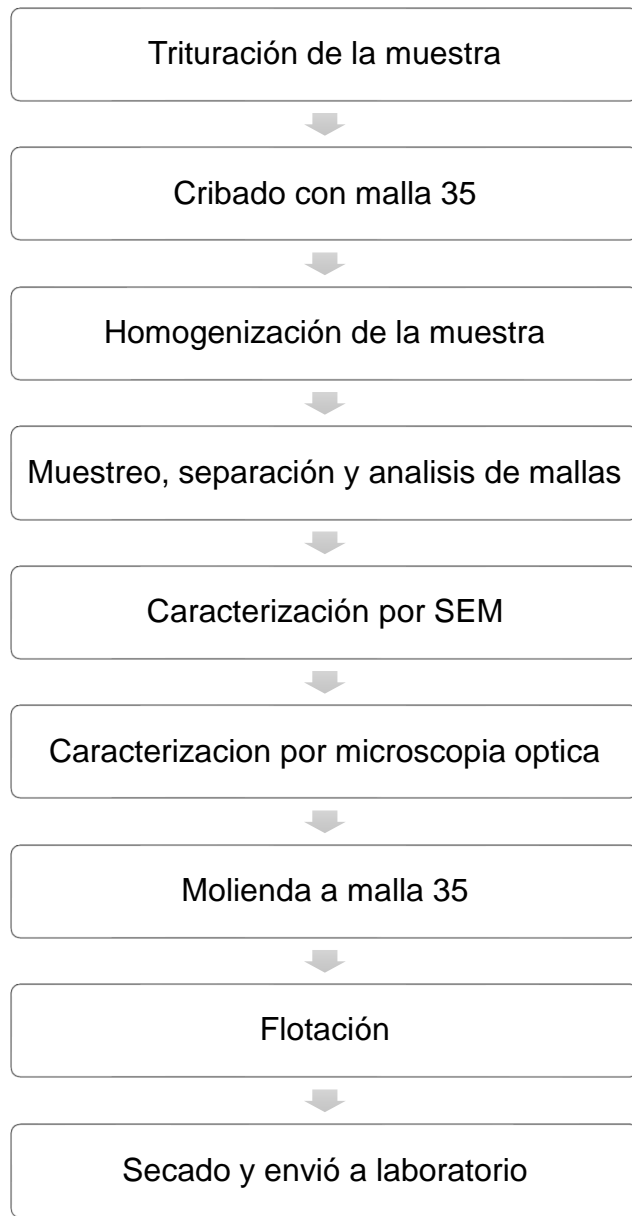


Figura 9.- Metodología global

En la figura 10 se observan las 5 muestras analizadas en un porta muestras, y en la figura 11 se puede ver el microscopio electrónico de barrido utilizado.

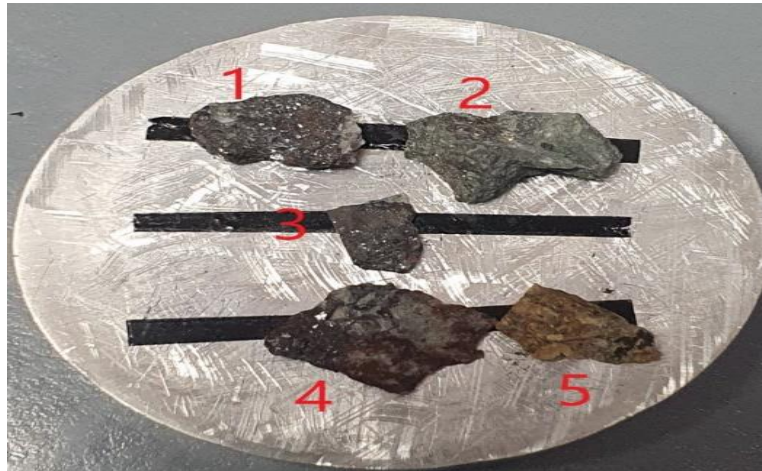


Figura 10.- Muestras analizadas en SEM



Figura 11.- Microscopio Electrónico de Barrido

En basa al análisis mineralógico de los resultados dados por el difractograma de Rayos X y el Microscopio Electrónico de Barrido, donde se determinó que el mineral está compuesto mayormente por especies sulfurosas como son: Galena, Esfalerita, Pirita y con presencia de especies como el cuarzo. Con estos resultados se tomó la decisión de realizar tres concentrados de Plomo, Zinc y Hierro. En la figura 12 se describe la metodología seguida en el proceso de flotación de forma simplificada.

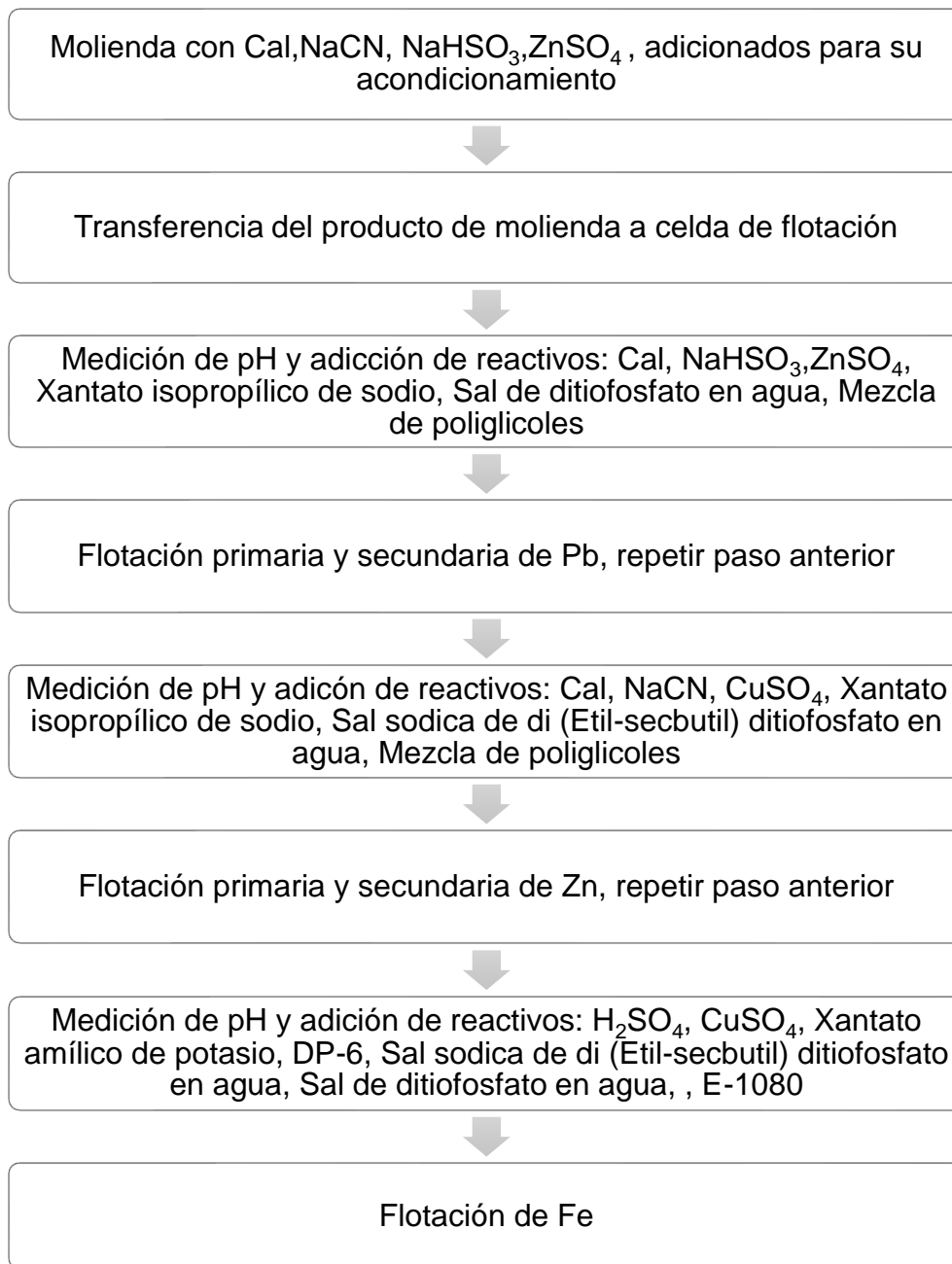


Figura 12.- Metodología de Proceso de flotación

En las figuras 13 y 14 se visualiza el pH-metro y la celda de flotación usados.



Figura 13.- pH-metro utilizado



Figura 14.- Celda de flotación Denver 12

Se realizaron 7 pruebas de flotación, siendo una de estas una prueba bulk, después de estas 7 pruebas se realizaron flotaciones en ciclos, llegando hasta una prueba de 6 ciclos la cual fue tomada como el resultado final.

La tabla VI muestra los reactivos utilizados con sus etapas de uso y su método de alimentación.

Tabla VI. Reactivos utilizados y método de alimentación con etapas de uso.

Reactivo	Método de alimentación	Etapas donde se uso
NaCN	Solución 10g/L	Molienda, 2da flotación de plomo y limpia.
CaO	Solido	Molienda, 2da flotación de plomo y zinc, flotación primaria de zinc, limpia de plomo y zinc
NaHSO ₃	Solido	Molienda
ZnSO ₄	Solido	Molienda, 2da flotación de plomo y limpia.
CuSO ₄	Solido	2da flotación de zinc y limpia , flotación de fierro
H ₂ SO ₄	Solución de 10%	Flotación de fierro
Xantato 343	Solución 10g/L	Flotación primaria y secundaria de plomo y zinc
Xantato 350	Solución 10g/L	Flotación de fierro
P404	Gotas sin diluir	Limpia de plomo, flotación de fierro
P208	Gotas sin diluir	Flotación de plomo, zinc y fierro, limpia de plomo
DP 6	Gotas sin diluir	Flotación de fierro
A70	Gotas sin diluir	Flotaciones de plomo y zinc
E1080	Gotas sin diluir	Flotación de fierro

3.2 Diagrama del proceso de flotación con una sola limpia y 3 concentrados

En la figura 15 se observa la primera parte de la metodología, de flotación, en la Tabla VII se registraron los tiempos y la cantidad de reactivos utilizados enumerados como se mencionó anteriormente.

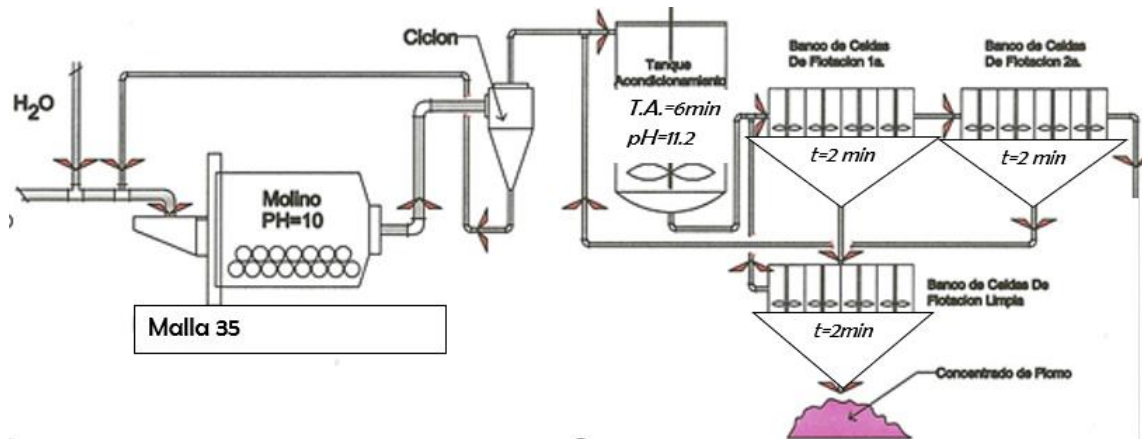


Figura 15.- Diagrama del proceso de sección de flotación de plomo

Tabla VII. Tiempo y Reactivos en sección de flotación de plomo

Etapas	<i>min</i>			<i>g/t</i>					
	t	1	2	3	4	7	8	10	
Molienda	30	1000	500	2000	1000				
Acond.	6					28.25	10	26	
Flot. Pb	2			1000					
Flot Sec	2	500	250	500		28.25	5	26	
Limpia	2	300	20		500			26	

1. Cal, 2. NaCN, 3. ZnSO₄, 4. NaHSO₃, 5. CuSO₄, 6. P404, 7. P208, 8. X343, 9. X350, 10. A70, 11. H₂SO₄, 12. DP6, 13. E1080

La figura 16 muestra la metodología para la sección de zinc y en la Tabla VIII los reactivos y el tiempo de cada flotación realizada.

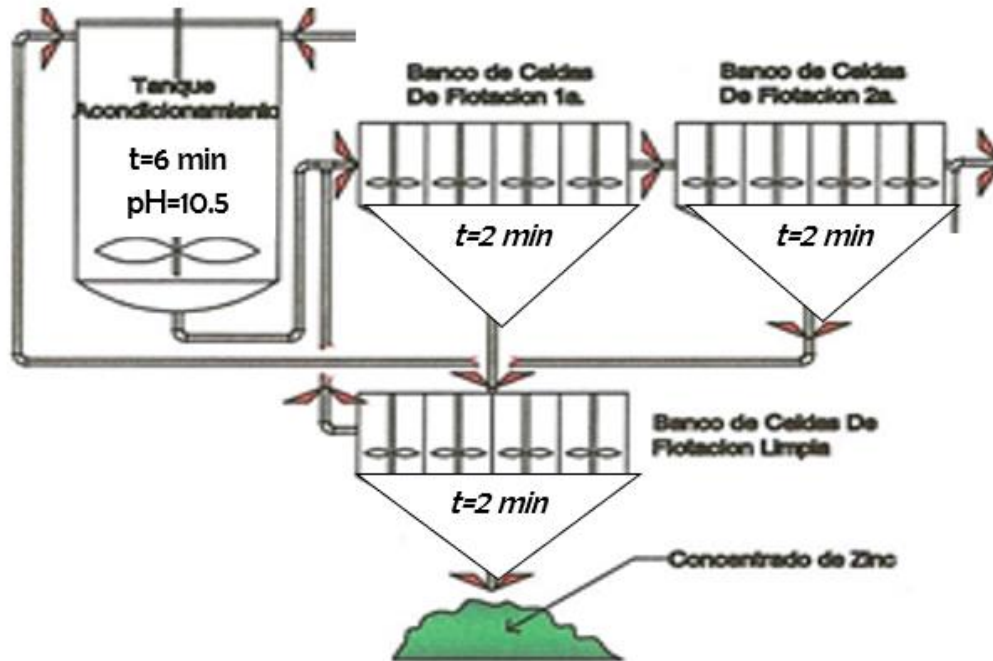


Figura 16.- Diagrama de flujo sección de flotación de zinc

Tabla VIII. Tiempo y reactivos en sección de flotación de zinc

Etapas	<i>min</i>				<i>g/t</i>			
	t	1	2	5	6	7	8	
Acond.	6					28.25	27	
Flot. Zn	2	1500		800				
Flot Sec	2	1000		300			10	
Limpia	2	500	2000		28.75			

1. Cal, 2. NaCN, 3. ZnSO₄, 4. NaHSO₃, 5. CuSO₄, 6. P404, 7. P208, 8. X343, 9. X350, 10. A70, 11. H₂SO₄, 12. DP6, 13. E1080

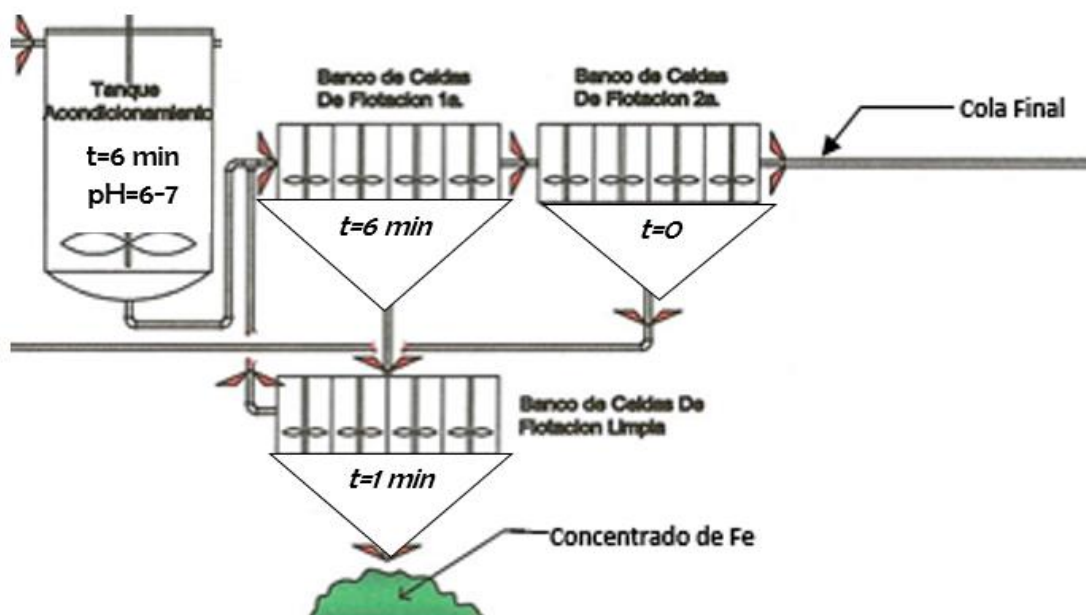


Figura 17.- Diagrama de flujo sección de flotación de hierro

Tabla IX. Tiempo y reactivos en sección de flotación de hierro

Etapas	<i>min</i>		<i>g/t</i>				
	t	5	6	7	8	11	13
Acond.	6	2000	28.75	28.75	30	6	13
Flot. Fe	2						

1. Cal, 2. NaCN, 3. ZnSO₄, 4. NaHSO₃, 5. CuSO₄, 6. P404, 7. P208, 8. X343, 9. X350, 10. A70, 11. H₂SO₄, 12. DP6, 13. E1080

En las siguientes tablas de reactivos ya no se incluye el tanque acondicionador ya que en todas las pruebas de flotación el tiempo fue de 6 min, los reactivos utilizados están escritos en la primera flotación de cada elemento.

En la tabla IX se mencionan los parámetros utilizados en las diferentes pruebas de flotación

Tabla X. Parámetros utilizados en las siete pruebas de flotación iniciales

	Pb	Zn
Prueba 1	t: 3 min de flotación primaria y 2 min de limpia, pH= 11 y 10.56	t: 4 min de flotación primaria y 2 min de limpia, pH=11.42 y 11.2
Prueba 2	t: 4 min de flotación primaria y 2 de limpia, pH=11 y 10.52	t: 5 min de flotación primaria y 2 min de limpia, pH=11.42 y 11.21
Prueba 3	t: 5 min de flotación primaria y 2 de limpia, pH=11.1 y 10.63	t: 5 min de flotación primaria y 2 min de limpia, pH=11.41 y 11.50
Prueba 4	t: 6 min de flotación primaria pH=11	t: 4 min de flotación primaria pH=11.42
Prueba 5	t: 4 min de flotación primaria y 1.5 de limpia, pH=11 y 10.57	t: 4 min de flotación primaria y 2 min de limpia, pH=11.20 y 11.5
Prueba 6	t: 3 min de flotación primaria y 1.5 de limpia, pH=11.10 y 11.10	t: 3 min de flotación primaria y 2 min de limpia, pH=11.79 y 11.92
Prueba 7	t: 2 min de flotación primaria y 1.5 de limpia, pH=11.2 y 11.2	t: 2.5 min de flotación primaria y 2 min de limpia, pH=11.5 y 11.62

En la tabla XI se muestran los parámetros utilizados en la flotación de fierro

Tabla XI. parámetros utilizados en la flotación de fierro

	Fe
Prueba 1	t: 5 min de flotación primaria, pH= 6.75
Prueba 2	t: 5 min de flotación primaria, pH= 6.72
Prueba 3	t: 5 min de flotación primaria, pH= 7.2
Prueba 4	t: 5 min de flotación primaria, pH= 7.68
Prueba 5	t: 6 min de flotación primaria, pH=6.8
Prueba 6	t: 4 min de flotación primaria, pH=6.7
Prueba 7	t: 3 min de flotación primaria, pH=6.76

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DATOS OBTENIDOS

4.1 Resultados y datos obtenidos en la caracterización óptica

Cuando se recibió el mineral, se apartaron muestras para poder examinarlas con el microscopio óptico, con un aumento de 20x.

La caracterización se realizó con un microscopio óptico marca Nikon eclipse MA100, este es microscopio óptico invertido el cual fue de gran ayuda para esta tarea, en esta etapa se buscaron los minerales representantes de plomo, zinc y hierro, al igual de buscar pequeños cristales de oro y plata, pero al ver que las condiciones del mineral no lo permitían al igual de la resolución y aumento se decidió reforzar lo visto aquí con el SEM y un análisis EDS.

En las figuras 18,19,20,21 y 22 se pueden observar las mejores imágenes capturadas de las especies mineralógicas con el microscopio óptico.

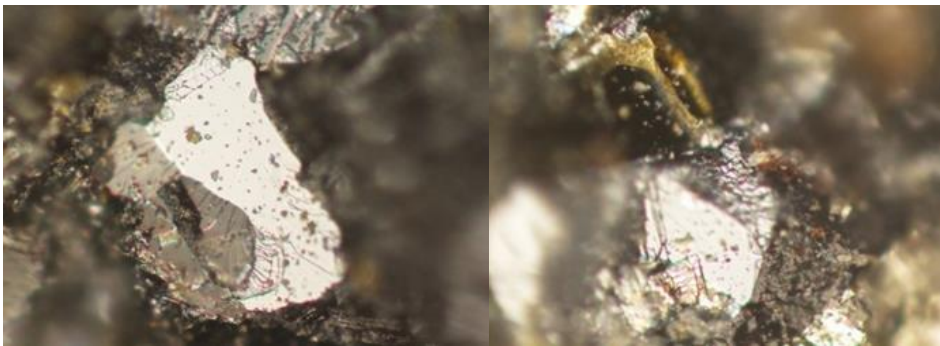


Figura 18.- Galena

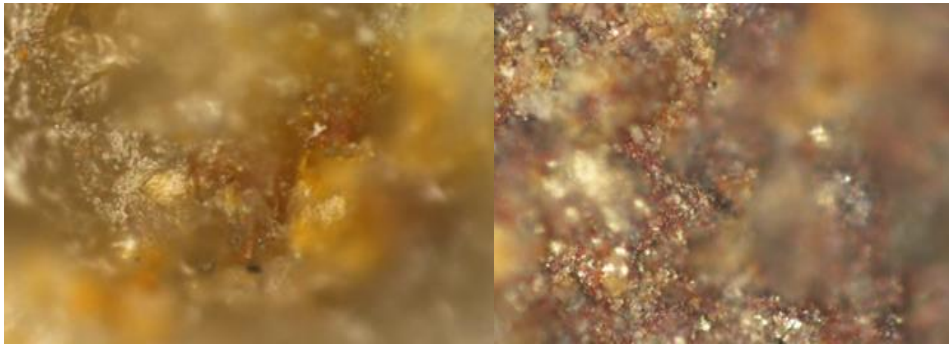


Figura 19.- Esfalerita



Figura 20.- Pirita

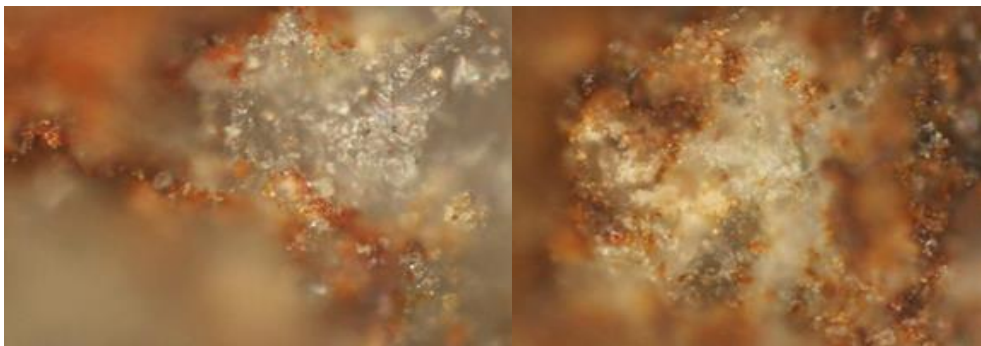


Figura 21.- Cuarzo

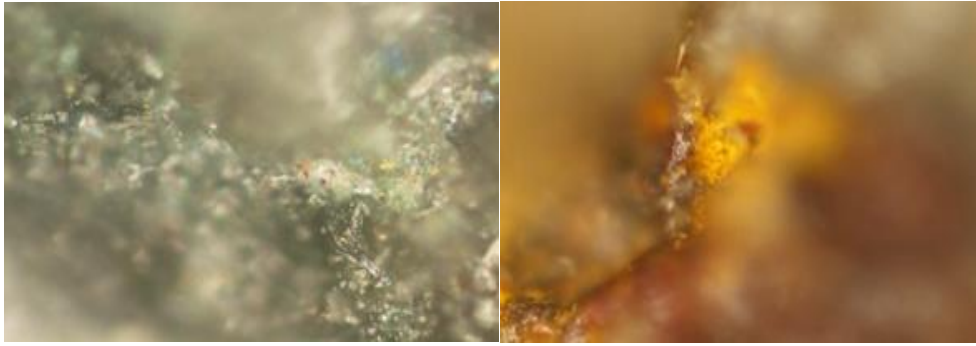


Figura 22.- Resto del mineral

En los resultados ópticos se confirmó lo que se veía a simple vista y se utilizó como referencia para buscar cristales en el SEM y confirmar la presencia de estas especies con el EDS.

4.2 Resultados y datos obtenidos del mapeo con SEM

4.2.1 Mapeo de partícula de galena

En este mapeo se utilizó la misma muestra analizada en el microscopio óptico donde se capturo la imagen de galena, en el SEM se buscó una partícula cubica con un color más oscuro a las que se encontraban a su alrededor para realizarle un mapeo.

Esta partícula seleccionada dio los resultados esperados, así confirmando lo visto con el microscopio óptico, al igual de revelar otros elementos como el oro diseminado en la partícula lo cual llevo a que se realizara un análisis con EDS de la misma partícula.

En la figura 23 se puede observar el mapeo de la partícula examinada.

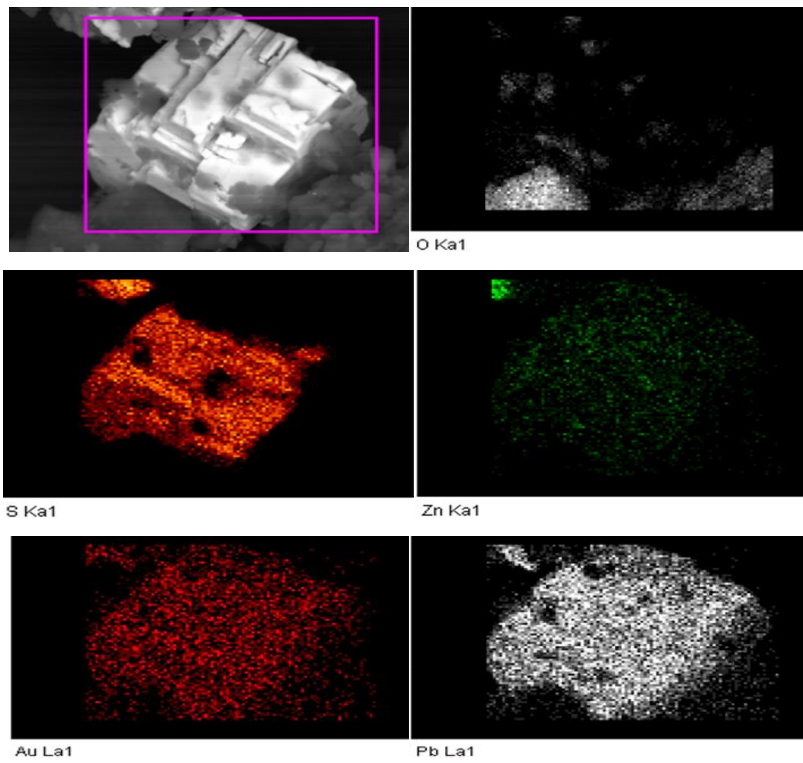


Figura 23.- Mapeo de mineral de plomo

En este mapeo se puede observar un cristal de galena, el cual tiene oro diseminado.

4.2.2 Mapeo de partícula de esfalerita

En el siguiente mapeo se utilizó otra muestra que mostraba una característica común de la esfalerita, ya que se observaba que tenía plomo asociado algo que es muy común porque generalmente la esfalerita viene junto con galena.

En el mapeo se observó que al igual que en el mapeo de galena se tiene oro diseminado en la partícula, en la figura 24 se puede visualizar esto.

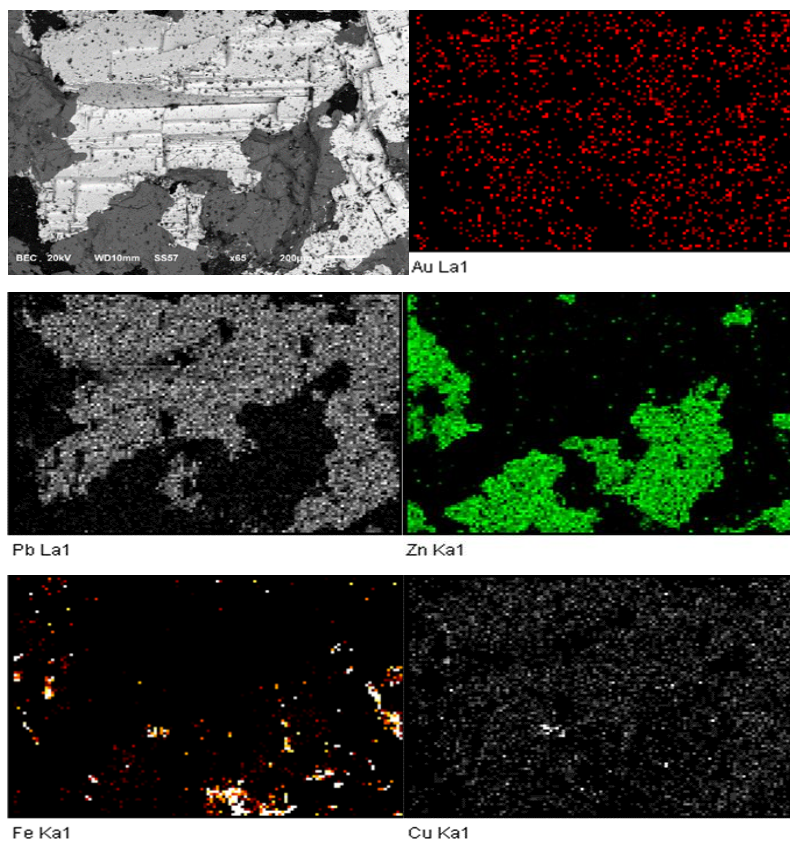


Figura 24.- Mapeo de mineral de zinc

4.2.3 Mapeo de partícula de pirita

Al tener presencia de pirita, se decidió realizar un mapeo ya que generalmente el oro viene asociado a la pirita, al hacer el mapeo se notó que en efecto más oro se encontraba en la partícula en comparación con la galena y esfalerita, con esta información solo se necesitaba confirmar con el análisis EDS para tener la cantidad porcentual de oro.

En la figura 25 se observan los resultados del mapeo de la partícula de pirita.

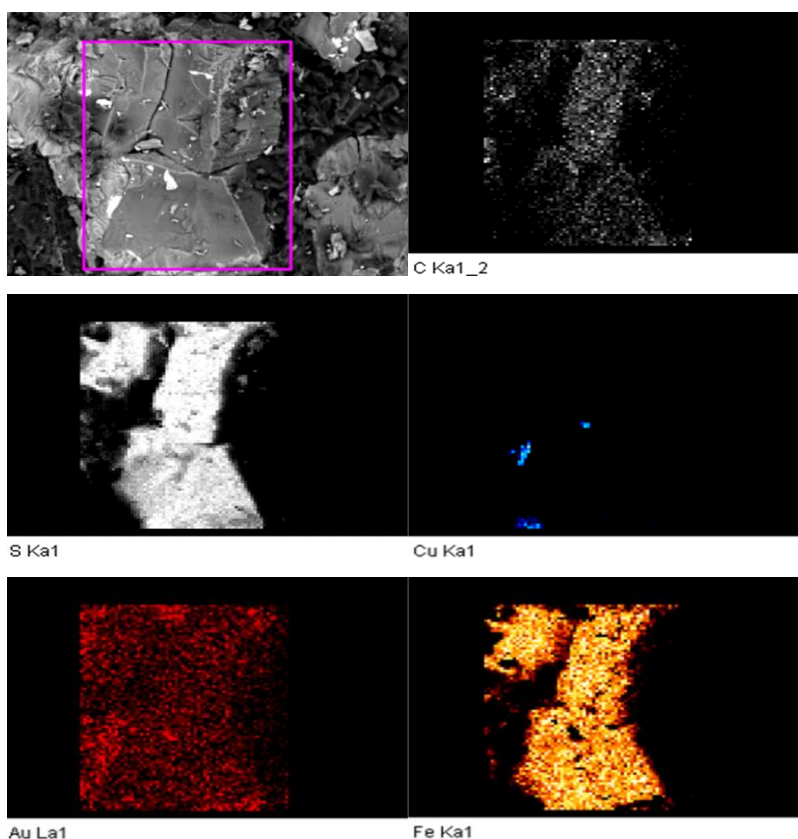


Figura 25.- Mapeo de mineral de hierro

4.2.4 Mapeo de partícula de cuarzo y cola

En el mapeo se encontró cuarzo lo que se colaboró con los resultados del microscopio óptico, en la cola se observa una mayor presencia de minerales sin interés en el cristal examinado se nota una gran cantidad de azufre y fierro. En las figuras 26 y 27 se observan los mapeos de cuarzo y de la cola.



Figura 26.- Mapeo de mineral de cuarzo

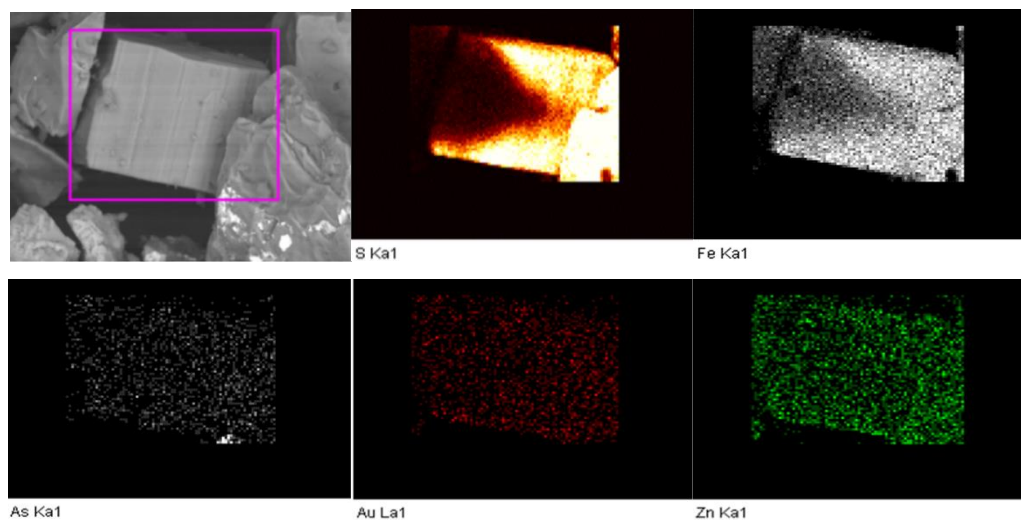
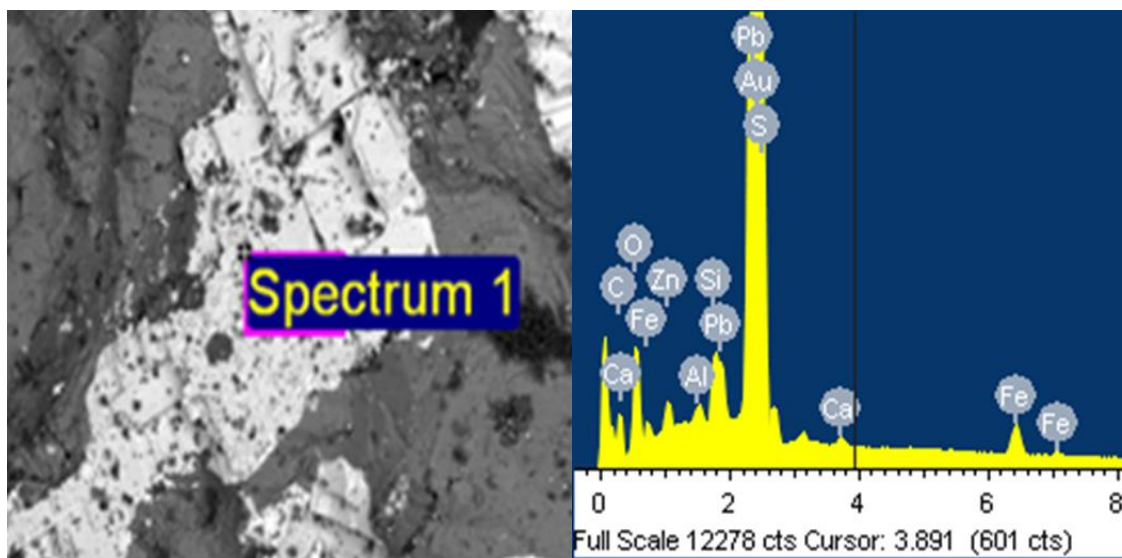


Figura 27.- Mapeo de cola

4.3. Análisis de las especies con EDS en SEM.

4.3.1 Análisis de partícula de galena con EDS en SEM.

Este cristal que se observó en la muestra 1 contiene una cantidad de plomo que indica que la mayor parte del cristal es galena y como lo indico su mapeo se tiene oro en el cristal, al ser una partícula tiene impurezas por eso se tiene un 59.1 %de plomo. La figura 28 muestra la partícula analizada y el resultado del EDS.

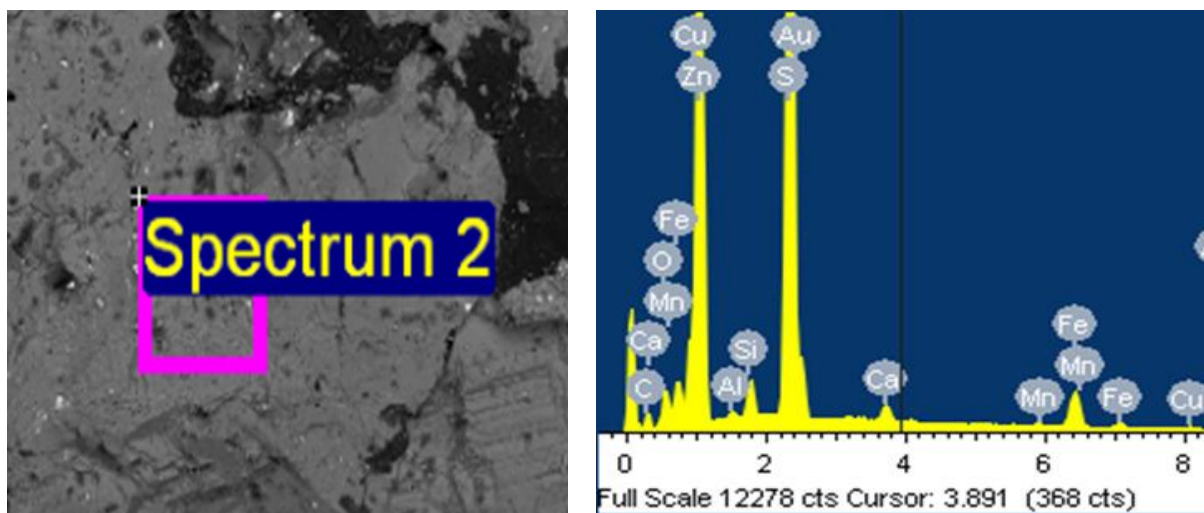


Elemento	C	O	Al	Si	S	Ca	Fe	Zn	Au	Pb	Total
Peso %	10.3	11.9	0.32	1.31	11.6	0.35	2.44	1.01	1.46	59.1	100

Figura 28.- Resultado de análisis EDS de cristal de galena

4.3.2 Análisis de partícula de esfalerita con EDS en SEM.

La partícula examinada es mayormente esfalerita, pero esta tiene muchas impurezas especialmente al tener alrededor de 4% de hierro algo que se observó en el mapeo igual se debe de notar que tiene cobre algo que también salió en el mapeo, al igual de tener una pequeña cantidad de oro.

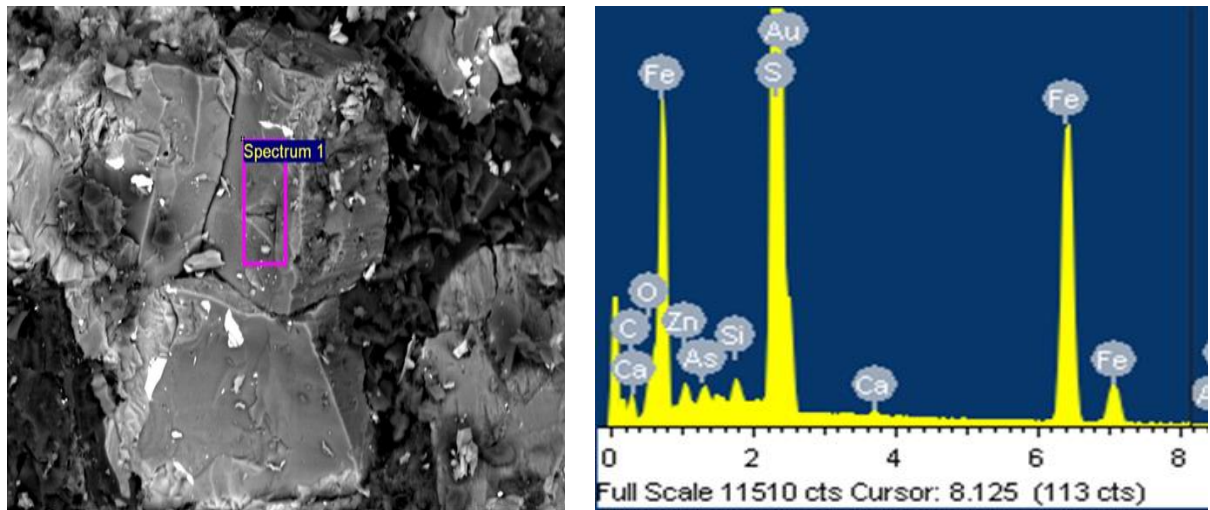


Elemento	C	O	Al	Si	S	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn	Au	Total
Peso %	10.7	4.78	0.26	1.40	29.2	0.77	0.24	4.03	0.54	47.1	0.86	100

Figura 29.- Resultado de análisis EDS de cristal de esfalerita

4.3.3 Análisis de partícula de pirita con EDS en SEM.

En este espectro se tuvo una lectura que concuerda con lo examinado en el mapeo y en el microscopio óptico, el mineral es pirita y contiene la mayor cantidad de oro como se mostró en el mapeo al igual de contener una pequeña cantidad de zinc y contaminantes como el calcio y el arsénico lo que bajan el porcentaje de hierro en la partícula.

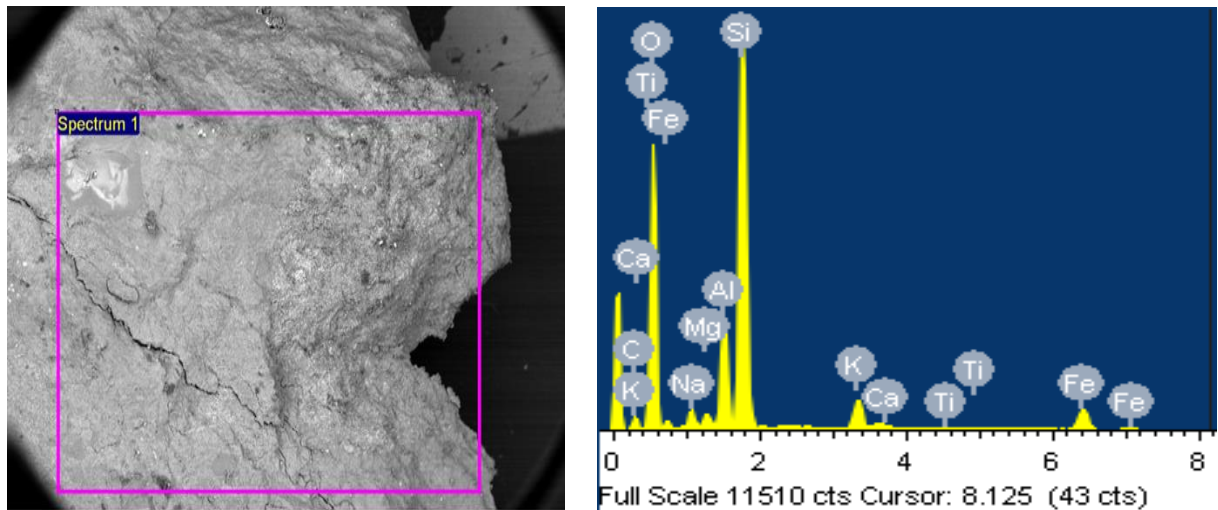


Elemento	C	O	Si	S	Ca	Fe	Zn	As	Au	Total
Peso %	18.1	5.6	0.51	42.5	0.17	30.1	1.13	0.85	0.94	100

Figura 30.- Resultado de análisis EDS de cristal de pirita

4.3.4 Análisis de partícula de cuarzo con EDS en SEM.

El espectro muestra una gran cantidad sílice, lo que indica que es cuarzo. Esto concuerda con lo visto en el microscopio óptico donde se encontró una alta presencia de cuarzo.



Elemento	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Fe	Total
Peso %	6.68	54.3	1.47	0.72	5.78	23	2.48	0.26	0.15	5.19	100

Figura 31.- Resultado de análisis EDS de cristal de cuarzo

En los análisis se obtuvo como resultado que la pirita tiene una mayor cantidad de oro asociado, al igual que la galena y en una menor cantidad la esfalerita.

Con los resultados del SEM se determinó que una buena recuperación se puede realizar con un tamaño de partícula menor a 74 micras lo que equivale a 200 mallas, se da la recomendación de usar una molienda de operación con un p80 a la malla #200 en la escala Tyler.

4.4 Resultados y datos obtenidos en análisis de mallas

Tabla XII. Análisis de mallas

Malla	Ensayes Químicos						Contenido metálico				
	%Peso	Au(g/t)	Ag(g/t)	%Pb	%Zn	%Fe	Au	Ag	Pb	Zn	Fe
100	28.8	0.206	3	0.207	0.901	2.993	0.06	0.86	0.06	0.26	0.86
200	30.6	0.374	16.74	0.425	1.321	2.964	0.11	5.12	0.13	0.40	0.91
270	38.8	0.295	28.84	0.504	1.435	2.863	0.11	11.19	0.20	0.56	1.11
325	1.8	0.27	3	0.564	1.451	0.47	0.00	0.05	0.01	0.03	0.01
Cabeza	100	0.293	17.23	0.39	1.24	2.88					

Tabla XIII. Porcentaje de recuperación en el análisis de mallas

Distribución de elementos metálicos en el mineral					
Malla	Au%	Ag%	%Pb	%Zn	%Fe
100	20.23	5.01	15.08	20.82	29.84
200	39.09	29.73	32.89	32.43	31.40
270	39.03	64.94	49.46	44.66	38.46
325	1.66	0.31	2.57	2.10	0.29
Total	100	100	100	100	100

De acuerdo con los resultados de la distribución de valores en las diferentes dimensiones de las mallas se observa que el mayor contenido de los metales incluyendo el oro y la plata hay un 80% entre las mallas 200 y 270 por lo que esta distribución de valores se ve claramente que se puede realizar una buena flotación selectiva de plomo, zinc y hierro.

4.5 Resultados y datos obtenidos en pruebas de flotación

En la tabla XIV se visualizan los parámetros de la primera prueba de flotación.

Tabla XIV. Etapas de flotación con los tiempos y cantidad de reactivos de la primera prueba de flotación.

Etapas	min					g/t								
	T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Molienda	30	1000	500	2000	1000									
Acond.	6							28	10		26			
Flot. Pb	3													
Flot. Sec	2	500	250	1000				28	5		26			
Limpia Pb	2	500	100	500			28				26			
Acond	6	1500				500		28	30		26			
Flot. Zn	4													
Flot. Sec	2	1000				500			15		26			
Limpia Zn	2	1000	5								26			
Acond	6					2000	28	28		30		5	14	13
Flot. Fe	5													

1. Cal, 2. NaCN, 3. ZnSO₄, 4. NaHSO₃, 5. CuSO₄, 6. P404, 7. P208, 8. X343, 9. X350, 10. A70, 11. H₂SO₄, 12. DP6, 13. E1080

Con el uso de estos tiempos y reactivos se obtuvo una primera flotación la cual es denominada analítica, al ser analizada en un laboratorio particular para determinar sus contenidos se realizó un balance metalúrgico el cual se observa en las tablas XV y XVI.

Tabla XV. Balance metalúrgico flotación analítica

	Ensayes Químicos						Contenido metálico				
	%Peso	Au(g/t)	Ag(g/t)	%Pb	%Zn	%Fe	Au	Ag	Pb	Zn	Fe
Conc Pb	6.28	0.41	78.21	3.35	1.46	3.13	0.03	1.70	0.10	0.06	0.06
Med Pb	13.77	0.26	19.60	0.28	1.21	2.66	0.04	8.79	0.04	0.44	0.27
2da flot Pb	3.07	0.09	17.06	0.96	1.76	3.86	0.00	0.03	0.02	0.02	0.04
Conc Zn	0.83	1.46	137.9	0.4	34.55	6.42	0.00	0.01	0.00	0.05	0.01
Med Zn	1.63	0.72	181	0.34	2.57	3.69	0.03	1.34	0.01	0.19	0.08
2da flot Zn	1.14	0.01	3.56	0.43	1.77	3.60	0.04	0.78	0.00	0.03	0.15
Flot Fe	2.7	1.94	16.38	0.29	3.8	19.7	0.03	0.08	0.01	0.03	0.50
Cola	70.58	0.01	2.	0.04	0.25	1.61	0.01	0.84	0.04	0.32	1.75
Cabeza	100	0.14	14.12	0.33	0.94	2.49					

Tabla XVI. Porcentaje de recuperación de la flotación analítica

	Recuperación				
	%Au	%Ag	%Pb	%Zn	%Fe
Conc Pb	17.91	34.78	64.3	9.80	7.91
Med Pb	24.41	19.11	11.88	17.78	14.75
2da flot Pb	1.91	3.71	9.02	5.78	4.15
Conc Zn	8.41	8.10	1.01	30.60	2.14
Med Zn	8.08	20.89	1.70	4.47	2.42
2da flot Zn	0.08	0.29	1.48	2.15	1.65
Flot Fe	36.27	3.13	2.41	10.96	21.39
Cola	2.93	9.99	8.2	18.45	45.59
Total	100	100	100	100	100

Con estos resultados se fue alterando la cantidad de reactivos y el tiempo de cada etapa para ir mejorando el porcentaje de recuperación de los elementos en los concentrados, al igual de demostrar la necesidad de realizar una flotación de fierro para realizar una recuperación de oro diseminado.

Se realizaron 7 pruebas de flotación, estas se encuentran en los anexos, solo se mencionará la prueba 4 la cual fue una prueba de flotación bulk la cual se observa en la tabla XVII.

Tabla XVII. Etapas de flotación bulk con los tiempos y cantidades de reactivos utilizados.

Etapas	min				g/t									
	T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Molienda	30	1500												
Acond.	6					1000	28	28	70		26		14	
Flot. Pb-Zn	3													
2da Flot Pb-Zn.	2	1000				500		28	30		26			
Acond.	6					2500	28	28		30		6		13
Flot. Fe	5													

1. Cal, 2. NaCN, 3. ZnSO₄, 4. NaHSO₃, 5. CuSO₄, 6. P404, 7. P208, 8. X343, 9. X350, 10. A70, 11. H₂SO₄, 12. DP6, 13. E1080

En esta prueba el tiempo total de la flotación fue de menor tiempo, pero con mayor consumo de colector, de aquí salieron 4 productos, dos flotaciones de Plomo-Zinc, un concentrado de Hierro y su cola.

A continuación, se puede observar el balance metalúrgico de esta prueba de flotación en las tablas XVII y XIX.

Tabla XVIII. Balance metalúrgico flotación bulk

	Ensayes Químicos						Contenido metálico				
	%Peso	Au(g/t)	Ag(g/t)	%Pb	%Zn	%Fe	Au	Ag	Pb	Zn	Fe
1era flot Pb- Zn	10.55	1.24	153.7	2.51	6.7	7.87	0.13	16.22	0.26	0.71	0.83
2da flot Pb-Zn	2.84	0.31	11.6	0.65	1.8	5.17	0.01	0.33	0.02	0.05	0.15
Conc Fe	2.15	0.06	1.75	0.25	0.90	4.7	0.00	0.04	0.01	0.02	0.10
Cola	84.46	0.01	1.26	0.04	0.18	1.61	0.00	1.06	0.04	0.15	1.36
Cabeza	100	0.14	17.65	0.32	0.93	2.44					

Tabla XIX. Porcentaje de recuperación en flotación bulk

	Recuperación				
	%Au	%Ag	%Pb	%Zn	%Fe
1era flot Pb-Zn	90.26	91.89	81.71	76.1	34.03
2da flot Pb-Zn	5.98	1.87	5.67	5.5	6.01
Conc Fe	0.86	0.21	1.67	2.1	4.14
Cola	2.9	6.03	10.96	16.3	55.81
Total	100	100	100	100	100

Al tener los resultados de estas 7 pruebas de flotación se realizaron 3 pruebas cíclicas, la primera fue de 3 ciclos la cual consistió en quedarse solamente con

los concentrados y la cola de 3 pruebas de flotación con la misma cantidad de reactivos y el mismo tiempo.

Los datos de flotación se presentan en la tabla XX.

Tabla XX. Etapas de flotación en prueba de 3 ciclos con los tiempos y cantidades de reactivos utilizados.

Etapas	min					g/t								
	T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Molienda	30	1000	500	2000	1000									
Acond.	6							28	10		26			
Flot. Pb	2													
Limpia Pb	1.5	300	20			500		28			26			
Acond	6	800				800			27		26	6		
Flot. Zn	4													
Limpia Zn	1.5	500	2								26			
Acond	6					2000	28	28		30		7		13
Flot. Fe	2													
Limpia Fe	2							28						13

1. Cal, 2. NaCN, 3. ZnSO₄, 4. NaHSO₃, 5. CuSO₄, 6. P404, 7. P208, 8. X343, 9. X350, 10. A70, 11. H₂SO₄, 12. DP6, 13. E1080

A continuación, en las tablas XXI y XXII se observa el balance metalúrgico de 3 ciclos resumido, aquí se puede observar que la mayor recuperación de Pb y Zn se obtiene en sus respectivos concentrados.

Tabla XXI. Balance metalúrgico de la prueba de 3 ciclos.

	Ensayes Químicos						Contenido metálico				
	%Peso	Au(g/t)	Ag(g/t)	%Pb	%Zn	%Fe	Au	Ag	Pb	Zn	Fe
Conc de Pb	0.39	16.10	1076.70	35.30	2.02	2.84	0.06	4.20	0.14	0.01	0.01
Conc de Zn	1.01	0.65	401.89	4.79	45.42	4.31	0.01	4.06	0.05	0.46	0.04
Conc Fe	3.40	3.93	112.62	2.32	3.18	22.68	0.13	3.83	0.08	0.11	0.77
Cola	95.20	0.01	1.87	0.06	0.33	1.93	0.00	1.78	0.05	0.31	1.84
Cabeza	100	0.20	13.86	0.31	0.88	2.66					

Tabla XXII. Porcentaje de recuperación en prueba de 3 ciclos

	Recuperación				
	%Au	%Ag	%Pb	%Zn	%Fe
Conc de Pb	30.25	30.28	43.28	0.89	0.41
Conc de Zn	3.16	29.27	15.21	51.89	1.63
Conc Fe	64.30	27.61	24.75	12.23	28.93
Cola	2.29	12.84	16.76	34.99	69.02
Cabeza	30.25	30.28	43.28	0.89	0.41

Con esta prueba de 3 ciclos se obtuvo una recuperación muy buena de Plomo y de Zinc en sus concentrados esto fue algo de importancia ya que no se esperaba esto cuando se realizaron los primeros estudios por la cabeza de estos minerales.

Con esto se dio pasó a realizar las pruebas de 5 y 6 ciclos para comprobar que la cantidad de reactivo y el tiempo de flotación si era la indicada, estos datos se ven en las tablas XXIII, XXIV,XXV,XXVI,XXVII,XXVIII.

Tabla XXIII. Etapas de flotación en prueba de 5 ciclos con los tiempos y cantidades de reactivos utilizados.

Etapas	min					g/t									
	T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Molienda	30	1000	500	2000	1000										
Acond.	6							28	10		26				
Flot. Pb	2														
Limpia Pb	1.5	200	10			500		28			26				
Acond	6	800				700			27		26	6		13	
Flot. Zn	2														
Limpia Zn	1.5	300	1								26				
Acond	6					2000	28	28		30		7		13	
Flot. Fe	2														
Limpia Fe	2							28						13	

1. Cal, 2. NaCN, 3. ZnSO₄, 4. NaHSO₃, 5. CuSO₄, 6. P404, 7. P208, 8. X343, 9. X350, 10. A70, 11. H₂SO₄, 12. DP6, 13. E1080

Tabla XXIV. Balance metalúrgico de prueba de 5 ciclos.

	Ensayes Químicos						Contenido metálico				
	%Peso	Au(g/t)	Ag(g/t)	%Pb	%Zn	%Fe	Au	Ag	Pb	Zn	Fe
Conc Pb	0.41	3.32	1682.5	30.56	2.64	2.86	0.01	6.90	0.13	0.01	0.01
Conc Zn	1.18	4.18	234	1.91	39.8	39.8	0.05	2.78	0.02	0.47	0.05
Conc Fe	3.3	3.79	197.60	1.01	4.43	29.21	0.13	6.52	0.03	0.15	0.96
Cola	95.11	0.02	2.84	0.06	0.34	1.93	0.02	2.70	0.05	0.33	1.84
Cabeza	100	0.20	18.90	0.23	0.95	2.86					

Tabla XXV. Porcentaje de recuperación prueba de 5 ciclos

	Recuperación				
	%Au	%Ag	%Pb	%Zn	%Fe
Conc de Pb	6.6	36.49	53.22	1.13	0.41
Conc de Zn	23.98	14.72	9.6	49.42	1.71
Conc Fe	60.66	34.5	14.16	15.33	33.66
Cola	8.76	14.29	23.02	34.11	64.21
Cabeza	100	100	100	100	100

Tabla XXVI. Etapas de flotación en prueba de 6 ciclos con los tiempos y cantidades de reactivos usados.

Etapas	min					g/t								
	T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Molienda	30	1000	500	2000	1000									
Acond.	6							28	10		26			
Flot. Pb	2													
Limpia Pb	1	200	5	500				28			26			
Acond	6	800				700			25		26			13
Flot. Zn	2													
Limpia Zn	1.5	300	10								26			
Acond	6					2000	28	28		30		7		13
Flot. Fe	2													
Limpia Fe	2							28						13

1. Cal, 2. NaCN, 3. ZnSO₄, 4. NaHSO₃, 5. CuSO₄, 6. P404, 7. P208, 8. X343, 9. X350, 10. A70, 11. H₂SO₄, 12. DP6, 13. E1080

Tabla XXVII. Balance metalúrgico de prueba de 6 ciclos.

	Ensayes Químicos						Contenido metálico				
	%Peso	Au(g/t)	Ag(g/t)	%Pb	%Zn	%Fe	Au	Ag	Pb	Zn	Fe
Conc Pb	0.88	0.89	835.98	25.82	2.78	3.05	0.01	7.36	0.23	0.02	0.03
Conc Zn	1.03	8.42	80.15	7.70	47.02	3.79	0.09	0.83	0.08	0.48	0.04
Conc Fe	3.34	3.08	239.77	0.96	3.18	25.61	0.10	8.01	0.03	0.11	0.86
Cola	94.75	0.02	3.93	0.05	0.30	2.09	0.02	3.72	0.05	0.28	1.98
Cabeza	100	0.212	19.91	0.389	0.89	2.90					

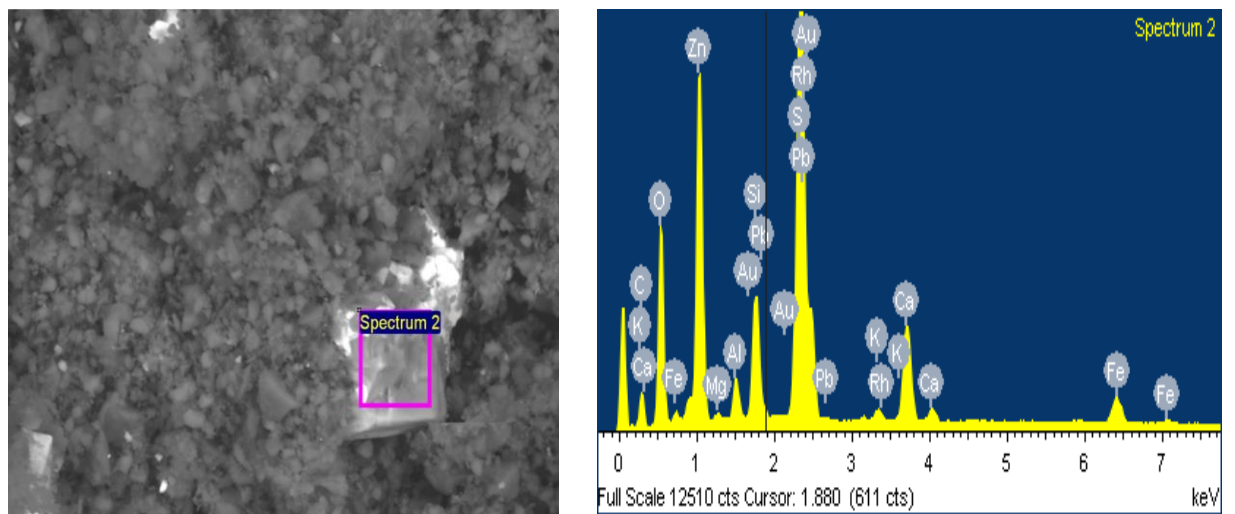
Tabla XXVIII. Porcentaje de recuperación en prueba de 6 ciclos

	Recuperación				
	%Au	%Ag	%Pb	%Zn	%Fe
Conc de Pb	3.67	36.94	58.27	2.72	0.93
Conc de Zn	40.77	4.15	20.35	53.92	1.34
Conc Fe	48.44	40.21	8.26	11.81	29.45
Cola	7.13	18.70	13.12	31.54	68.28
Cabeza	100	100	100	100	100

4.6 Resultados de SEM de concentrados, cabeza y cola

4.6.1 Análisis de concentrado de plomo con EDS en SEM.

Al realizar el ensayo de EDS al concentrado de plomo se puede observar que se tiene una recuperación de plomo baja esto se debe a la procedencia del mineral, el cual como se mencionó anteriormente es de baja ley, en este concentrado se recuperó casi nada de oro y se tienen impurezas como el fierro, silicio y el calcio.

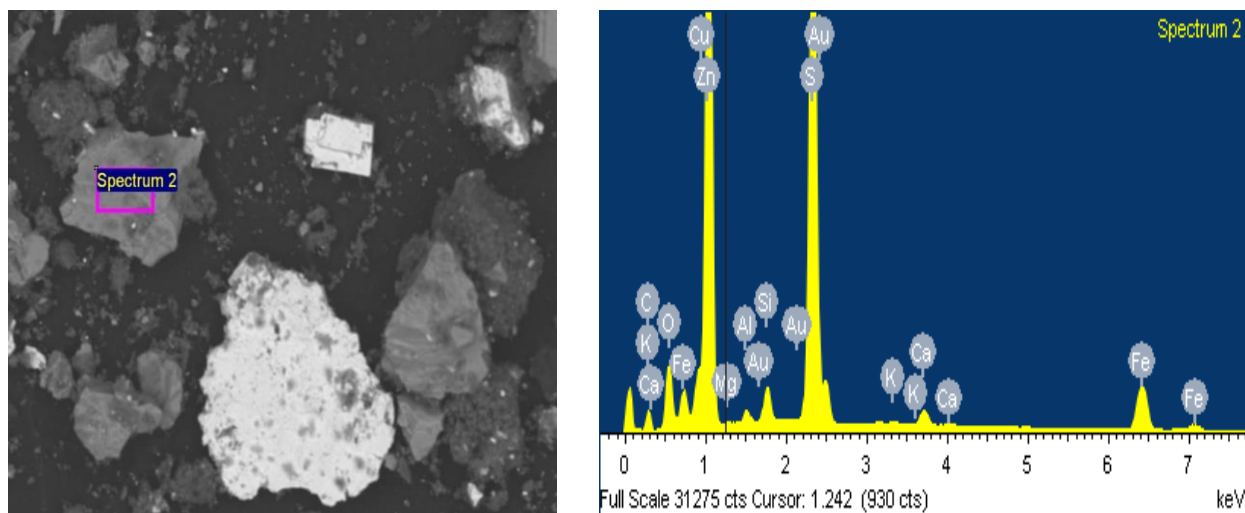


Elemento	C	O	Al	Si	S	K	Ca	Fe	Zn	Au	Pb	Total
Peso %	14	19.5	1.1	3.1	10.1	0.4	3.3	2.1	9.3	0.3	36.3	100

Figura 32.- Análisis EDS del concentrado de plomo

4.6.2 Análisis de concentrado de zinc con EDS en SEM.

En el concentrado de zinc se observa que la cantidad de zinc es de 35.3%, el cual en las siguientes pruebas de flotación especialmente en las cíclicas aumento la recuperación de zinc, pero se debe tener en cuenta que la recuperación de oro es muy baja y se tienen impurezas de fierro y de cobre.

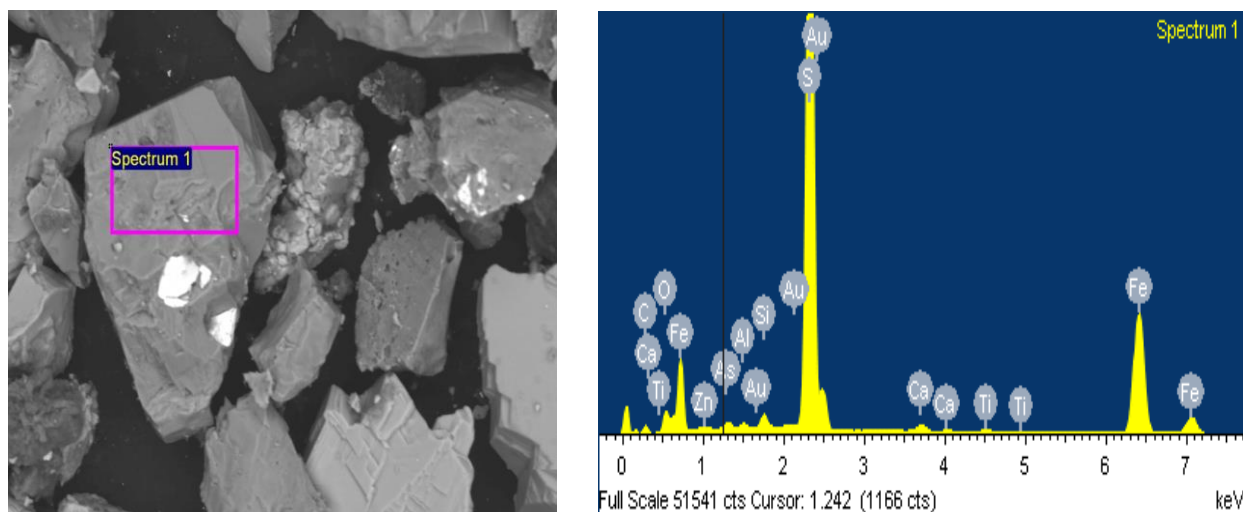


Elemento	C	O	Al	Si	S	Ca	Fe	Cu	Zn	Au	Total
Peso %	18.3	11.2	0.7	1.4	24	1	5.9	1.6	35.3	0.5	100

Figura 33. Análisis EDS del concentrado de zinc

4.6.3 Análisis de concentrado de hierro con EDS en SEM.

En el concentrado de hierro se nota que la cantidad de hierro recuperado no es ideal para comercializar, pero se observa que la mayor cantidad de oro fue recuperado en esta etapa de flotación, siendo esta la principal razón por la cual se realizó este tercer concentrado y tiene la menor cantidad de contaminantes teniendo poco zinc y arsénico.

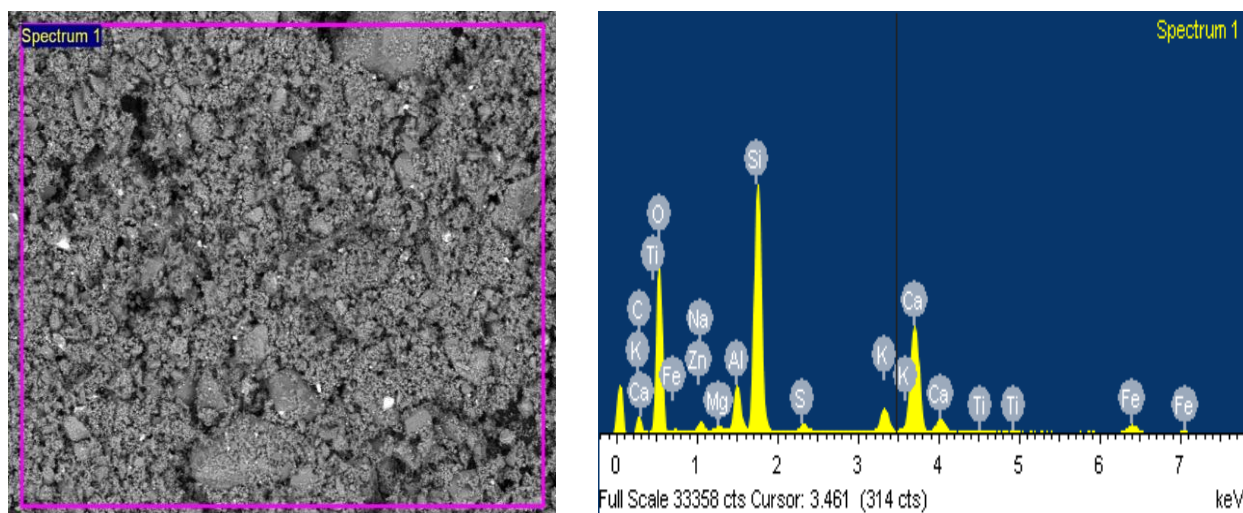


Elemento	C	O	Al	Si	S	Ca	Fe	Zn	As	Au	Total
Peso %	13	8.6	0.3	0.8	40.9	1.2	33.2	0.4	0.8	0.9	100

Figura 34.- Análisis EDS del concentrado de hierro

4.6.4 Análisis de la cabeza de flotación con EDS en SEM.

En este estudio de la cabeza de flotación se confirman los valores que se obtuvieron en los otros estudios de cabeza, se tienen valores muy bajos de plomo y zinc, al igual de contener bastante calcio y una pequeña presencia de oro.

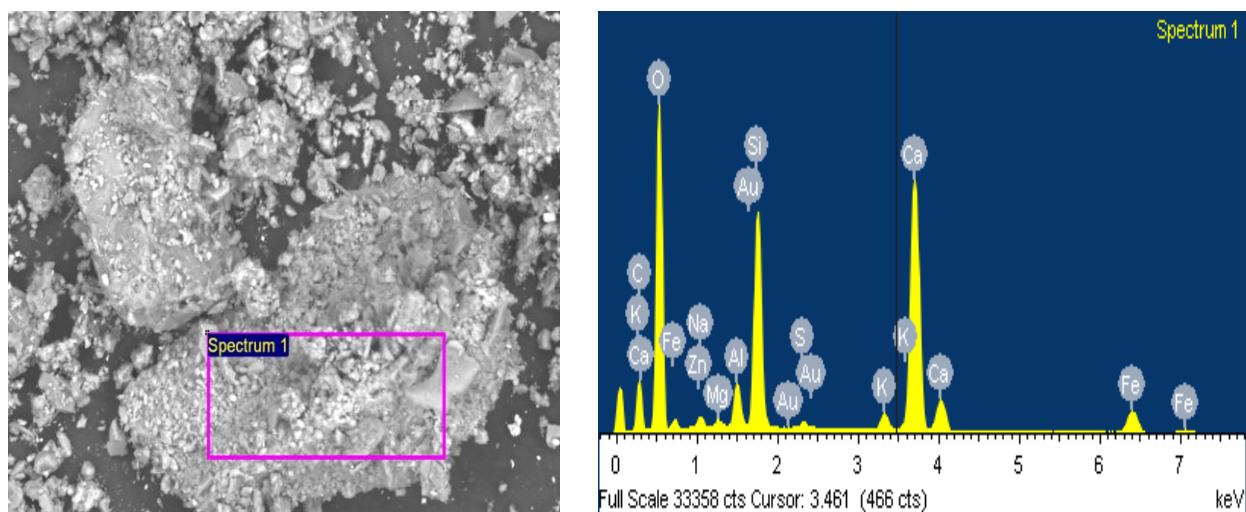


Elemento	C	O	Na	Al	Si	S	K	Ca	Pb	Fe	Zn	Au	Total
Peso %	8.2	54	1	3.1	16	0.5	2.2	11.3	0.3	2.4	0.9	0.2	100

Figura 35.- Análisis EDS de cabeza de flotación

4.6.5 Análisis de la cola de flotación con EDS en SEM.

En las colas se nota que la cantidad de zinc, hierro y oro son muy pocas, en el caso del plomo y de la plata no son detectados por lo que nos indica que los tratamientos de flotación si recuperaron la mayoría del metal de interés.



Elemento	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe	Zn	Au	Total
Peso %	15.6	56.4	0.5	0.3	1.5	7.3	0.2	0.7	13.9	3.3	0.2	0.1	100

Figura 36.- Análisis EDS de la cola de flotación

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Cuando se empezó a tratar el mineral se decidió hacer pruebas de laboratorio al igual de pruebas de EDS para comparar la información recibida por el grupo minero Bacis, la cual nos indicaba que se tenía mayores porcentajes de Pb, Zn y que no contenía hierro, esto se comparó con los resultados obtenidos por las pruebas antes mencionadas dando como resultado un porcentaje menor al reportado por la empresa.

Con un tiempo de molienda de 30 minutos de un kilogramo de sólido y 2 litros de agua el porcentaje de sólidos era casi similar a los datos que se obtienen a nivel industrial para la flotación selectiva de la galena, esfalerita y pirita. Cabe resaltar que en cada etapa de flotación se obtuvieron concentrados de plomo en 49% y de zinc 50% donde para cada uno de estos la recuperación de oro y plata fue 91% y 85%.

Se llegó a la conclusión después de realizar las primeras pruebas que se puede realizar una flotación bulk donde se obtiene un concentrado de Pb-Zn, siendo esta una alternativa para tratar el mineral.

Al realizar las pruebas de 3 y 6 ciclos se mejoró bastante la recuperación de los minerales, en los seis ciclos se confirmó que, al reciclar pulpas de la primera flotación a la limpia, se puede incrementar el grado de plomo arriba del 50% de recuperación teniendo como recuperación máxima 76.98% en el concentrado de plomo y en el caso del zinc se consigue recuperar el 65.89% en el concentrado. En cuanto al oro y la plata se recuperó un 91% y un 85.71% respectivamente.

Las mejores condiciones de trabajo para realizar la flotación de estos minerales se muestran en cada etapa y fueron las siguientes:

Pb = (t : 2 min de flotación primaria y 1 min de limpia, pH= 11.2, 1 kg/t de cal, 500 g/t de NaCN, 1 Kg/t de NaHSO₃ y 2 Kg/t de ZnSO₄, 10 g/t de X-343, 28.25 g/t P208 y 26 g/t A70).

Zn = (t : 2 min de flotación primaria y 1.5 min de limpia, pH= 11.5, 0.8 kg/t de cal, 0.7 kg/t de CuSO₄, 25 gr/t de X-343 y 26 g/t A70 y 13 g/t E1080).

Fe = (t: 2 min de flotación primaria y 2 min de limpia, pH= 6.70, 2 kg/t de CuSO₄, 30 gr/t de X-350, 7 L/t de H₂SO₄ y 28.75 g/t P404, 28.25 g/t P208, 26 g/t A70 y 13 g/t E1080).

Retro alimentación

Al llegar a la practicas me di cuenta de que me hacía falta mucha experiencia haciendo las cosas, sabiendo la teoría de como funcionaban los procesos esto se me hacía fácil, pero al empezar a realizar las actividades me di cuenta de que en realidad no sabía hacerlas.

Cosas simples como hace una solución o utilizar ácidos ya que en la universidad nunca tuve la oportunidad de manejar sustancias como ácidos, al cursar los laboratorios de metalurgia en línea me di cuenta de que no sabía cómo hacer una flotación, solo conocía la teoría.

Al realizar la caracterización de los minerales tuve que aprender cómo se hacía esto, ya que nunca había utilizado un microscopio óptico en la universidad, en el caso del microscopio electrónico de barrido no sabía ni como se prendía, solo sabia sus fundamentos básicos.

En este estudio aprendí a utilizar el molino, desde cómo se prende hasta como se carga, vi la forma de vacío adecuada, como limpiar las bolas de acero y mantenerlo sin que sufran oxidación.

Bibliografía

Murillo-Barroso, M. (2020). *La metalurgia: la revolución del metal*. Diario de los Yacimientos de la Sierra de Atapuerca.

Bustamante, M., Gavira, A., & Restrepo, O. (2007). *Notas de clase de la Asignatura: concentración de minerales (de instituto*

De minerales cimex; 1.ª ed.). <https://minas.medellin.unal.edu.co/centro>

editorial/cuadernos/download/24_5a1004a32dcbd619453c3eed562725f0

Economía, S. (2022). *Minería*. gob.mx. Recuperado 18 de noviembre de 2022, de <https://www.gob.mx/se/acciones-y-programas/mineria>

Minero, M. (2022, 7 septiembre). *México es 5to. lugar mundial en producción de plomo*. Mundo Minero MX. <https://mundominero.mx/quinto-lugar>

producción-plomo/

QuimiNet. (2011, 6 octubre). *La importancia del zinc en la industria*.

<https://www.quiminet.com/articulos/la-importancia-del-zinc-en-la-industria>

2585268.htm

Statista. (2022, 29 julio). *Países líderes en la producción de zinc a nivel mundial*

2021. <https://es.statista.com/estadisticas/635364/paises-lideres-en-la>

producción-de-zinc-a-nivel-mundial/

Statista. (2022b, diciembre 16). *México: entidades federativas con el mayor volumen de producción de zinc 2021*.

<https://es.statista.com/estadisticas/612096/entidades-federativas-con-el-mayor>

volumen-de-producción-de-zinc-mexico/

Iron Ore Statistics and Information | U.S. Geological Survey. (s. f.).

<https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/iron-ore-statistics-and-information>

Opportimes, R. (2022, 21 octubre). *Producción de mineral de hierro de México y sus exportaciones.* Opportimes | Ayudamos a generar ideas de negocio,

logística y manufactura. <https://www.opportimes.com/produccion-de-mineral-de-hierro-de-mexico-y-sus-exportaciones/>

Pistilli, M. (2023, 21 febrero). *Top 10 Iron-producing Countries.* INN.

<https://investingnews.com/daily/resource-investing/base-metals-investing/iron-investing/top-iron-producing-countries/>

Phillips, N., & Phillips, N. (1986). *Fundamentos de mineralogía para geólogos.* Limusa.

Vega, E., & Samano, A. (2013). *USOS y OCURRENCIA DE LOS*

PRINCIPALES METALES QUE SE PRODUCEN EN SONORA. EPISTEMUS.

<https://biblat.unam.mx/hevila/EpistemusCienciatecnologiaysalud/2013/no14/13>.

Producción Minera de México. (s. f.).

https://www.sgm.gob.mx/SINEMGobMx/produccion_minera.jsp

Instituto Nacional De Estadística y Geografía [INEGI]. (s. f.). Minería.

<https://www.inegi.org.mx/temas/mineria>

Statista. (2022a, julio 29). *Países líderes en la producción de oro a nivel mundial en 2021.* [https://es.statista.com/estadisticas/635361/paises-lideres-en-](https://es.statista.com/estadisticas/635361/paises-lideres-en-laproduccion-de-oro-a-nivel-mundial/)

[laproduccion-de-oro-a-nivel-mundial/](https://es.statista.com/estadisticas/635361/paises-lideres-en-laproduccion-de-oro-a-nivel-mundial/)

Minero, M. (2022b, septiembre 16). *México, máximo productor de plata a nivel mundial*. Mundo Minero MX. <https://mundominero.mx/primer-lugar-produccion-plata/>

Weiss, N. L. & Society of Mining Engineers of AIME. (1985). *SME Mineral Processing Handbook* (1.^a ed., Vol. 1). Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers.5-1:5-109

Wills, B.A. and Finch, J. (2015) *Mineral Processing Technology*. 8th Edition, Elsevier, Amsterdam.

Almazán, L. (2021). *Notas de clase fisoquímica de la flotación Universidad de Sonora* [Diapositivas; Clase].

UI-Hamid, A. (2019). *A Beginners' Guide to Scanning Electron Microscopy* (Softcover Reprint of the Original 1st 2018 ed.). Springer.

ANEXO A. REACTIVOS Y PRUEBAS DE FLOTACION

Prueba 1

Etapas	min					g/t								
	T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Molienda	30	1000	500	2000	1000									
Acond.	6							28	10		26			
Flot. Pb	3													
Flot. Sec	2	500	250	1000				28	5		26			
Limpia Pb	2	500	100	500			28				26			
Acond	6	1500				500		28	30		26			
Flot. Zn	4													
Flot. Sec	2	1000				500			15		26			
Limpia Zn	2	1000	5								26			
Acond	6					2000	28	28		30		5	14	13
Flot. Fe	5													

1. Cal, 2. NaCN, 3. ZnSO₄, 4. NaHSO₃, 5. CuSO₄, 6. P404, 7. P208, 8. X343, 9. X350, 10. A70, 11. H₂SO₄, 12. DP6, 13. E1080

Ensayes Químicos

Contenido metálico

	%Peso	Au(g/t)	Ag(g/t)	%Pb	%Zn	%Fe	Au	Ag	Pb	Zn	Fe
Conc Pb	6.28	0.41	78.21	3.35	1.46	3.13	17.91	34.78	64.3	9.80	7.91
Med Pb	13.77	0.26	19.60	0.28	1.21	2.66	24.41	19.11	11.88	17.78	14.75
2da flot Pb	3.07	0.09	17.06	0.96	1.76	3.86	1.91	3.71	9.02	5.78	4.15
Conc Zn	0.83	1.46	137.9	0.4	34.55	6.42	8.41	8.10	1.01	30.60	2.14
Med Zn	1.63	0.72	181	0.34	2.57	3.69	8.08	20.89	1.70	4.47	2.42
2da flot Zn	1.14	0.01	3.56	0.43	1.77	3.60	0.08	0.29	1.48	2.15	1.65
Flot Fe	2.7	1.94	16.38	0.29	3.8	19.7	36.27	3.13	2.41	10.96	21.39
Cola	70.58	0.01	2.	0.04	0.25	1.61	2.93	9.99	8.2	18.45	45.59
Cabeza	100	0.14	14.12	0.33	0.94	2.49	100	100	100	100	100

Recuperación

	Au%	Ag%	%Pb	%Zn	%Fe
Conc Pb	17.91	34.78	64.3	9.80	7.91
Med Pb	24.41	19.11	11.88	17.78	14.75
2da flot Pb	1.91	3.71	9.02	5.78	4.15
Conc Zn	8.41	8.10	1.01	30.60	2.14
Med Zn	8.08	20.89	1.70	4.47	2.42
2da flot Zn	0.08	0.29	1.48	2.15	1.65
Flot Fe	36.27	3.13	2.41	10.96	21.39
Cola	2.93	9.99	8.2	18.45	45.59
Total	100	100	100	100	100

Prueba 2

Etapas	min					g/t								
	T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Molienda	30	2000	500	2000	1000									
Acond.	6						28	28	30		26		14	
Flot. Pb	4													
Flot. Sec	5	500	200	2000	1000		28	28	20				14	
Limpia Pb	2	1000	100	1000			28				26			
Acond	6	2000				2000	28	28	30		26			
Flot. Zn	5													
Flot. Sec	5	1000				1000			20		26			
Limpia Zn	2	1000	50								26			
Acond	6					2000	28	28		20		10	14	13
Flot. Fe	5													

1. Cal, 2. NaCN, 3. ZnSO₄, 4. NaHSO₃, 5. CuSO₄, 6. P404, 7. P208, 8. X343, 9. X350, 10. A70, 11. H₂SO₄, 12. DP6, 13. E1080

Ensayes Químicos

Contenido metálico

	%Peso	Au(g/t)	Ag(g/t)	%Pb	%Zn	%Fe	Au	Ag	Pb	Zn	Fe
Conc Pb	1.35	2.57	125.70	7.44	4.18	4.19	0.03	4.91	0.21	0.09	0.20
Med Pb	7.44	0.56	118.15	0.51	5.92	3.57	0.04	2.70	0.04	0.17	0.37
2da flot Pb	1.03	0.39	3.00	1.67	1.96	3.99	0.00	0.52	0.03	0.05	0.10
Conc Zn	0.29	0.49	3.00	0.74	17.40	4.84	0.01	1.14	0.00	0.29	0.05
Med Zn	1.74	1.55	76.81	0.41	10.92	4.68	0.01	2.95	0.01	0.04	0.06
2da flot Zn	1.13	3.16	68.83	0.43	2.41	12.87	0.00	0.04	0.00	0.02	0.04
Flot Fe	2.79	1.09	3.00	0.19	1.13	17.90	0.05	0.44	0.01	0.10	0.53
Cola	84.23	0.01	1.00	0.04	0.38	2.08	0.00	1.41	0.03	0.17	1.13
Cabeza	100	0.32	16.30	0.29	0.95	3.48	0.03	4.91	0.21	0.09	0.20

%Recuperación

	Au%	Ag%	%Pb	%Zn	%Fe
Conc Pb	0.25	18.82	12.51	47.45	4.96
Med Pb	0.11	22.69	64.79	17.78	38.67
2da flot Pb	0.06	2.20	0.23	8.10	1.77
Conc Zn	0.28	0.77	0.06	1.01	4.43
Med Zn	0.20	14.66	9.85	3.36	16.68
2da flot Zn	0.33	19.36	5.73	2.32	2.39
Flot Fe	0.47	16.48	0.62	2.46	2.76
Cola	0.12	5.03	6.21	17.51	28.33
Total	100	100	100	100	100

Prueba Tres

Etapas	min					g/t								
	T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Molienda	30	1000	500	2000	1000									
Acond.	6							28	10		26			
Flot. Pb	4													
Flot. Sec	2	500	250	1000	500			28	5		26			
Limpia Pb	2	500	100	500			28				26			
Acond	6	1500				750		28	30		26			
Flot. Zn	5													
Flot. Sec	5	1000				250			10		26			
Limpia Zn	2	500	5								26			
Acond	6					2000	28	28		30		5	14	13
Flot. Fe	5													

1. Cal, 2. NaCN, 3. ZnSO₄, 4. NaHSO₃, 5. CuSO₄, 6. P404, 7. P208, 8. X343, 9. X350, 10. A70, 11. H₂SO₄, 12. DP6, 13. E1080

Ensayes Químicos

Contenido metálico

	%Peso	Au(g/t)	Ag(g/t)	%Pb	%Zn	%Fe	Au	Ag	Pb	Zn	Fe
Conc Pb	0.23	5.11	199.89	19.25	2.51	3.21	0.01	0.46	0.04	0.01	0.01
Med Pb	5.95	3.30	160.87	1.72	1.41	2.72	0.20	9.57	0.10	0.08	0.16
2da flot Pb	1.80	0.80	60.86	3.77	1.60	2.96	0.01	1.10	0.07	0.03	0.05
Conc Zn	0.85	2.15	83.20	0.43	37.06	5.86	0.02	0.71	0.00	0.32	0.05
Med Zn	2.09	0.12	48.92	0.63	2.65	2.87	0.00	1.02	0.01	0.06	0.06
2da flot Zn	1.32	0.47	99.90	0.54	16.45	3.72	0.01	1.32	0.01	0.22	0.05
Flot Fe	2.79	2.06	16.42	0.38	0.31	22.55	0.06	0.46	0.01	0.01	0.63
Cola	84.97	0.02	1.96	0.05	0.28	2.91	0.02	1.67	0.04	0.24	2.47
Cabeza	100	0.32	16.30	0.29	0.95	3.48					

%Recuperación

	Au(g/t)	Ag(g/t)	%Pb	%Zn	%Fe
Conc Pb	3.63	2.82	15.20	0.61	0.21
Med Pb	60.59	58.73	35.04	8.79	4.65
2da flot Pb	4.44	6.72	23.29	3.03	1.53
Conc Zn	5.65	4.34	1.27	33.08	1.43
Med Zn	0.80	6.27	4.52	5.81	1.72
2da flot Zn	1.91	8.09	2.46	22.79	1.41
Flot Fe	17.74	2.81	3.64	0.91	18.09
Cola	5.24	10.22	14.58	24.98	70.95
Total	100	100	100	100	100

Prueba Cuatro

Etapas	t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	min	Kg/t	g/t	Kg/t	Kg/t	Kg/t	g/t	g/t	g/t	g/t	g/t	L/t	g/t	g/t
Molienda	30	1.5												
Flot. Pb- Zn	6					1	28.	28.	70		1		1	
							75	25						
2da Flot. Zn-Pb	4	1				0.5	28.	28.	30		1			
							75	25						
Flot. Fe	5					2.5	28.	28.		30		6		13
							75	25						

1. Cal, 2. NaCN, 3. ZnSO₄, 4. NaHSO₃, 5. CuSO₄, 6. P404, 7. P208, 8. X343, 9. X350, 10. A70, 11. H₂SO₄, 12. DP6, 13. E1080

Ensayes Químicos

Contenido metálico

	%Peso	Au(g/t)	Ag(g/t)	%Pb	%Zn	%Fe	Au	Ag	Pb	Zn	Fe
1era flot Pb- Zn	10.55	1.24	153.7	2.51	6.7	7.87	0.13	16.22	0.26	0.71	0.83
2da flot Pb-Zn	2.84	0.31	11.6	0.65	1.8	5.17	0.01	0.33	0.02	0.05	0.15
Conc Fe	2.15	0.06	1.75	0.25	0.90	4.7	0.00	0.04	0.01	0.02	0.10
Cola	84.46	0.01	1.26	0.04	0.18	1.61	0.00	1.06	0.04	0.15	1.36
Cabeza	100	0.14	17.65	0.32	0.93	2.44					

%Recuperación

	Au%	Ag%	%Pb	%Zn	%Fe
1era flot Pb-Zn	90.26	91.89	81.71	76.1	34.03
2da flot Pb-Zn	5.98	1.87	5.67	5.5	6.01
Conc Fe	0.86	0.21	1.67	2.1	4.14
Cola	2.9	6.03	10.96	16.3	55.81
Total	100	100	100	100	100

Prueba Cinco

Etapas	min					g/t								
	T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Molienda	30	2500	500	2000	1000									
Acond.	6							28	10		26			
Flot. Pb	4													
Flot. Sec	2	500	250	1000	500			28	5		26			
Limpia Pb	1.5	500	120	500			28				26			
Acond	6	1500				800		28	25		26			
Flot. Zn	3													
Flot. Sec	2	1000				300			10		26			
Limpia Zn	2	700	5				28				26			
Acond	6					2000	28	28		30		5		13
Flot. Fe	6													

1. Cal, 2. NaCN, 3. ZnSO₄, 4. NaHSO₃, 5. CuSO₄, 6. P404, 7. P208, 8. X343, 9. X350, 10. A70, 11. H₂SO₄, 12. DP6, 13. E1080

Ensayes Químicos

Contenido metálico

	%Peso	Au(g/t)	Ag(g/t)	%Pb	%Zn	%Fe	Au	Ag	Pb	Zn	Fe
Conc Pb	0.38	2.94	593.90	28.33	1.41	3.22	0.01	2.26	0.11	0.01	0.01
Med Pb	1.01	0.87	81.37	2.89	4.15	4.37	0.01	0.82	0.03	0.04	0.04
2da flot Pb	0.92	2.51	2.15	1.54	3.44	4.52	0.02	0.02	0.01	0.03	0.04
Conc Zn	0.14	6.74	1.96	1.64	44.15	6.79	0.01	0.00	0.00	0.06	0.01
Med Zn	1.89	1.47	105.33	1.84	17.06	4.81	0.03	1.99	0.03	0.32	0.09
2da flot Zn	1.71	3.00	402.62	0.94	10.05	6.33	0.05	6.86	0.02	0.17	0.11
Flot Fe	3.49	2.30	33.00	0.50	0.50	16.84	0.08	1.15	0.02	0.02	0.59
Cola	90.47	0.03	1.75	0.16	0.28	2.56	0.02	1.58	0.15	0.25	2.31
Cabeza	100	0.23	14.69	0.36	0.90	3.21					

%Recuperación

	Au%	Ag%	%Pb	%Zn	%Fe
Conc Pb	4.75	15.36	29.23	0.59	0.38
Med Pb	3.72	5.59	7.93	4.63	1.37
2da flot Pb	9.83	0.13	3.85	3.49	1.29
Conc Zn	4.01	0.02	0.62	6.83	0.30
Med Zn	11.78	13.55	9.46	35.62	2.83
2da flot Zn	21.77	46.73	4.34	18.92	3.36
Flot Fe	34.15	7.84	4.77	1.93	18.31
Cola	10.00	10.78	39.80	27.98	72.15
Total	100	100	100	100	100

Prueba Seis

Etapas	min					g/t								
	T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Molienda	30	2500	500	2000	1000									
Acond.	6							28	12		26			
Flot. Pb	3													
Flot. Sec	2	500	250	1000	500			28	5		26			
Limpia Pb	1.5	500	120	500			28				26			
Acond	6	1500				800		28	27		26			
Flot. Zn	3													
Flot. Sec	2	1000				300			10		26			
Limpia Zn	2	700	5								26			
Acond	6					2000	28	28		30		5		13
Flot. Fe	4													

1. Cal, 2. NaCN, 3. ZnSO₄, 4. NaHSO₃, 5. CuSO₄, 6. P404, 7. P208, 8. X343, 9. X350, 10. A70, 11. H₂SO₄, 12. DP6, 13. E1080

Ensayes Químicos

Contenido metálico

	%Peso	Au(g/t)	Ag(g/t)	%Pb	%Zn	%Fe	Au	Ag	Pb	Zn	Fe
Conc Pb	0.14	12.52	551.43	30.98	2.16	3.13	0.02	0.77	0.04	0.00	0.00
Med Pb	3.97	0.20	25.52	0.82	1.47	2.75	0.01	1.01	0.03	0.06	0.11
2da flot Pb	3.89	0.97	56.27	2.64	1.58	1.87	0.04	2.19	0.10	0.06	0.07
Conc Zn	0.63	0.71	597.72	4.04	36.00	3.78	0.00	3.77	0.03	0.23	0.02
Med Zn	1.78	0.44	157.01	1.29	2.27	3.23	0.01	2.79	0.02	0.04	0.06
2da flot Zn	1.65	0.72	120.24	0.60	3.13	4.40	0.01	1.98	0.01	0.05	0.07
Flot Fe	3.95	1.41	40.39	0.25	4.23	21.57	0.06	1.60	0.01	0.17	0.85
Cola	83.99	0.03	1.26	0.08	0.50	2.03	0.03	1.06	0.07	0.42	1.70
Cabeza	100	0.17	15.17	0.31	1.02	2.89					

%Recuperación

	Au%	Ag%	%Pb	%Zn	%Fe
Conc Pb	10.21	5.09	13.81	0.30	0.15
Med Pb	4.56	6.68	10.42	5.68	3.77
2da flot Pb	22.02	14.43	32.72	6.01	2.52
Conc Zn	2.59	24.82	8.10	22.14	0.82
Med Zn	4.57	18.42	7.28	3.94	1.99
2da flot Zn	6.89	13.08	3.16	5.04	2.51
Flot Fe	32.53	10.52	3.12	16.31	29.44
Cola	10.21	5.09	13.81	0.30	0.15
Total	100	100	100	100	100

Prueba Siete

Etapas	min					g/t								
	T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Molienda	30	2500	500	2000	1000									
Acond.	6							28	10		26			
Flot. Pb	2													
Flot. Sec	2	500	250	1000	500			28	5		26			
Limpia Pb	1.5	300	20	500			28				26			
Acond	6	1500				800		28	27		26			
Flot. Zn	2.5													
Flot. Sec	2	1000				300			10		26			
Limpia Zn	2	500	2				28				26			
Acond	6					2000	28	28		30		6		13
Flot. Fe	3													

1. Cal, 2. NaCN, 3. ZnSO₄, 4. NaHSO₃, 5. CuSO₄, 6. P404, 7. P208, 8. X343, 9. X350, 10. A70, 11. H₂SO₄, 12. DP6, 13. E1080

Ensayes Químicos

%Recuperación

	%Peso	Au(g/t)	Ag(g/t)	%Pb	%Zn	%Fe	Au	Ag	Pb	Zn	Fe
Conc Pb	0.21	5.19	736.27	37.99	1.88	2.60	0.01	1.55	0.08	0.00	0.01
Med Pb	3.49	0.69	42.77	1.93	1.42	2.61	0.02	1.49	0.07	0.05	0.09
2da flot Pb	3.20	0.92	41.74	1.44	1.16	2.78	0.03	1.34	0.05	0.04	0.09
Conc Zn	0.87	1.49	523.34	3.10	44.44	4.51	0.01	4.55	0.03	0.39	0.04
Med Zn	1.61	0.20	148.64	0.88	2.19	3.02	0.00	2.39	0.01	0.04	0.05
2da flot Zn	2.18	0.74	142.59	0.65	12.77	4.35	0.02	3.11	0.01	0.28	0.09
Flot Fe	0.94	4.79	33.02	0.51	2.60	39.51	0.05	0.31	0.00	0.02	0.37
Cola	87.5	1.18	0.26	0.267	1.80	10.014	0.0147	0.00	0.00	0.02	0.125
Cabeza	100	0.17	15.56	0.30	1.08	2.50					

%Recuperación

	Au%	Ag%	%Pb	%Zn	%Fe
Conc Pb	6.30	9.94	26.61	0.36	0.22
Med Pb	13.99	9.59	22.48	4.57	3.63
2da flot Pb	17.04	8.58	15.34	3.41	3.55
Conc Zn	7.50	29.26	9.00	35.62	1.57
Med Zn	1.90	15.38	4.74	3.25	1.94
2da flot Zn	9.31	19.97	4.74	25.65	3.78
Flot Fe	26.01	1.99	1.60	2.26	14.81
Cola	8.49	0.02	1.11	2.08	4.99
Total	100	100	100	100	100

Prueba de 3 ciclos

Etapas	min					g/t								
	T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Molienda	30	1000	500	2000	1000									
Acond.	6							28	10		26			
Flot. Pb	2													
Limpia Pb	1.5	300	20			500		28			26			
Acond	6	800				800			27		26	6		
Flot. Zn	4													
Limpia Zn	1.5	500	2								26			
Acond	6					2000	28	28		30		7		13
Flot. Fe	2													
Limpia Fe	2							28						13

1. Cal, 2. NaCN, 3. ZnSO₄, 4. NaHSO₃, 5. CuSO₄, 6. P404, 7. P208, 8. X343, 9. X350, 10. A70, 11. H₂SO₄, 12. DP6, 13. E1080

Ensayes Químicos

Contenido metálico

	%Peso	Au(g/t)	Ag(g/t)	%Pb	%Zn	%Fe	Au	Ag	Pb	Zn	Fe
Conc de Pb	0.39	16.10	1076.70	35.30	2.02	2.84	0.06	4.20	0.14	0.01	0.01
Conc de Zn	1.01	0.65	401.89	4.79	45.42	4.31	0.01	4.06	0.05	0.46	0.04
Conc Fe	3.40	3.93	112.62	2.32	3.18	22.68	0.13	3.83	0.08	0.11	0.77
Cola	95.20	0.01	1.87	0.06	0.33	1.93	0.00	1.78	0.05	0.31	1.84
Cabeza	100	0.20	13.86	0.31	0.88	2.66					

Recuperación

	%Au	%Ag	%Pb	%Zn	%Fe
Conc de Pb	30.25	30.28	43.28	0.89	0.41
Conc de Zn	3.16	29.27	15.21	51.89	1.63
Conc Fe	64.30	27.61	24.75	12.23	28.93
Cola	2.29	12.84	16.76	34.99	69.02
Cabeza	30.25	30.28	43.28	0.89	0.41

Prueba de cinco ciclos

Etapas	min					g/t									
	T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Molienda	30	1000	500	2000	1000										
Acond.	6							28	10		26				
Flot. Pb	2														
Limpia Pb	1.5	200	10			500		28			26				
Acond	6	800				700			27		26	6		13	
Flot. Zn	2														
Limpia Zn	1.5	300	1								26				
Acond	6					2000	28	28		30		7		13	
Flot. Fe	2														
Limpia Fe	2							28						13	

1. Cal, 2. NaCN, 3. ZnSO₄, 4. NaHSO₃, 5. CuSO₄, 6. P404, 7. P208, 8. X343, 9. X350, 10. A70, 11. H₂SO₄, 12. DP6, 13. E1080

Ensayes Químicos

Contenido metálico

	%Peso	Au(g/t)	Ag(g/t)	%Pb	%Zn	%Fe	Au	Ag	Pb	Zn	Fe
Conc Pb	0.41	3.32	1682.5	30.56	2.64	2.86	0.01	6.90	0.13	0.01	0.01
Conc Zn	1.18	4.18	234	1.91	39.8	39.8	0.05	2.78	0.02	0.47	0.05
Conc Fe	3.3	3.79	197.60	1.01	4.43	29.21	0.13	6.52	0.03	0.15	0.96
Cola	95.11	0.02	2.84	0.06	0.34	1.93	0.02	2.70	0.05	0.33	1.84
Cabeza	100	0.20	18.90	0.23	0.95	2.86					

%Recuperación

	Au%	Ag%	%Pb	%Zn	%Fe
Conc de Pb	6.6	36.49	53.22	1.13	0.41
Conc de Zn	23.98	14.72	9.6	49.42	1.71
Conc Fe	60.66	34.5	14.16	15.33	33.66
Cola	8.76	14.29	23.02	34.11	64.21
Cabeza	100	100	100	100	100

Prueba de seis ciclos

Etapas	min					g/t								
	T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Molienda	30	1000	500	2000	1000									
Acond.	6							28	10		26			
Flot. Pb	2													
Limpia Pb	1	200	5	500				28			26			
Acond	6	800				700			25		26			13
Flot. Zn	2													
Limpia Zn	1.5	300	10								26			
Acond	6					2000	28	28		30		7		13
Flot. Fe	2													
Limpia Fe	2							28						13

1. Cal, 2. NaCN, 3. ZnSO₄, 4. NaHSO₃, 5. CuSO₄, 6. P404, 7. P208, 8. X343, 9. X350, 10. A70, 11. H₂SO₄, 12. DP6, 13. E1080

Ensayes Químicos

Contenido metálico

	%Peso	Au(g/t)	Ag(g/t)	%Pb	%Zn	%Fe	Au	Ag	Pb	Zn	Fe
Conc Pb	0.88	0.89	835.98	25.82	2.78	3.05	0.01	7.36	0.23	0.02	0.03
Conc Zn	1.03	8.42	80.15	7.70	47.02	3.79	0.09	0.83	0.08	0.48	0.04
Conc Fe	3.34	3.08	239.77	0.96	3.18	25.61	0.10	8.01	0.03	0.11	0.86
Cola	94.75	0.02	3.93	0.05	0.30	2.09	0.02	3.72	0.05	0.28	1.98
Cabeza	100	0.212	19.91	0.389	0.89	2.90					

%Recuperación

	Au%	Ag%	%Pb	%Zn	%Fe
Conc de Pb	3.67	36.94	58.27	2.72	0.93
Conc de Zn	40.77	4.15	20.35	53.92	1.34
Conc Fe	48.44	40.21	8.26	11.81	29.45
Cola	7.13	18.70	13.12	31.54	68.28
Cabeza	100	100	100	100	100

ANEXO B. ANALISIS FRX, DRX

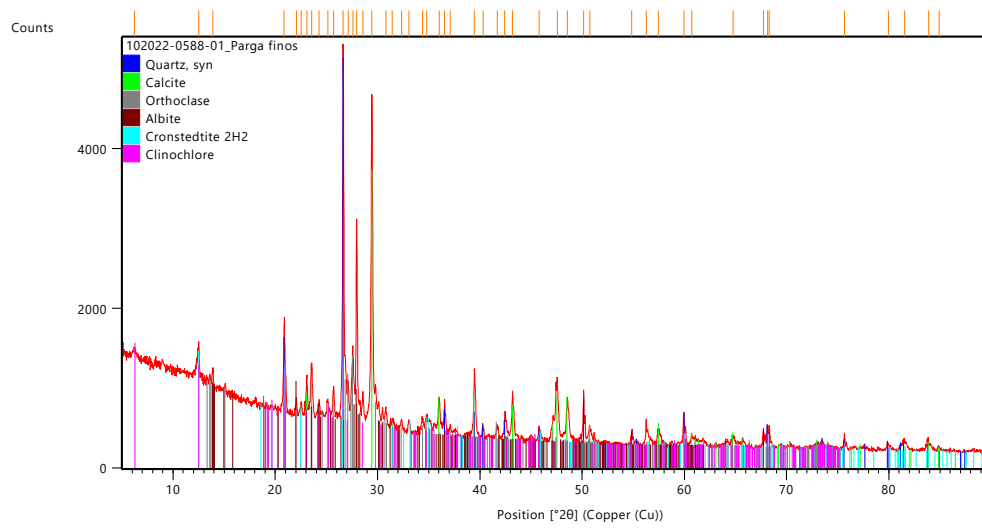
Fluorescencia de Rayos X (FRX)

<i>Elemento</i>		<i>Composición (% peso)</i>	
		<i>finos</i>	<i>gruesos</i>
<i>O</i>	Oxígeno	50.01	23.58
<i>Na</i>	Sodio	0.79	-
<i>Mg</i>	Magnesio	0.57	0.36
<i>Al</i>	Aluminio	4.72	3.11
<i>Si</i>	Silicio	17.73	18.7
<i>P</i>	Fósforo	0.05	0.02
<i>S</i>	Azufre	0.71	14.48
<i>Cl</i>	Cloro	0.01	0.01
<i>K</i>	Potasio	3.16	2.48
<i>Ca</i>	Calcio	17.01	0.92
<i>Ti</i>	Titanio	0.2	0.1
<i>V</i>	Vanadio	0.01	-
<i>Mn</i>	Manganeso	0.14	0.17
<i>Fe</i>	Hierro	3.12	7.01
<i>Cu</i>	Cobre	0.03	0.25
<i>Zn</i>	Zinc	1.18	17.98
<i>As</i>	Arsénico	0.06	0.07
<i>Rb</i>	Rubidio	0.02	0.02
<i>Ag</i>	Plata	-	0.05
<i>Cd</i>	Cadmio	-	0.23
<i>Ba</i>	Bario	0.13	0.11
<i>Pb</i>	Plomo	0.32	10.33

Difracción de Rayos X (DRX)

Especies identificadas		Composición (% Peso)	
		<i>finos</i>	<i>gruesos</i>
<i>Calcita</i>	CaCO ₃	35	-
<i>Ortoclasa</i>	K(AlSi ₃ O ₈)	22	17
<i>Cuarzo</i>	SiO ₂	16	28
<i>Albita</i>	NaAlSi ₃ O ₈	9	-
<i>Cronstedtita</i>	Fe ₃ (Si _{1.44} Fe _{0.56}) O ₅ (O H) ₄	6	2
<i>Clinoclora</i>	(Mg _{11.148} Fe _{0.852}) ((Si _{4.99} Al _{3.01}) O ₂₀ (OH) ₁₆)	2	-
<i>Esfalerita</i>	Zn _{0.8} Fe _{0.2} S	-	32
<i>Galena</i>	PbS	-	12
<i>Pirita</i>	FeS ₂	-	4
<i>Otros*</i>		10	5

Finos



Gruesos

