

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**METALÚRGICA**



**T E S I S**

**Evaluación Metalúrgica del Reactivo Colector Secundario MT-4095  
para el mejoramiento en la Recuperación de Plata en Pan American  
Silver - Huarón S.A. - 2024**

**Para optar el título profesional de  
Ingeniero Metalurgista**

**Autores:**

**Bach. Jean Carlo MAYTA ESPINOZA**

**Bach. Kevin Dario MAYTA ESPINOZA**

**Asesor:**

**Dr. Hildebrando Anival CONDOR GARCIA**

**Cerro de Pasco – Perú – 2024**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**METALÚRGICA**



**T E S I S**

**Evaluación Metalúrgica del Reactivo Colector Secundario MT-4095  
para el mejoramiento en la Recuperación de Plata en Pan American  
Silver - Huarón S.A. - 2024**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

Dr. Eusebio ROQUE HUAMAN

**PRESIDENTE**

---

Dr. Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO

**MIEMBRO**

---

Mg. Manuel Antonio HUAMAN DE LA CRUZ

**MIEMBRO**



**Universidad Nacional Daniel Alcides  
Carrión Facultad de Ingeniería  
Unidad de Investigación**

**INFORME DE ORIGINALIDAD N° 170-2024-UNDAC/UIFI**

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

**Evaluación Metalúrgica del Reactivo Colector Secundario MT-4095  
para el mejoramiento en la Recuperación de Plata en Pan American  
Silver - Huarón S.A. – 2024**

Apellidos y nombres de los tesistas:

**Bach. Mayta Espinoza, Jean Carlo  
Bach: Mayta Espinoza, Kevin Dario**

Apellidos y nombres del Asesor:

**Dr. CÓNDR GARCÍA, Hildebrando Anival**

Escuela de Formación Profesional

**Ingeniería Metalúrgica**

Índice de Similitud

**16 %**

**APROBADO**

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 17 de setiembre del 2024



Firmado digitalmente por: MEJIA  
CANCERES Reynaldo FAU  
20154905546 ucR  
Módulo: Soy el autor del documento  
Fecha: 17.09.2024 19:45:16 -05:00

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación lo dedicamos principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza día a día para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A nuestros padres y hermana por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos.

## **AGRADECIMIENTO**

En el trabajo de investigación realizada deseo expresar mis sinceros agradecimientos a mis familiares por el apoyo brindado en cada momento, a los docentes de la E. F. P. de Ingeniería Metalúrgica por la dedicación presentada en mi formación profesional, a los Ingenieros de la Unidad Minera Huarón - Pasco, por permitirme desarrollar el trabajo de investigación.

A mis amigos que han estado en mi entorno que nunca lo olvidaré.

## RESUMEN

El trabajo de investigación (tesis) intitulado “evaluación metalúrgica del reactivo colector secundario MT-4095 para el mejoramiento en la recuperación de plata en Pan American Silver - Unidad Huarón, presentando como objetivo evaluar metalúrgicamente el reactivo colector secundario MT-4095 para el mejoramiento en la recuperación de plata, con el método de investigación aplicada, tipo de investigación experimental, diseño de investigación explicativa y como conminución se realiza pruebas metalúrgicas al mineral compositado el producto final de chancado lo que viene a ser alimento a la molienda de la planta concentradora. Se concluye que al tener buenos resultados a nivel batch con el reactivo colector secundario MT-4095 al incrementar al proceso muestra resultados muy aceptables y considerables con respecto al mineral en estudio, el cual se debe programar al corto plazo una prueba industrial, y evaluar su efectividad en Planta Concentradora, también es relevante su aporte ya que esto indicaría que el uso de este reactivo pueden mantener por lo menos la performance metalúrgica de plata, cobre y plomo del proceso estándar sin la necesidad de incrementar el consumo.

Los resultados de los balances proyectados estándar se obtienen recuperaciones de plata total de 82,34%, con el reactivo MT 4095 se obtiene recuperación de plata 84,86% prueba N°1, 84,37% prueba N°2 y 83,68% prueba N°3, las tendencias son claras que con el uso del reactivo MT 4095 la recuperación se incrementa mostrando los resultados del uso del reactivo colector secundario, las tendencias son claras para poder usarlo a nivel industrial.

Los contenidos de los valores de plata en concentrado de cobre muestran los siguiente: 7251,39 g/t, 7910,73 g/t, 7568,73 g/t y 7200,36 g/t respectivamente. Los contenidos de los valores de plata en concentrado de plomo muestran los siguiente:

2375,65 g/t, 2068,32 g/t, 1941,48 g/t y 2194,12 g/t respectivamente. Los contenidos de los valores de plata en concentrado de zinc muestran los siguiente: 189,13 g/t, 316,51 g/t, 154,70 g/t y 179.66 g/t respectivamente.

El concentrado de cobre muestra una calidad de 24,66% contenido de plata 7251,39 g/t, contenido de plomo 9,77%, activación de zinc 7,74%, contenido de hierro 7,15%, contenido de arsénico 7,33% y contenido de antimonio 6,48% con recuperación 58,69%. muestra un concentrado con buena concentración de plata y es importante controlar la presencia de arsénico todo con respecto a la prueba estándar.

El concentrado de cobre muestra una calidad de 25,45% contenido de plata 7910,73 g/t, contenido de plomo 14,03%, activación de zinc 4,05%, contenido de hierro 9,34%, contenido de arsénico 8,32% y contenido de antimonio 6,59% con recuperación 61,50%. muestra un concentrado con buena concentración de plata y es importante controlar la presencia de arsénico todo con respecto a la prueba N°1.

El concentrado de cobre muestra una calidad de 24,46% contenido de plata 7568,63 g/t, contenido de plomo 8,75%, activación de zinc 5,30 %, contenido de hierro 11,34%, contenido de arsénico 5,86% y contenido de antimonio 7,02% con recuperación 65,85%. muestra un concentrado con buena concentración de plata y es importante controlar la presencia de arsénico todo con respecto a la prueba N°2.

El concentrado de cobre muestra una calidad de 25,49% contenido de plata 7200,36 g/t, contenido de plomo 8,19%, activación de zinc 6,01 %, contenido de hierro 8,07%, contenido de arsénico 6,07% y contenido de antimonio 5,43% con recuperación 59,52%. muestra un concentrado con buena concentración de plata y es importante controlar la presencia de arsénico todo con respecto a la prueba N°3. Las recuperaciones del plomo muestran 81,92%, 77,06%, 83,48% y 81,43% respectivamente, los resultados muestran las mismas tendencias.

La plata está muy correlacionada positivamente con el antimonio y cobre ( $\text{Ag-Sb}^+=21,54$  y  $\text{Ag-Cu}^+=89,20$ ) se podría predominar presencia de argentotetraedrita ( $\text{Ag}_{10}(\text{Fe,Zn})_2\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ ), la plata tiene una correlación con antimonio ( $\text{Ag-Sb}^+=21,54$ ) posible presencia de pirargirita ( $\text{Ag}_3\text{SbS}_3$ ), el cobre muestra una correlación positiva entre los elementos de plomo y antimonio ( $\text{Cu-Pb}^+=78,98$ ,  $\text{Cu-Sb}^+=23,74$  y  $\text{Pb-Sb}^+=19,95$ ), el cual se podría denominar posible presencia de Bournonita ( $\text{PbCuSbS}_3$ ), el contenido de cobre muestra una correlación positiva con arsénico ( $\text{Cu-As}^+=11,06$ ) se podría denominar posible presencia de Luzonita ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ ) en altas cantidades, altas correlaciones positivas entre los valores de plata, cobre, plomo, hierro, bismuto y antimonio muestran correlaciones positivas y tiene relación con la presencia de un mayor contenido de plata, se podría mencionar presencia de Cobres Grises, lo que llamaríamos sulfosales de plata (SFAg).

**Palabras Claves:** Evaluación metalúrgica del reactivo y recuperación de plata



## ABSTRACT

The research work (thesis) entitled “metallurgical evaluation of the secondary collector reagent mt-4095 for the improvement in silver recovery at pan american silver - huarón unit, presenting as an objective metallurgically evaluating the secondary collector reagent MT-4095 for the improvement in the recovery of silver, with the applied research method, type of experimental research, quasi-experimental research design and as a comminution, metallurgical tests are carried out on the composite mineral, the final crushing product, which becomes food for the grinding of the concentrator plant. it is concluded that by having good results at batch level with the secondary collector reagent MT 4095, when increasing the process, it shows very acceptable and considerable results with respect to the mineral under study, which an industrial test should be scheduled in the short term, and its effectiveness evaluated. in the concentrator plant, its contribution is also relevant since this would indicate that the use of this reagent can maintain at least the metallurgical performance of silver, copper and lead of the standard process without the need to increase consumption.

The results of the standard projected balances are obtained total silver recoveries of 82.34%, with the MT 4095 reagent silver recovery is obtained 84.86% test n°1, 84.37% test n°2 and 83.68 % test n°3, the trends are clear that with the use of the MT 4095 reagent the recovery increases, showing the results of the use of the secondary collector reagent, the trends are clear to be able to use it at an industrial level.

The contents of silver values in copper concentrate show the following: 7251.39 g/t, 7910.73 g/t, 7568.73 g/t and 7200.36 g/t respectively. the contents of silver values in lead concentrate show the following: 2375.65 g/t, 2068.32 g/t, 1941.48 g/t and 2194.12 g/t respectively. the contents of silver values in zinc concentrate show the following: 189.13 g/t, 316.51 g/t, 154.70 g/t and 179.66 g/t respectively.

The copper concentrate shows a quality of 24.66% silver content 7251.39 g/t, lead content 9,77%, zinc activation 7,74%, iron content 7,15%, arsenic content 7,33% and antimony content 6,42% with recovery 58.69%. shows a concentrate with a good concentration of silver and it is important to control the presence of arsenic with respect to the standard test.

The copper concentrate shows a quality of 25.45% silver content 7910.73 g/t, lead content 14.03%, zinc activation 4.05%, iron content 9.34%, arsenic content 8 .32% and antimony content 6.59% with recovery 61.50%. it shows a concentrate with a good concentration of silver and it is important to control the presence of arsenic, all with respect to test n°1.

The copper concentrate shows a quality of 24.46% silver content 7568.63 g/t, lead content 8.75%, zinc activation 5.30%, iron content 11.34%, arsenic content 5 .86% and antimony content 7.02% with recovery 65.85%. it shows a concentrate with a good concentration of silver and it is important to control the presence of arsenic, all with respect to test n°2.

The copper concentrate shows a quality of 25.49% silver content 7200.36 g/t, lead content 8.19%, zinc activation 6.01%, iron content 8.07%, arsenic content 6 .07% and antimony content 5.43% with recovery 59.52%. it shows a concentrate with a good concentration of silver and it is important to control the presence of arsenic, all with respect to test n°3. the lead recoveries show 81.92%, 77.06%, 83.48% and 81.43% respectively, the results show the same trends.

Silver is very positively correlated with antimony and copper ( $Ag-Sb=+21.54$  and  $Ag-Cu=+89.20$ ), the presence of argentotetrahedrite ( $Ag_{10}(Fe,Zn)_2Sb_4S_3$ ) could predominate, silver has a correlation with antimony ( $Ag-Sb=+21.54$ ) possible presence of pyrargyrite ( $Ag_3SbS_3$ ), copper shows a positive correlation between the elements of

lead and antimony (Cu-Pb=+78.98, Cu-Sb=+23.74 and Pb-Sb=+19.95), which could be called possible presence of bourmonite ( $\text{PbCuSbS}_3$ ), the copper content shows a positive correlation with arsenic (Cu-As=+11.06) could be called possible presence of luzonite ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ ) in high quantities, high positive correlations between the values of silver, copper, lead, iron, bismuth and antimony show positive correlations and is related to the presence of a higher silver content, the presence of copper could be mentioned grays, what we would call silver sulfosalts (SFAg).

**Keywords:** Metallurgical evaluation of the reagent and silver recovery

## INTRODUCCIÓN

El Perú es un país netamente minero por los importantes yacimientos que posee su territorio, la minería juega un rol importante desde la época de la colonia donde se exportaron en forma de pallaqueo la plata y mercurio, la historia manifiesta que los minerales provenientes de Latinoamérica permitieron la subsistencia económica de Europa. Minera Huarón de Pan American Silver enclavada en la sierra central perteneciente a la región Pasco. En la minera Huarón procesa minerales con contenido metálico de plomo, plata y zinc con una mineralogía muy variable, entre las que se encuentran especies mineralógicas como la galena argentífera, el zinc en forma de esfalerita, estos minerales previa evaluación ingresan a la planta concentradora para obtener concentrados de plata-plomo y zinc. La mayor parte de la ganga está conformada por silicatos como la rodonita y sulfosales de plata-plomo y Cobre.

El trabajo de investigación consta de un formato que está diseñado por el reglamento de grados y títulos donde se incluye lo siguiente:

**Capítulo I.** Problema de investigación: identificación y determinación del problema, formulación del problema, formulación de objetivos, justificación de la investigación, limitaciones de la investigación.

**Capítulo II.** Marco teórico: antecedentes de estudio, bases teóricas – científicas, definición de términos básicos, formulación de hipótesis, identificación de variables, definición operacional de variables e indicadores.

**Capítulo III.** Metodología y técnicas de investigación: tipo de investigación, métodos de investigación, diseño de investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, técnicas de procesamiento y análisis de datos, tratamiento estadístico, selección validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación, orientación ética.

**Capítulo IV.** Resultados y discusión: descripción del trabajo de campo, presentación, análisis e interpretación de resultados, prueba de hipótesis, discusión de resultados.

Las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

## ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

### CAPÍTULO I

#### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la investigación.....	2
1.3. Formulación del problema .....	3
1.3.1. Problema general.....	3
1.3.2. Problemas específicos .....	3
1.4. Formulación de objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo general .....	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Justificación de la investigación .....	4
1.6. Limitaciones de la investigación.....	5

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio.....	6
2.2. Bases teóricas – científicas .....	8

2.2.1.	Termodinámica de la flotación: .....	8
2.2.2.	Fenómenos eléctricos en la interfase mineral-agua:.....	9
2.2.3.	Modelos de la doble capa eléctrica:.....	13
2.2.4.	Potencial electrocinética o potencial zeta.....	14
2.2.5.	Hidratación .....	16
2.2.6.	Isomorfismo.....	16
2.2.7.	Ángulo de contacto.....	17
2.2.8.	Fenómeno de adsorción.....	18
2.2.9.	Tipos de adsorción.....	20
2.2.10.	Tensión superficial.....	21
2.3.	Definición de términos básicos .....	23
2.4.	Formulación de hipótesis .....	24
2.4.1.	Hipótesis general .....	24
2.4.2.	Hipótesis específica .....	24
2.5.	Identificación de variables .....	25
2.5.1.	Variable independiente .....	25
2.5.2.	Variable dependiente .....	25
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores .....	25

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

3.1.	Tipo de Investigación.....	26
3.2.	Nivel de investigación.....	26

3.3. Métodos de investigación.....	26
3.4. Diseño de investigación .....	27
3.5. Población y muestra .....	27
3.5.1. Población .....	27
3.5.2. Muestra .....	28
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	28
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	29
3.8. Tratamiento estadístico .....	29
3.9. Orientación ética filosófica y epistémica .....	30

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. Descripción del trabajo de campo .....	31
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados. ....	33
4.2.1. Identificación del mineral.....	33
4.2.2. Pruebas de moliendabilidad.....	34
4.2.3. Determinación del Work Index comparativo.....	36
4.2.4. Flotación de Sulfuros.....	37
4.2.5. Cinética de flotación bulk/zinc.....	41
4.3. Prueba de Hipótesis.....	48
4.3.1. Regresiones entre elementos químicos.....	48
4.3.2. Estudios de microscopia óptica mineral .....	52
4.4. Discusión de resultados.....	56



CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Reservas y Recursos de la Compañía Minera Huarón</i> .....	28
<i>Tabla 2 Ensayes químicos de la muestra</i> .....	33
<i>Tabla 3 Tiempo de Molienda Mineral</i> .....	35
<i>Tabla 4 Índice de trabajo mediante la dureza</i> .....	37
<i>Tabla 5 Condiciones para la Prueba de Flotación Batch.</i> .....	38
<i>Tabla 6 Cinéticas de Flotación Bulk - ESTANDAR</i> .....	42
<i>Tabla 7 Cinéticas de Flotación Zinc - ESTANDAR</i> .....	43
<i>Tabla 8 Cinéticas de Flotación Bulk – MT 4095</i> .....	45
<i>Tabla 9 Cinéticas de Flotación Zinc – MT 4095</i> .....	47
<i>Tabla 10 Regresiones cinética selectivo circuito bulk</i> .....	49
<i>Tabla 11 Regresiones cinética selectiva circuito zinc</i> .....	51
<i>Tabla 12 Prueba batch estándar</i> .....	55
<i>Tabla 13 Prueba batch MT 4095 prueba I</i> .....	56
<i>Tabla 14 Prueba batch MT 4095 prueba II</i> .....	57
<i>Tabla 15 Prueba batch MT 4095 prueba III</i> .....	57

## ÍNDICE DE FIGURAS:

<i>Figura 1 La formación de la doble capa eléctrica.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 2 Doble capa eléctrica .....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 3 Potencial zeta .....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 4 Teoría físico-química.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 5 Esquema del ángulo de contacto.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 6 Curva de Moliendabilidad.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 7 Curva de Cinética Bulk – STD .....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 8 Cinética de Flotación Zinc .....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 9 Curva de Cinética Bulk - STD.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 10 Cinética de Flotación Zinc .....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 11 Concentrado Bulk malla +400 .....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 12 Concentrado Bulk malla +400.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 13 Concentrado Zn malla +400.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 14 Concentrado Zinc malla +400 .....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 15 Relave Final malla +400.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 16 Relave Final malla +400.....</i>	<i>56</i>

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

Actualmente a la planta concentradora llega muestras de reactivos como son depresores, colectores, espumantes, floculantes y otros los cuales van variando de acuerdo a las empresas que lo fabrican, tratando de mitigar la contaminación ambiental por el uso de los reactivos de flotación.

En el mineral polimetálico que trata la planta concentradora es en la flotación bulk donde la plata acompaña al cobre y al plomo, pero sin embargo en el relave final se encuentra desplazamiento de plata, al ser observada por el microscopio encontramos una parte asociada a la calcopirita y otros están libres pero en partículas finas, lo cual preocupa a la gerencia, es necesario realizar investigaciones para mejorar la recuperación de la plata en los concentrados bulk para luego realizar una flotación selectiva.

Al revisar la teoría se encuentra que las partículas de mineral deben ser reducidas hasta que sea liberada es decir no deben estar en condición mixta, para que se adhiera a la espuma se debe de acondicionar la superficie del mineral con

reactivos de flotación tomando en cuenta la termodinámica y cinética de flotación, en el cual el ángulo de contacto que une la parte sólida con la burbuja de aire en un ambiente húmedo llamado pulpa, donde interviene también la carga electrostática. Que implica comprender las fuerzas que impulsan la adhesión que ayuda a determinar las condiciones óptimas en la flotación.

Si se tiene que revisar la diferencia de energía libre superficial entre las partículas mineralizadas y el agua. Las partículas mineralizadas con superficies hidrofóbicas que tiene una mayor afinidad por el aire y la hidrofílica que tiene más afinidad al agua.

## **1.2. Delimitación de la investigación**

La mina polimetálica de Huarón, situada en el distrito de Huayllay, provincia y región de Pasco en el Perú, produce plata, zinc, plomo y cobre.

Esta mina ha estado en operación desde 1912, cuando fue explotada por la empresa francesa Peñarroya. En 1987, pasó a ser propiedad de la empresa británica Hochschild. En 1998, la mina experimentó una inundación que resultó en su cierre temporal durante varios años, período en el cual se realizaron trabajos de limpieza y gestión de las aguas.

En el año 2000, Pan American Silver compró la participación mayoritaria en la mina, a través de su filial Compañía Minera Huarón S.A., reabriendo la mina al año siguiente. Durante dos décadas de operación bajo la gestión de Pan American Silver, la mina ha enfrentado varios conflictos laborales con sus empleados y problemas socioambientales con la comunidad de Huayllay.

El trabajo de investigación se viene desarrollando desde el 1 de noviembre del 2023 hasta el 30 de mayo del 2024, para ello se hizo un cronograma de Gant.

El estudio se llevará a cabo en el circuito de flotación bulk (plomo, cobre y plata), con la toma de muestras de las celdas de flotación rougher. Además, se realizarán pruebas metalúrgicas en el laboratorio experimental de química y metalurgia en batch, y los cálculos se efectuarán en la oficina de planta.

### **1.3. Formulación del problema**

#### **1.3.1. Problema general**

¿Cómo hacer la evaluación metalúrgica del reactivo colector secundario MT-4095 para el mejoramiento en la recuperación de plata en Pan American Silver Huarón?

#### **1.3.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo realizar el análisis de las propiedades químicas y de la flotación en la etapa de flotación bulk con el uso de reactivo colector secundario MT-4095?
- ¿Qué podríamos proponer como ajustes en los parámetros de operación de la planta concentradora para optimizar el rendimiento con el reactivo colector secundario MT-4095?
- ¿Cómo realizar las pruebas de flotación a escala de laboratorio utilizando muestras representativas de la mena polimetálica bajo las condiciones experimentales definidas, registrando datos de recuperación, grado de los concentrados y consumo de reactivos?

### **1.4. Formulación de objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Evaluar metalúrgicamente el reactivo colector secundario MT-4095 para el mejoramiento en la recuperación de plata en Pan American Silver Huarón.

#### 1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar las propiedades químicas y de la flotación en la etapa de flotación bulk con el uso de reactivo colector secundario.
- Proponer ajustes en los parámetros de operación de la planta concentradora para optimizar el rendimiento con el reactivo colector secundario MT-4095.
- Realizar pruebas de flotación a escala de laboratorio utilizando muestras representativas de la mena polimetálica bajo las condiciones experimentales definidas, registrando datos de recuperación, grado de los concentrados y consumo de reactivos.

#### 1.5. Justificación de la investigación

**Técnica.** En la concentración de minerales polimetálicos en el área de flotación existen diversidad de variables controlables, tales como colectores, espumantes, depresores, modificadores. En esta investigación se está evaluando el reactivo colector secundario MT-4095 para el mejoramiento en la recuperación de plata en la flotación rougher del bulk, con el objetivo de obtener resultados óptimos.

**Económica.** Un colector secundario puede ser considerado eficiente y eficaz en comparación con otros colectores si su costo es competitivo. La empresa recibe muestras de reactivos junto a los precios, lo que ofrece un doble beneficio: una recuperación óptima a menor costo y una comercialización más ventajosa de la plata, lo que resulta en mayores beneficios económicos para la empresa y, en consecuencia, para sus trabajadores.

**Medio ambiente.** La molienda es un proceso de reducción del tamaño del mineral polimetálico de quien depende la calidad y la recuperación de los

minerales valor económico y el uso de los reactivos que sean eficiente y eficaces donde se obtiene una mayor recuperación de plata en la flotación bulk al evitar la sobre molienda y el desplazamiento de minerales valiosos hacia la cancha de relave con el proceso rougher, se lograrán efectos positivos en la protección del medio ambiente, y la ecología. Además, esto contribuiría a mejorar la salud de las comunidades cercanas.

#### **1.6. Limitaciones de la investigación**

La Compañía Minera Huarón se dedica a la explotación y tratamiento de minerales polimetálicos con altos contenidos de plata, contando con un laboratorio químico metalúrgico donde se realizan diversos ensayos e investigaciones cuyos resultados son estrictamente guardados e informados a las gerencias, lo que no permite que se divulgue.

La falta de fuentes bibliográficas específicas de tratamiento de minerales polimetálicos es escasa debido a que nuestro país tiene una diversidad de minerales entre ellas esta los polimetálicos.

Condiciones en el laboratorio metalúrgico y químico son limitados, las pruebas realizadas en laboratorio se llevan a cabo en condiciones limitadas.



## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

Al revisar en la web los trabajos relacionados con el estudio de investigación que estamos proponiendo encontramos alguna de ellas que damos a conocer:

**CARTAGENA PEREZ, Edwin Reynaldo (2022)** en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa presenta su tesis de pregrado intitulado “Optimización del circuito de flotación bulk para incrementar la recuperación de plomo y plata en la planta concentradora Caylloma de la empresa minera Bateas S.A.C.” cuyo resumen presentamos:

Minera Bateas S.A.C, una filial de Fortuna Silver Mines Inc. gestiona la mina polimetálica de plata situada en el distrito de Caylloma, provincia Caylloma en el sur de Arequipa, Perú. En esta mina procesa mineral polimetálico Pb-Ag-Zn con una mineralogía muy variable, destacando la galena argentífera y la esfalerita como las principales especies mineralógicas. El estudio inicial analiza la evolución del ingreso de mineral con plomo y zinc oxidado desde los niveles

de extracción hasta la planta, utilizando gráficas y análisis estadísticos descriptivos. En una segunda fase, se establece un esquema de pruebas de flotación batch en laboratorio con los colectores A-242, GTM-700 y A-208; realizando un total de 11 pruebas, 8 con niveles seleccionados y 3 con dosis en el punto central. Los resultados de las recuperaciones para plomo, la plata y el oro mediante el programa MINITAB para identificar el colector secundario más efectivo. Finalmente, se evalúa la eficiencia del colector secundario seleccionado mediante pruebas de cinética de flotación en laboratorio, comparando las recuperaciones del reactivo colector estándar MT-738 y el colector secundario. Este análisis permite validar las hipótesis iniciales y explorar la posibilidad de mejorar los porcentajes de recuperación en la flotación bulk plomo-plata.

**AUQUI OCHOA, Anthony Alexander, (2021)** en la <universidad Nacional Del Centro del Perú en su tesis de pregrado intitulado “influencia de las variables en el proceso de la flotación de minerales polimetálicos para mejorar la productividad del circuito de zinc con aplicación de los diseños experimentales en la planta concentradora el brocal” en su resumen manifiesta:

Esta tesis tiene como objetivo principal optimizar la recuperación de zinc en la segunda etapa de flotación de minerales polimetálicos en la empresa Sociedad Minera El Brocal, donde la recuperación promedio de zinc antes del estudio era del 85%. En la planta concentradora se realizaron dos muestreos: uno del mineral fresco en la faja que alimenta la molienda primaria, y otro para el diseño de la optimización. Se programaron una serie de pruebas con el relave del circuito de bulk para optimizar las dos variables principales,  $\text{CuSO}_4$  y el colector R-405. Los rangos evaluados se establecieron en función de pruebas preliminares realizadas durante el estudio experimental (p. 45). Se realizaron aplicaciones

significativas en la activación y depresión de sulfuros de zinc y hierro, así como en las flotaciones Flash y el uso de plantillas de diseños experimentales para determinar si un nuevo colector podría reemplazar al colector convencional Z-11. Se sabe que el colector R-405 es importante por su función en la activación de esfalerita (ZnS) y la depresión de fierro (FeS<sub>2</sub>), aunque es necesario explorar alternativas más económicas debido al costo de procesamiento. La técnica de diseños experimentales, específicamente un diseño factorial 2<sup>3</sup>, se utilizó para estudiar tres variables clave: sulfato de cobre, colector R-405 y pH. La significancia estadística se evaluó mediante regresión lineal con el valor t-student, y la función respuesta fue la recuperación de Zn en el concentrado de zinc. El estudio de flotación Batch indica que el colector R-405 es una alternativa viable para reemplazar gradualmente al xantato Z-11, con el objetivo de mejorar la rentabilidad al reducir costos. Tras las pruebas experimentales utilizando un diseño factorial 2<sup>3</sup>, se encontró que CuSO<sub>4</sub> y R-405 son variables significativas con  $p < 0.05$ . En las etapas de optimización de recuperación de zinc, se emplearon diseños hexagonales para evaluar las variables sulfato de cobre (Lb/TM) y colector R-405 (Lb/TM), las cuales son cruciales para el proceso de flotación de zinc. Usando el software Minitab, se realizaron 11 pruebas experimentales en laboratorio, logrando una recuperación de zinc superior al 88%.

## **2.2. Bases teóricas – científicas**

### **2.2.1. Termodinámica de la flotación:**

Según **Linares, N.** (2010): El proceso de flotación está regido por factores termodinámicos, cinéticos e hidrodinámicos del sistema. Estos factores incluyen aspectos clave como:

- La generación de una superficie hidrofóbica en un mineral específico (condición termodinámica).
- La provisión de tiempo suficiente para que la partícula hidrofóbica se adhiera a la burbuja de aire (condición cinética).
- La estabilización de los agregados partícula-burbuja bajo el flujo de pulpa dominante (condición hidrodinámica)

La combinación de estos principios convierte a la flotación de espumas en un proceso selectivo utilizado para realizar separaciones específicas en minerales de menas complejas, como Cu-Pb-Zn, Pb-Zn, Cu-Zn, así como en menas menos complejas como Cu, Cu-Mo, Pb(Ag), Fe(Au), entre otros. También se aplica a menas de minerales óxidos y no metálicos, incluyendo carbón fino, azufre y talco.

Para comprender, interpretar y evaluar adecuadamente los procesos metalúrgicos involucrados en la concentración de minerales, es esencial estudiar las principales propiedades físicas y químicas de las superficies minerales, como sulfuros, óxidos, carbonatos, silicatos y sales solubles. Esto incluye la química de superficies, fases e interfases, ya que es fundamental entender las interacciones entre las fases sólidas, líquidas y gaseosas, así como las interfases que se forman entre ellas.

La teoría de la flotación de espumas es compleja y no está completamente desarrollada. No obstante, se han logrado avances significativos en la investigación de este crucial proceso para la flotación de minerales.

### **2.2.2. Fenómenos eléctricos en la interfase mineral-agua:**

Manifiesta **Linares, N.** (2010): Entre las propiedades superficiales relevantes se encuentran la carga superficial y el potencial eléctrico en la

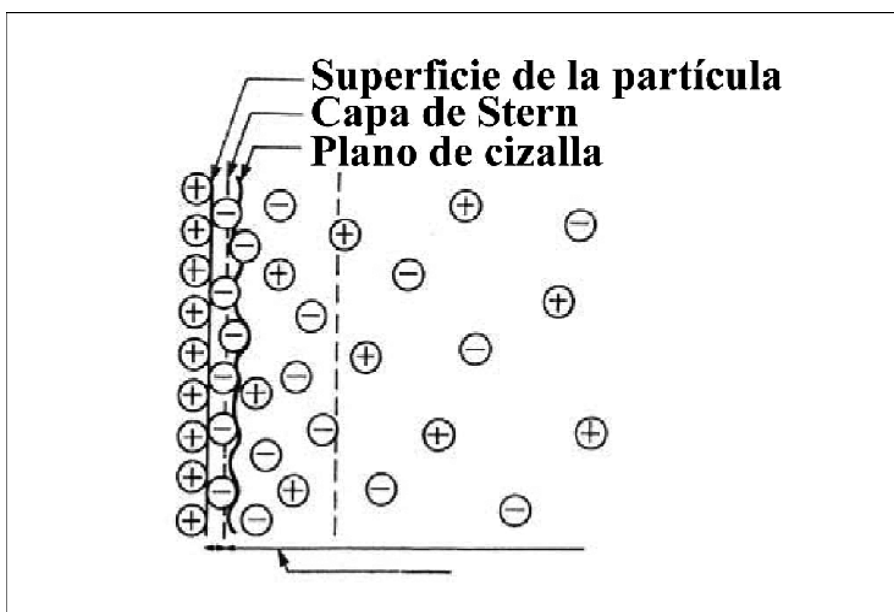
interfase, específicamente en la interfase mineral-agua (o mineral-pulpa), donde se forma una doble capa eléctrica que equilibra la carga global del sistema. Esta doble capa influye en el comportamiento de la superficie mineral y su interacción con los reactivos químicos, siendo un factor clave en los procesos de separación químico-superficial.

La doble capa eléctrica en la interfase mineral-agua puede compararse con un condensador eléctrico o impedancia, y puede ser estudiada experimentalmente para caracterizar las superficies o reacciones superficiales. La carga superficial puede originarse por varios factores, como:

- Distribución desigual de iones constituyentes,
- Ionización de superficies minerales,
- Adsorción específica de iones de la solución,
- Sustitución isomorfa,
- Orientación dipolar.

La estructura idealizada de una doble capa eléctrica para una superficie cargada positivamente y negativamente se ilustra en la figura:

**Figura 1 La formación de la doble capa eléctrica**



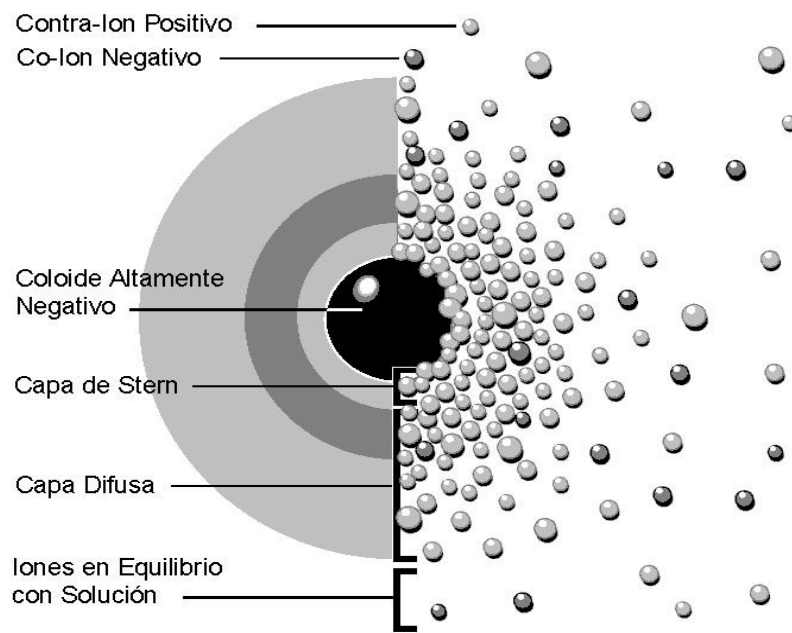
**Nota:** Capa eléctrica ocurre cuando las dobles capas de dos partículas se superponen, resultando en un potencial eléctrico elevado en esa área, debido a una distribución aniónica y catiónica que excede el equilibrio normal.

### **Procesamiento de minerales II - [Antonio Barba-Juan](#).**

El diagrama conocido como el modelo de Stern de la doble capa eléctrica muestra que los iones adsorbidos en la superficie mineral determinan la carga superficial. Estos iones pueden ser componentes del mineral, iones de hidrógeno ( $H^+$ ), iones hidroxilo ( $OH^-$ ), iones de colectores que forman sales insolubles con los iones superficiales del mineral, o iones que generan complejos con los iones en la superficie mineral.

En el caso b, los iones positivos en la solución son atraídos hacia la superficie del mineral, formando un plano de carga positiva. Esta carga es equilibrada por una capa menos estructurada de iones negativos en la solución, conocidos como contraiones, que constituyen la capa difusa (o capa de Gouy) para mantener la neutralidad eléctrica.

**Figura 2 Doble capa eléctrica**



**NOTA:** Para visualizar el ambiente que rodea a una partícula cargada.

[www.malvern.co.uk](http://www.malvern.co.uk)

Existe una disminución del potencial eléctrico a través de la doble capa, que varía desde el potencial superficial en la superficie hasta cero en la solución o pulpa circundante. La doble capa eléctrica, que se define según la distancia, delta, de la superficie mineral, se compone de:

- Una primera capa de potencial eléctrico asociada a la superficie cargada.
- Una segunda capa de potencial eléctrico, en contacto directo con la primera capa de iones específicos adsorbidos, denominada potencial de Stern.
- Una tercera capa de potencial que marca el límite entre la solución adherida a la superficie y la solución móvil, conocida como potencial electrocinética o potencial zeta.

Los fenómenos de adsorción en la interfase mineral/agua suelen estar regulados por la doble capa eléctrica. Esta se define como la atmósfera de iones de carga opuesta que atrae la carga eléctrica de los sólidos en una pulpa acuosa;

la carga superficial combinada con la atmósfera difusa forma la doble capa eléctrica. Las zonas de la doble capa eléctrica incluyen la carga superficial, la capa de Stern (compuesta por iones en la fase acuosa cercana a la superficie) y la fase líquida.

### **2.2.3. Modelos de la doble capa eléctrica:**

Para **Linares, N.** (2010) los modelos de la doble capa eléctrica están dada en:

- **Modelo simple con dos zonas de carga:** En el modelo más elemental de la doble capa eléctrica, se distinguen solo dos zonas de carga: la carga superficial y la capa de Gouy. Este modelo es aproximadamente válido cuando el enlace de adsorción es exclusivamente electrostático, sin enlaces químicos primarios involucrados. En este caso, los iones en la capa de Gouy están completamente hidratados y no se acercan a la superficie más allá de sus radios de hidratación.
- **Modelos con tres zonas de carga:** Cuando ocurre adsorción específica, la doble capa eléctrica se describe con tres zonas de carga: la carga superficial, la carga específicamente adsorbida y la carga en la capa de Gouy. Los iones adsorbidos específicamente se acercan más a la superficie que los iones no específicamente adsorbidos.
- En resumen, las propiedades de la doble capa eléctrica de un mineral pueden influir en el rendimiento del proceso de separación de partículas por flotación de las siguientes maneras:
- El signo y la magnitud de la carga superficial afectan la adsorción de reactivos de flotación adsorbidos físicamente.

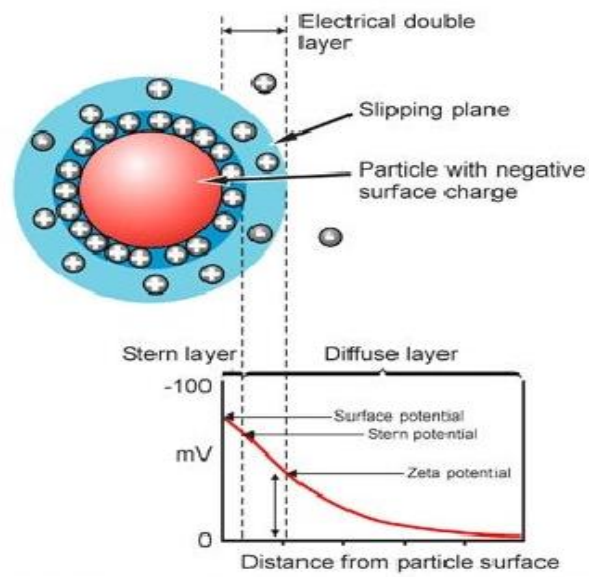


- Una carga superficial elevada puede inhibir la quimisorción de colectores adsorbidos químicamente.
- La extensión de la floculación y dispersión de minerales en suspensión está regulada por la doble capa eléctrica.
- La formación y magnitud de la cobertura de lamas son determinadas por la interacción de la doble capa eléctrica.
- La cinética de flotación depende de la doble capa eléctrica, incluyendo la velocidad de adelgazamiento de la película de agua, que también impacta en la unión partícula-burbuja

#### **2.2.4. Potencial electrocinética o potencial zeta.**

Al revisar el libro de **Apaza, O.** (2015), Se señala que cuando hay un movimiento relativo entre el sólido y el líquido, los iones en la capa de Stern permanecen firmemente adheridos a la superficie del sólido, mientras que los iones en la capa difusa se desplazan junto con el líquido. Este movimiento crea un plano de separación entre las dos capas, resultando en un potencial eléctrico entre ambas superficies, conocido como potencial electrocinética o potencial zeta, representado por “ $\xi$ ”.

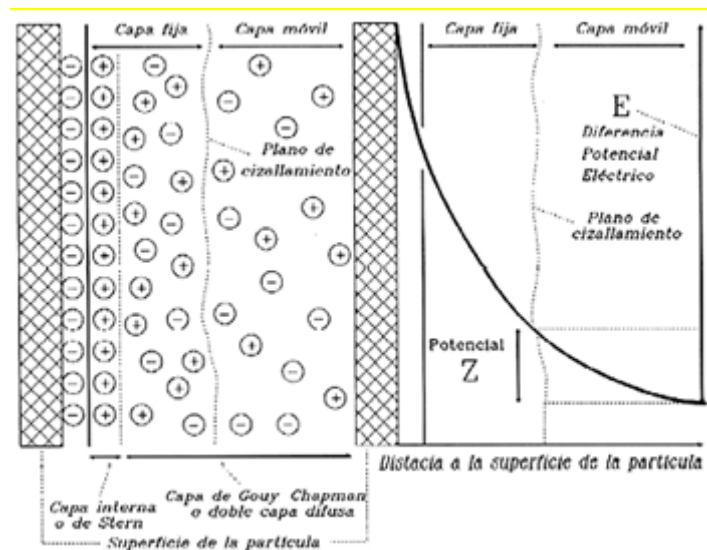
**Figura 3 Potencial zeta**



NOTA: <https://www.malvernpanalytical.com>

El pH en el que el potencial superficial alcanza cero se conoce como el punto cero de carga (PCC). Por otro lado, el pH en el que la potencial zeta es cero se denomina punto isoeléctrico (IEP).

**Figura 4 Teoría físico-química**



**Nota:** Explican la estabilidad de las partículas en la potencial zeta.

**FUENTE:** Fundamentos de flotación de minerales

### **2.2.5. Hidratación**

**Apaza, O.** (2015) nos da a conocer que, Durante el proceso de conminución, al fracturarse una partícula mineral con enlace iónico, su superficie se carga eléctricamente en los puntos donde se ha roto la celda iónica. Cuando esta partícula se sumerge en agua, se somete a un proceso de hidratación que varía según las características eléctricas de la superficie, formando un lecho hidratado con propiedades distintas al agua, como lo ha descrito Derjagin. Frumkin ha señalado que el grosor del lecho hidratado es inversamente proporcional a las propiedades de repelencia al agua de la superficie, y que existe una relación entre el ángulo de contacto y el grosor del lecho hidratado. Según esta relación, un lecho hidratado más delgado se asocia con un ángulo de contacto mayor y una mayor repelencia al agua de la superficie mineral. Además, en cualquier proceso de adsorción, la formación de la capa hidratada es exotérmica; la cantidad de calor liberado refleja el trabajo realizado para humedecer la superficie y la intensidad con la que el agua se adhiere al mineral. Este fenómeno también se aplica a los iones minerales, donde el trabajo necesario para la hidratación es inversamente proporcional al radio del catión; es decir, a mayor carga y menor diámetro del ion, mayor será su hidratación.

### **2.2.6. Isomorfismo**

**Apaza, O.** (2015) dice que: Es importante analizar los factores estructurales y otros elementos que cambian según las condiciones de formación o génesis del mineral en los yacimientos, así como su estructura cristalina, y cómo estos afectan su interacción con el agua. Uno de estos factores es el isomorfismo, que tiene una relevancia significativa en la reacción entre los reactivos de flotación y los minerales valiosos, no valiosos o ganga, así como con el agua. Un

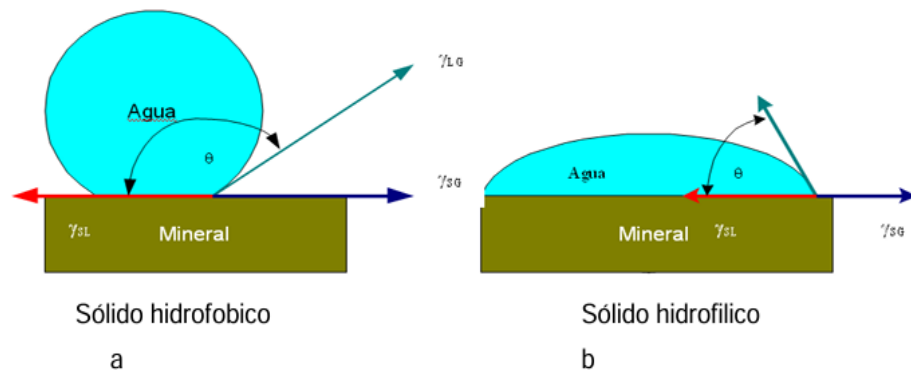
mineral se considera isomórfico cuando sus átomos o iones pueden intercambiarse dentro de la red cristalina, formando soluciones sólidas. En este proceso de sustitución, un ion de un signo específico (por ejemplo, un catión) es reemplazado en la red cristalina por otro ion del mismo signo y con un radio iónico o atómico similar.

### 2.2.7. Ángulo de contacto

Al dar lectura a **Laiza, F. Zegarra, T.** (2016) encontramos que, Es de suma importancia porque relaciona en forma cuantitativa las propiedades hidrofóbicas de un mineral con su flotabilidad.

Cuando un sólido es hidrofóbico, ya sea de forma natural o debido a la adsorción de un colector en su superficie, la película de líquido se reubica hasta alcanzar un equilibrio donde las tres tensiones superficiales están balanceadas. El ángulo formado entre las tensiones interfaciales se describe mediante la ecuación de Young, que en equilibrio se expresa como  $\text{Cos}\theta\gamma_{lg} - \gamma_{sl} + \gamma_{sg} = 0$ , o alternativamente como  $\text{Cos}\theta\gamma_{lg} = \gamma_{sg} + \gamma_{sl}$ .

**Figura 5 Esquema del ángulo de contacto**



**NOTA: Fundamentos de flotación de minerales**

La ecuación de Young define las condiciones termodinámicas de equilibrio entre tres fases y introduce el concepto de hidrofobicidad, un factor crucial en el proceso de flotación de minerales. El ángulo de contacto  $\theta$  se define como el ángulo entre el plano tangente a la interfase líquido-gas y el plano formado por el sólido en un sistema trifásico sólido-líquido-gas. Este ángulo proporciona una indicación de la mojabilidad y permite evaluar los parámetros superficiales necesarios; así, cuando un líquido moja completamente un sólido,  $\theta$  es igual a cero, mientras que un ángulo de  $\theta > 0^\circ$  indica una mojabilidad parcial. Un mayor ángulo de contacto refleja una menor mojabilidad y, por lo tanto, un mayor grado de hidrofobicidad. No obstante, en esta ecuación, solo es posible medir experimentalmente la tensión superficial del líquido, no así  $\gamma_{sg}$  y  $\gamma_{sl}$ .

**2.2.8. Fenómeno de adsorción**

**Laiza, F. Zegarra, T. (2016)** nos da a entender que, La adsorción se define como la acumulación de entidades químicas, como iones y moléculas, en una interfase. Este fenómeno, que es espontáneo y exotérmico, se clasifica generalmente según la naturaleza de la interacción entre el adsorbido y el adsorbente, en adsorción física (o fisorción) y adsorción química (o

quimisorción). La adsorción se describe como el fenómeno en el que la concentración de materia en una interfase es mayor o menor en comparación con las fases que forman dicha interfase. Si la concentración en la interfase es mayor, se considera adsorción positiva; si es menor, se considera adsorción negativa. Este proceso se describe mediante la ecuación de adsorción de Gibbs, la cual tiene varias formas, siendo la más relevante para la mineralurgia:

$$\gamma = -S \cdot \frac{dT}{dC} + \mu_i \cdot \frac{d\Gamma_i}{dC}$$

Donde:

$\gamma$  = Energía libre interfacial o tensión superficial.

S = Entropía superficial.

T = Temperatura absoluta.

$\mu_i$  = Potencial químico de la especie i en el sistema.

$\Gamma_i$  = Densidad de adsorción de la especie i.

Esta ecuación también puede expresarse de manera que indique que si una sustancia (ión o molécula) tiene una mayor concentración en la superficie de un líquido o fase sólida en comparación con su concentración en la masa de esa fase, se ha adsorbido en la superficie de la fase. Para que ocurra adsorción, la sustancia debe reducir la energía superficial, es decir,  $d\gamma/dC$  debe ser negativo. Si un ión o molécula se adsorbe en la interfase aire-agua, tiene una densidad de adsorción positiva y se considera hidrofóbico. En cambio, si no se adsorbe, tiene una densidad de adsorción negativa y se considera hidrofílico. Los casos de mayor interés en la flotación de minerales son la adsorción en la interfase aire-agua y en la superficie de los minerales en agua, lo que explica el fenómeno de

hidrofobización artificial de los minerales. Este fenómeno está generalmente limitado a la superficie de la fase debido a:

- La debilidad de las fuerzas de enlace que impide que la sustancia penetre en la masa de la fase,
- El tamaño de las partículas, que es demasiado grande para que penetren solas en la celda de la fase adsorbente

### 2.2.9. Tipos de adsorción

**Laiza, F. Zegarra, T.** (2016) los clasifica en tipos de adsorción que son:

**Adsorción física:** La adsorción física se debe a interacciones químicas secundarias, como las fuerzas de Van der Waals, y se caracteriza por un bajo calor de interacción. En este tipo de adsorción, no hay una selección específica entre el adsorbente y el adsorbido, y es posible la formación de múltiples capas de adsorbato sobre la superficie del adsorbente. En otras palabras, no ocurre un intercambio de electrones entre las partes involucradas.

**Adsorción química o quimisorción:** La adsorción química ocurre debido a interacciones químicas primarias, como los enlaces covalentes, entre el adsorbente y el adsorbido. Este tipo de adsorción implica selectividad y transferencia de electrones, resultando en la formación de compuestos en la superficie del adsorbente. Generalmente, solo se puede adsorber una capa microscópica de material

Dicho en otras palabras, podemos decir que:

La adsorción de moléculas orgánicas se incrementa a medida que disminuye el potencial eléctrico, alcanzando su máximo cuando el potencial es cero.

A medida que el potencial eléctrico aumenta, la adsorción de moléculas orgánicas tiende a disminuir hasta llegar a cero.

La doble capa eléctrica de un mineral genera un campo eléctrico que atrae moléculas e iones con alta constante dieléctrica, como el agua, mientras que un campo eléctrico débil atrae moléculas con baja constante dieléctrica, favoreciendo así propiedades hidrofóbicas en la superficie, como las de las moléculas orgánicas.

Tanto el campo eléctrico como el electrocinético pueden ser ajustados mediante la adición de sustancias iónicas que modifican su intensidad o carga, lo que permite optimizar las condiciones para una flotación efectiva.

La doble capa eléctrica es crucial en el proceso de flotación ya que impacta directamente en la adsorción de reactivos en la superficie mineral. Existe una relación directa entre el potencial eléctrico y la cantidad de moléculas o iones adsorbidos; así, la adsorción de moléculas orgánicas aumenta con la disminución del potencial y alcanza su máximo cuando el potencial es cero. Sin embargo, a altos valores de potencial, la adsorción de moléculas orgánicas puede reducirse a cero.

El potencial de carga cero es una propiedad electroquímica inherente a cada tipo mineral, desempeñando un papel fundamental en la estructura de la doble capa eléctrica, los fenómenos electrocinéticos, la adsorción de iones y moléculas, y los procesos de mojado.

#### **2.2.10. Tensión superficial**

**Laiza, F. Zegarra, T.** (2016) dice: En toda sustancia, las fuerzas intermoleculares mantienen las moléculas unidas. Considerando una molécula en el interior de un líquido, esta estará rodeada por otras moléculas similares, lo que



equilibra las fuerzas de atracción intermoleculares y genera un equilibrio energético. En consecuencia, las moléculas en la superficie tienen una energía mayor en comparación con las situadas en el interior del líquido.

La magnitud del desequilibrio energético depende de la naturaleza de las interacciones moleculares y se denomina energía libre superficial. Por lo tanto, aumentar el área superficial de un líquido requiere añadir energía al sistema en forma de trabajo. Así, la tensión superficial se puede expresar como:

Donde:

$\gamma$  = tensión superficial, con unidades de energía/área o fuerza/longitud

$G_s$  = energía libre superficial.

$A$  = área interfásica

$p, T, n$  = presión, temperatura absoluta y número de moles presentes en el sistema.

En términos generales, la tensión superficial se define como la cantidad de trabajo necesario para expandir la superficie de un líquido en una unidad de área, manteniendo constantes la presión, temperatura y masa. La magnitud de la tensión superficial está estrechamente relacionada con la intensidad de las fuerzas intermoleculares presentes. Por ende, si se conoce la composición química del líquido, se puede aproximar la magnitud de su tensión superficial.

Las interacciones moleculares y los enlaces químicos, clasificados en orden ascendente de su fuerza de unión, incluyen: fuerzas de London, fuerzas de Van der Waals o de dispersión, interacciones dipolo-dipolo inducido, interacciones dipolo-dipolo, enlace de hidrógeno, enlace iónico, enlace covalente y enlace metálico. Las fuerzas de dispersión, que son interacciones atractivas débiles presentes en todos los materiales, independientemente de su composición química, provienen de los dipolos inducidos

### 2.3. Definición de términos básicos

- **Verificación:** La verificación es el procedimiento mediante el cual se asegura la precisión, autenticidad o validez de un elemento. También se refiere al examen de información, documentos, datos o afirmaciones con el objetivo de confirmar su corrección o veracidad.
- **Efectividad:** Se refiere a la habilidad para alcanzar un resultado deseado o cumplir con un objetivo específico de manera efectiva.
- **Flotación:** El proceso de flotación es una técnica físico-química empleada para separar minerales valiosos de aquellos no deseados. Esto se logra mediante la adhesión selectiva de burbujas de aire a las partículas minerales en suspensión dentro de un líquido.
- **Reactivo:** Es una sustancia química que se utiliza durante una reacción química con el propósito de provocar un cambio en otra sustancia involucrada en el proceso. Esta sustancia puede alterar las propiedades o la estructura de la otra sustancia para facilitar o acelerar la reacción.
- **Reactivo de flotación:** Es una sustancia química empleada en el proceso de flotación de minerales para distinguir y separar los minerales valiosos de los minerales no deseados, conocidos como ganga, en una mezcla de pulpa mineral.
- **Colector:** Es una sustancia química que se emplea para aumentar la eficacia del proceso de flotación de minerales, optimizando la capacidad de los minerales valiosos para flotar en una pulpa mineral. Este agente ayuda a mejorar la separación y recuperación de los minerales deseados al facilitar su adherencia a las burbujas de aire durante el proceso de flotación.

- **Recuperación:** Se refiere a la efectividad con la que los minerales valiosos se separan y concentran a partir de una pulpa mineral mediante el proceso de flotación. Este indicador es crucial para evaluar la eficiencia de la operación de flotación y se presenta en términos porcentuales.
- **Reactivo MT-4095:** Es un tipo de colector secundario de flotación en proceso de concentración de minerales, este reactivo es específicamente eficaz en la recuperación de Ag. Es un colector de tipo xantato modificado diseñado para ser más selectivos de ganga y no metálicos.

## 2.4. Formulación de hipótesis

### 2.4.1. Hipótesis general

Si evaluamos metalúrgicamente el reactivo colector secundario MT-4095 entonces podemos hacer el mejoramiento en la recuperación de plata en Pan American Silver Huarón.

### 2.4.2. Hipótesis específica

- Si analizamos las propiedades químicas y la flotación en la etapa de flotación bulk con el uso de reactivo colector secundario se va mejorar la recuperación de plata.
- Si proponemos ajustes en los parámetros de operación de la planta concentradora entonces podemos optimizar el rendimiento con el reactivo colector secundario MT-4095.
- Si realizamos pruebas de flotación a escala de laboratorio utilizando muestras representativas de la mena polimetálica bajo las condiciones experimentales definidas, registrando datos de recuperación, grado de los concentrados y consumo de reactivos entonces podemos mejorar la recuperación de la plata.

## 2.5. Identificación de variables

### 2.5.1. Variable independiente

Evaluación metalúrgica del reactivo colector secundario MT-4095.

### 2.5.2. Variable dependiente

Mejoramiento en la recuperación de plata en Pan American Silver Huarón.

## 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

<b>Variable</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
Recuperación de plata.	Obtención de la plata por medio de los colectores	Recuperación de la plata medio de los colectores secundarios	Toneladas por día	Porcentaje
Evaluación metalúrgica del colector secundario MT-4095	Evaluar el colector secundario MT-4095	Proceso del mineral con colector secundario MT-4095	Toneladas por día	Toneladas

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo de Investigación**

A través de la realización de experimentos en el laboratorio, se amplía nuestro conocimiento. Esto implica repetir procedimientos previamente realizados por otros, utilizando equipos de laboratorio, aplicando conceptos teóricos aprendidos en la universidad y consultando bibliografía pertinente. Las actividades prácticas incluyen trabajos de laboratorio y consultas con expertos. Ruiz et al. (2010) sugieren que una mayor involucración de los estudiantes en proyectos de investigación y prácticas de laboratorio es beneficiosa. Ellos consideran que los proyectos desarrollados bajo este enfoque, especialmente en el ámbito de la investigación experimental, resultan ser de excelente calidad.

#### **3.2. Nivel de investigación**

Estos proyectos están en el tipo de investigación **Experimental**.

#### **3.3. Métodos de investigación**

La investigación se aprende a través del propio acto de investigar, según la pedagogía activa, como lo expone Dewey (2010) en su obra *¿Cómo estamos*

pensando? Al realizar investigaciones, se genera nuevo conocimiento, y al resolver problemas, se adquiere experiencia. Del mismo modo, al desarrollar proyectos, se asume el rol de proyectista. Para llevar a cabo estos procesos de manera efectiva, se recomienda la realización de salidas al campo, trabajo en laboratorios y análisis de resultados, lo que nos conduce a un método de investigación denominado **Aplicada, cuantitativa**.

### **3.4. Diseño de investigación**

La tesis en desarrollo adopta un diseño de **investigación explicativa**, en el que el pensamiento del investigador juega un papel crucial. Esto se debe a que la eficacia de los colectores en la recuperación de plata está influenciada por la formación profesional y personal del investigador. El estudio proporcionará una explicación detallada de la variable independiente, que es fundamental para lograr una recuperación eficaz de la plata, la variable dependiente. Además, abordará las cuestiones de ¿cómo? y ¿por qué? estas variables se relacionan, respondiendo así a las preguntas de investigación planteadas.

([Diseño de investigación. Elementos y características \(questionpro.com\)](http://questionpro.com)).

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

La población del presente estudio está identificada como sus reservas y sus recursos que tiene para la explotación de los minerales con sus respectivas leyes y contenido de metal, el cual se presenta en el siguiente cuadro.

**Tabla 1 Reservas y Recursos de la Compañía Minera Huarón**

Nombre y cantidad		Grado				Contenido de metal			
Nombre	Toneladas (Tm)	Ag (g/t)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Ag (Moz)	Cu (kt)	Pb (kt)	Zn (kt)
Reservas P&P	9.3	171	0.56	1.60	3.07	50.9	51	148	285
Recursos M&I	3.2	176	0.30	1.90	3.09	18.4	10	62	100
Recursos inferidos	5.9	164	0.35	1.76	2.87	31.2	21	104	170

NOTA: Memoria anual: Al 30 de junio del 2023.

### 3.5.2. Muestra

De acuerdo con Morles, la muestra es una parte que representa al todo y, por ende, refleja las características que definen a la población de la cual fue extraída, lo que la hace representativa. Así, la validez de la investigación está vinculada a la obtención y al tamaño de la muestra. En otras palabras, la selección y el tamaño de la muestra son factores determinantes en los resultados obtenidos de la investigación. (Morles, 1994. P.54).

En esta investigación, la muestra se obtuvo mediante la técnica de muestreo por conveniencia y se seleccionó como un compuesto del total del mineral recolectado durante un trabajo de campo. Para preparar el compuesto, se aplicó la técnica de muestreo, se separó el mineral usando un separador de Jones y se pesó el mineral hasta alcanzar un kilogramo para cada prueba a realizar en el laboratorio.

### 3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Según Hodson (2000), las actividades experimentales realizadas en el laboratorio son una técnica fundamental en el proceso de investigación, ya que proporcionan conocimiento práctico respaldado por la teoría que el investigador aporta. Estas actividades permiten desarrollar habilidades y destrezas en el trabajo

experimental y se argumenta que el trabajo en laboratorio tiene un alto valor en cuanto a la real capacidad de sus resultados para demostrar los objetivos planteados, relacionados con el conocimiento conceptual y procedimental. Los estudios en esta área están vinculados con la metodología científica, que incluye el razonamiento, el pensamiento creativo y crítico, así como el desarrollo de una actitud abierta, objetiva y escéptica frente a juicios de valor sin evidencia suficiente. En la evaluación de la eficacia de los colectores, el trabajo experimental a nivel de bachillerato es crucial antes de pasar a la evaluación y escalamiento industrial. Los datos se recolectan en el laboratorio utilizando los equipos y maquinarias del laboratorio químico-metalúrgico de la Compañía Minera Huarón (Hodson, 2000, p. 88).

### **3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

La selección de las técnicas para el procesamiento y análisis de datos debe considerar el tipo de resultados que se desean obtener, así como la capacidad para analizar e interpretar los datos obtenidos en el laboratorio. En este contexto, se analizan los valores típicos mediante la relación causa-efecto, lo que permite abordar los objetivos establecidos en función de las variables independientes y dependientes. La adecuación del tiempo de respuesta y la condición de los datos a analizar son factores cruciales que dependen de los ensayos realizados en el laboratorio. Si los resultados no son satisfactorios, será necesario repetir el trabajo en el laboratorio hasta obtener una respuesta adecuada a la hipótesis planteada. (Wellington, 2000 p 120).

### **3.8. Tratamiento estadístico**

Para el análisis de datos, se utilizará la técnica de estadística descriptiva, que organiza los datos en tablas para facilitar su ordenación y comparación. Esta



técnica permite conocer los parámetros de la muestra utilizada en la investigación. El recuento de datos es fundamental para los cálculos necesarios, y en nuestra investigación, empleamos tablas para el análisis e interpretación del resultado. (Wellington, 2000 p. 148)

### **3.9. Orientación ética filosófica y epistémica**

En el contexto universitario, la investigación es una actividad fundamental que fomenta el pensamiento lógico y creativo, facilitando la generación y acumulación de conocimientos y contribuyendo a la resolución de problemas en diversas áreas. Esta actividad científica está guiada por principios y valores éticos que regulan la investigación tanto dentro como fuera de la universidad (Informe Belmont, 1979, p. 49). Al adherirnos a estos principios, respetamos las citas bibliográficas y el trabajo de los autores en la verificación de la eficacia de los colectores.

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

El distrito de Huayllay pertenece a la provincia y región de Pasco, en ello está la Compañía Minera de Huarón perteneciente a Pan American Silver, en sus entrañas se localizan algunas de las minas polimetálicas (Zn-Pb-Ag-Cu-(Au)) más ricas del Perú. Está localizado 20 km S-W de Cerro de Pasco entre 4500 y 4700 m. s. n. m.

El distrito se ubica en el cinturón polimetálico Mioceno de los Andes Centrales del Perú. Según la geología, la mineralización hidrotermal epitermal se manifiesta en vetas orientadas en direcciones N-S, N-W, S-W y E-W, así como en mantos que reemplazan rocas sedimentarias favorables. Los fluidos hidrotermales están asociados con intrusiones cuarzo-monzoníticas, que se datan tentativamente en 7.4 Ma mediante el método K-Ar en adularia. Los minerales de mayor valor económico en la región incluyen la Tenantita, Tetraedrita (con predominancia de plata), Esfalerita, Galena y Calcopirita. La plata también está presente en minerales como Pirargirita, Proustita, Polibasita y Pearceita. En la

zona central de Huarón, se encuentra Enargita. Los minerales de ganga presentes son Pirita, Cuarzo, Rodrocosita y Calcita.

El trabajo de investigación se ha realizado siguiendo escrupulosamente los siguientes pasos:

- Se realiza el muestreo en el alimento al molino primario el cual fue compositado por guardias.
- Se procede con el secado y chancado de muestra a 100% malla -6 ASTM.
- A continuación, se realiza el homogenizado y cuarteo de la muestra para realizar los ensayos químicos el cual representará como ley de cabeza (Ag, Cu, Pb, Zn, Fe, As, Sb, Mn, Bi, PbOx y ZnOx).
- Validación de las leyes de cabeza, para proseguir con la evaluación metalúrgica.
- Determinación del Work Index comparativo, tiempo cero y tiempo diez minutos tanto al Mineral como al Cuarzo.
- Determinación del tiempo de molienda para alcanzar 55% malla -200 ASTM para el circuito bulk.
- En seguida se procede a calibrar el potenciómetro para la medición del pH.
- Se prepara los reactivos a diferentes concentraciones manteniendo el estándar de planta concentradora.
- Prueba de cinética de flotación, se trabaja con un kilo de muestra, en una celda de 2 litros para determinar la tendencia del comportamiento metalúrgico, con tiempos de 1.0, 3.0 y 5.0 minutos tanto para la flotación bulk como para la flotación Zinc.

- Obtenidos los productos de flotación secos estos son enviados para sus ensayos químicos a laboratorio químico y preparar el balance de cinética de flotación.
- Se realiza nueva prueba de flotación batch para la preparación de las briquetas de los concentrado Bk, Zn y relave, se prepara las briquetas para determinar por microscopia óptica presencia de minerales mixtos, inclusiones, asociaciones y libres.
- A continuación, se procede a realizar la prueba de flotación Batch se trabaja en celda de 4.1 litros, con dos kilos de muestra, a un porcentaje de sólidos de 32.5% con los reactivos estándares a dosificaciones del proceso.
- Obtenidos los productos de flotación secos estos son enviados para sus respectivos ensayos a laboratorio químico. Con los resultados de los ensayos químicos se elabora el balance metalúrgico batch proyectado.
- Preparación, revisión, entrega, discusión y difusión del informe.

## 4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.

### 4.2.1. Identificación del mineral

#### 4.2.1.1. Ensayes químicos

**Tabla 2 Ensayes químicos de la muestra**

Ag g/t	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	As%	Mn%	Bi%	Sb%
145,22	0,23	2,06	5,01	7,04	0,02	7,19	0,01	0,01

**FUENTE:** Elaborado por el tesista

Los resultados del cuadro anterior merecen el siguiente comentario a la muestra Mineral compósito:

- El contenido de los valores de plata es 145,22 g/t, valor por debajo del rango habitual con respecto al Budget anual de 152,40 g/t.

- El contenido de los valores de cobre es 0,23%, valor por debajo del rango habitual con respecto al Budget de 0,36%.
- El contenido de los valores de plomo es 2,06%, valor por encima del rango habitual con respecto al Budget anual de 1,52%.
- El contenido de óxido de plomo ensayado se presenta en valor considerable normal para la ley de cabeza que presenta.
- El contenido de los valores de zinc es 5,01%, valor por encima del rango habitual con respecto al Budget anual de 2,38%.
- El contenido de óxido de zinc ensayado se presenta de valor considerable moderado con respecto a la ley de cabeza y considerable con respecto a nuestro proceso.
- El contenido de hierro es 7,04% valor considerable bajo con respecto a nuestro proceso lo cual no podría afectar la calidad de los concentrados.
- El contenido de los valores de contaminantes arsénico (0,02%) y manganeso (7,19%) este valor se encuentra por encima de los rangos habituales, lo cual podría perjudicar el performance metalúrgico.

#### **4.2.2. Pruebas de moliendabilidad**

Las pruebas de molienda se realizaron con 1000 gramos y 500 cc de agua con lo cual se obtiene una pulpa en molienda con 67% de sólidos y posteriormente se realiza el análisis granulométrico correspondiente; para determinar el grado de molienda a 55% de malla -200 se realizan 4 pruebas a diferentes tiempos de molienda (0, 10,15 y 20 minutos) para el circuito bulk.

La muestra se trabajó en un molino de 8,58” x 11,22” con una carga de bolas de acero es de 20,000.00 gramos.

Los resultados de los cuatro tiempos para estimar el tiempo de molienda óptimo, se presentan en la tabla 3.

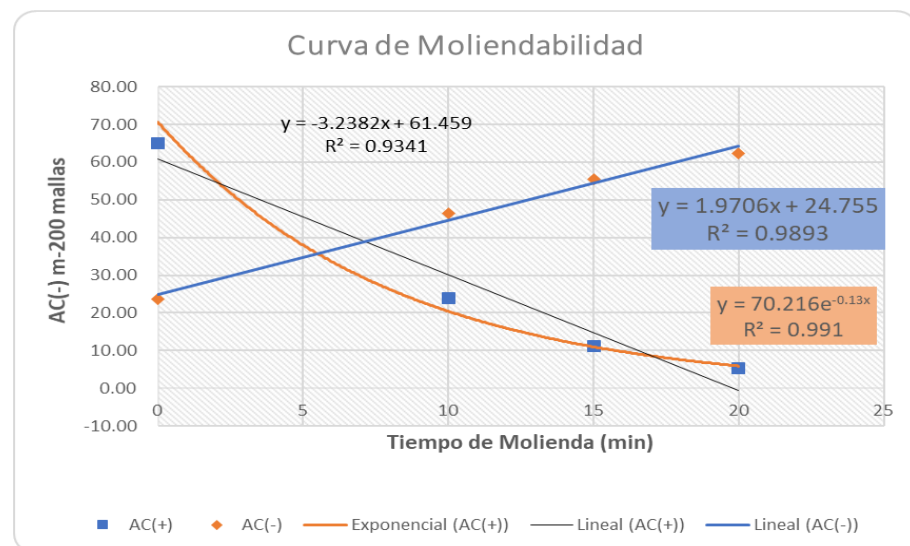
**Tabla 3 Tiempo de Molienda Mineral**

Tiempo de Molienda	m-200 Ac (-)	m+65 Ac (+)
0	23,56	64,88
10	46,28	23,96
15	55,46	11,18
20	62,40	5,38
<b>15,35</b>	<b>55</b>	<b>9,55</b>

**55% m-200 malla = 15:35 minutos**

NOTA: Elaborado por el tesista

**Figura 6 Curva de Moliendabilidad**



NOTA: Elaborado por el tesista

Obtenido los datos de moliendabilidad se determina la ecuación de regresión de datos de tiempo vs pasante (-m200), en el cual se obtiene la siguiente relación lineal:

$$y = 1,9706x + 24,755$$

Se obtiene que el tiempo de molienda óptimo es de 15.35 min para alcanzar una malla de corte de 55% -m200, lo cual representa el tiempo para iniciar el proceso de flotación bulk.

#### 4.2.3. Determinación del Work Índice comparativo.

Para caracterizar la dureza del mineral o índice de trabajo se usó el método comparativo con cuarzo que tiene un índice de trabajo de 13,6 kwh-h/TC. Para este mineral se determinó el tamaño de alimentación promedio F80 (en la muestra 100% pasante malla 6 ASTM) y el tamaño del producto P80 luego de la molienda, para ambas muestras (Cuarzo y Mineral Compósito) el tiempo de molienda fue de 10 minutos, los siguientes datos son resultados del análisis granulométrico:

- F80 cuarzo = 1453 micrones (100% malla -6)
- P80 cuarzo = 262 micrones
- F80 mineral = 1561 micrones (100% malla -6)
- P80 mineral = 244 micrones

La Ecuación de Bond de consumo de energía en reducción de tamaño de minerales es la siguiente:

$$13,6 \left( \frac{10}{\sqrt{P_{80} \text{cuarzo}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80} \text{cuarzo}}} \right) = Wi \left( \frac{10}{\sqrt{P_{80} \text{mineral}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80} \text{mineral}}} \right)$$

Esta fórmula para el método comparativo incluye el valor de 13,60 (dureza de cuarzo) reemplazando este valor en la ecuación de bond se determinó la dureza o índice de trabajo **Wi = 12,79 Kw-h/TC** o **14,11 KW-h/TM**, el cual será el indicador del índice de dureza del mineral, cuyo valor lo clasifica como mineral de dureza media.

**Tabla 4 Índice de trabajo mediante la dureza**

<b>Descripción</b>	<b>Límite Wi (Kwh/TM)</b>
Muy blando	7,26
Blando	7,26 – 10,89
Medio	10,89 – 14,51
Duro	14,51 – 18,14
Muy duro	18,14 – 21,77
Extremadamente duro	21,77

**NOTA:** Ivan Quiroz

#### **4.2.4. Flotación de Sulfuros.**

##### **4.2.4.1. Prueba de flotación batch selectiva**

El procedimiento de flotación batch selectiva facilita la obtención de los concentrados de cobre, plomo y zinc. Para el balance metalúrgico se toma en cuenta la recuperación total a la suma de las recuperaciones de plata en los concentrados obtenidos durante los periodos de flotación estándar.



#### 4.2.4.2. Condiciones de flotación

**Tabla 5 Condiciones para la Prueba de Flotación Batch.**

Nombre	Tiempo (min)	pH	Reactivos g/t							
			NaCN	Z11/Z6	Cal	CuSO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	RCS	ZnSO <sub>4</sub>	MT4095
<b>Molienda</b>	<b>15,35</b>	8,45	30,00							
<b>Ro-Bk</b>	3,00			7,50			25,00		200,00	7,50
<b>Scv-Bk</b>	2,00			2,50						3,75
<b>1° Cl Bk</b>	2,00		5,00							
<b>2° Cl Bk</b>	2,00									
<b>3° Cl Bk</b>	2,00									
<b>Ac Zn 1°</b>	3,00	10,50			700,00					
<b>Ac Zn 2°</b>	2,00				400,00	175,00				
<b>Ro Zn</b>	3,00			10,00			12,5			
<b>Scv Zn</b>	2,00			8,00		25,00				
<b>1° Cl Zn</b>	2,00	11,50			300,00					
<b>2° Cl Zn</b>	2,00	11,50			200,00					
<b>3° Cl Zn</b>	2,00	11,50			200,00					
<b>1 Ac Sep</b>	5,00							20,00		
<b>Pb/Cu</b>										
<b>Ro Sep Pb/Cu</b>	3,00									
<b>Scv Sep Pb/Cu</b>	2,00						1,60			
<b>1 Cl Sep</b>	2,00						1,60	20,00		
<b>Total, de reactivos en g/t</b>			35,00	28,00	1800,00	200,00	40,58	40,00	200,00	11,25

**NOTA: Elaborado por el tesista**

Del cuadro anterior se comenta lo siguiente:

#### A) Molienda:

- ✓ Peso de mineral : 1 Kg
- ✓ Agua : 500 CC
- ✓ Tiempo de molienda : 15,35 min
- ✓ Cianuro de sodio : 30 g/T
- ✓ Granulometría : 55% -200 mallas

**B) Flotación Rougher Bulk:**

- ✓ pH de flotación : 8,45
- ✓ sulfato de zinc : 200 g/t
- ✓ Z-11/Z-6 : 7,5 g/t
- ✓ Espumante H-150 : 25 g/t
- ✓ MT-4095 : 7.50 g/t
- ✓ Tiempo Acond : 2 min
- ✓ Flotación : 3 min

**C) Flotación scavenger bulk:**

- ✓ Z-11/Z-6 : 2,5 g/t
- ✓ MT-4095 : 3.75 g/t
- ✓ Tiempo de flotación : 2 min

**D) Flotación Cleaner bulk I:**

- ✓ Cianuro de sodio : 5 g/t
- ✓ Tiempo de flotación : 2 min

**E) Flotación Cleaner bulk II:**

- ✓ Tiempo de flotación : 2 min

**F) Flotación Cleaner bulk III:**

- ✓ Tiempo de flotación : 2 min

**G) Flotación Rougher Zinc:**

- ✓ Cal : 1100 g/t
- ✓ pH de flotación : 10,50
- ✓ sulfato de Cobre : 175 g/t
- ✓ Z-11/Z-6 : 10 g/t
- ✓ Espumante H-150 : 12,5 g/t

✓ Tiempo Acond : 5 min

✓ Flotación : 3 min

**H) Flotación scavenger zinc:**

✓ sulfato de Cobre : 25 g/t

✓ Z-11/Z-6 : 8 g/t

✓ Tiempo de flotación : 2 min

**I) Flotación Cleaner zinc I:**

✓ Cal : 400 g/t

✓ pH : 11.50

✓ Tiempo de flotación : 2 min

**J) Flotación Cleaner zinc II:**

✓ Cal : 300 g/t

✓ pH : 11.50

✓ Tiempo de flotación : 2 min

**K) Flotación Cleaner zinc III:**

✓ Cal : 300 g/T

✓ pH : 11.50

✓ Tiempo de flotación : 2 min

De la tabla 5, se comenta lo siguiente con respecto al consumo de reactivos:

- Los tiempos de molienda establecidos para alcanzar los porcentajes de 55% de malla -200 es de 15,35 minutos valor se podría considerar un valor de dureza media en el desarrollo de pruebas metalúrgicas a nivel de laboratorio.

- Los reactivos CNNa y mezcla de xantatos fueron preparados al 1%, la cal, el sulfato de cobre, sulfato de zinc al 10% y el H-150 al 100%.
- El reactivo MT-4095 fue preparado al 1% y el consumo de reactivo es 11,25 g/t.
- El reactivo de bicromato se prepara al 2% en mezcla (bicromato = 60%, fosfato monosódico = 20% y carboximetilcelulosa = 20%) y el consumo es de 40 g/t.
- El consumo de cianuro de sodio es de 35 g/t, para controlar el proceso de flotación.
- El consumo de cal 1800 g/t, este valor se encuentra por debajo de los rangos habituales de 2500 g/t, debido al pH que presenta mayor a 8,30.
- El consumo de sulfato de cobre 200 g/t, este valor se encuentra dentro de los rangos habituales de 194 g/t con respecto al proceso.

#### **4.2.5. Cinética de flotación bulk/zinc.**

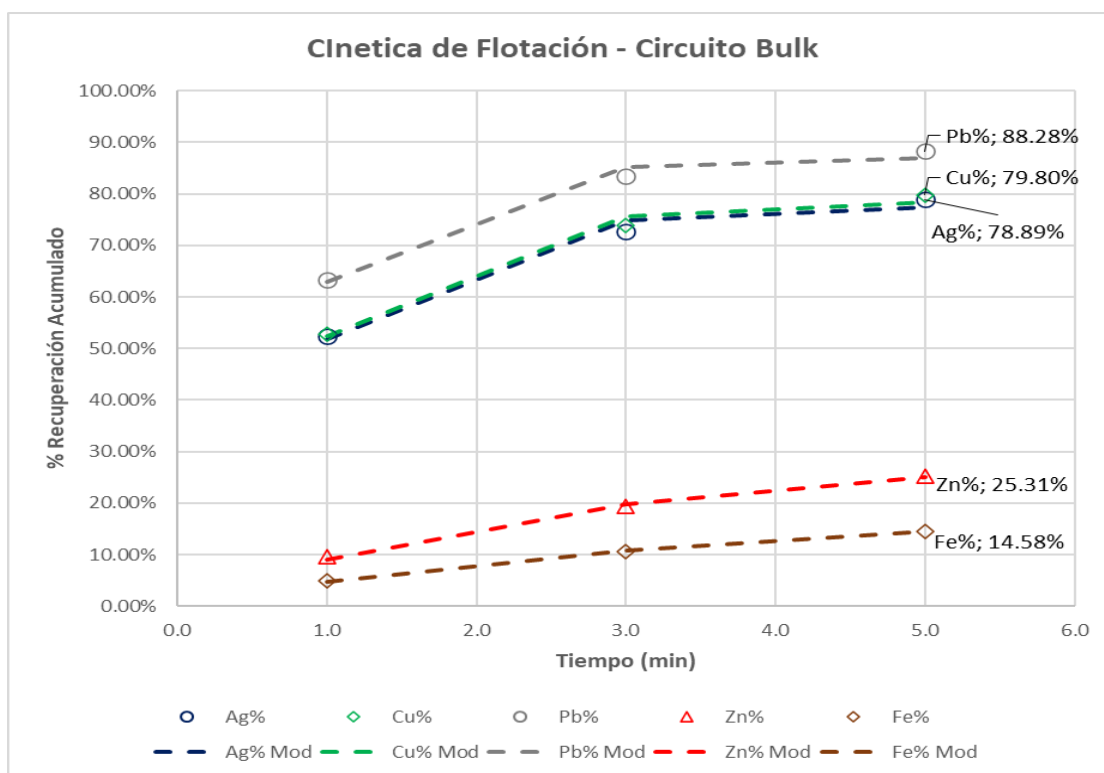
En los cuadros siguientes se presentan las cinéticas de flotación para los valores de interés durante las etapas de flotación bulk y zinc. Se comparan las pruebas realizadas utilizando el estándar y el reactivo MT-4095.

**Tabla 6 Cinéticas de Flotación Bulk - ESTANDAR**

Producto	Peso (g)	%	Ag (g/t)	LEYES				RECUPERACIONES				
				Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	Ag %	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %
Cabeza BK	122,72	13,67	145,22	0,23	2,06	5,01	7,04	78,89	79,80	88,28	25,31	14,58
Conc BK I	40,52	4,51	1696,25	5,21	15,71	3,55	9,31	52,41	52,86	63,28	9,51	4,94
Con Bk II	47,01	5,24	566,88	1,78	4,33	3,17	9,16	20,32	20,95	20,24	9,85	5,63
Con Bk III	35,19	3,92	229,71	0,68	1,36	2,56	8,71	6,16	5,99	4,76	5,95	4,01
Cabeza Zn	774,78	86,33	35,73	0,10	0,15	1,46	8,43	12,59	13,82	6,66	68,80	25,59
Conc Zn I	45,21	5,04	201,75	0,78	0,74	19,37	13,08	6,95	8,83	3,33	57,88	7,74
Conc Zn II	48,72	5,43	100,32	0,29	0,45	2,75	14,63	3,73	3,54	2,18	8,86	9,32
Con Zn III	44,76	4,99	55,86	0,13	0,26	0,70	14,57	1,91	1,46	1,16	2,07	8,53
Relave	636,09	70,87	17,57	0,04	0,08	0,14	7,19	8,52	6,37	5,06	5,89	59,83
Cab Calc	897,50	100,00	146,13	0,44	1,12	1,69	8,52	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
								78,89	79,80	88,28	25,31	14,58

NOTA: Elaborado por el tesista

**Figura 7 Curva de Cinética Bulk – STD**



NOTA: Elaborado por el tesista

Del anterior análisis cinética de flotación balances y gráficos se interpreta lo siguiente:

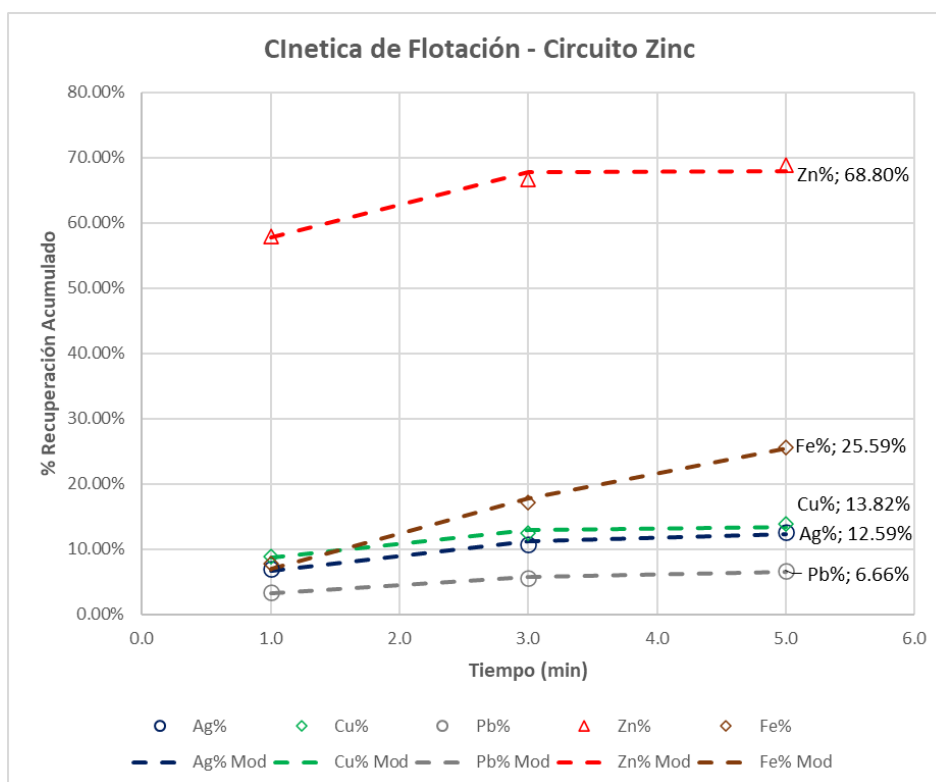
- La cinética de flotación de los valores de plomo son los que muestran una mayor velocidad de flotación se estima una recuperación máxima de 88,28% de plomo para un periodo de flotación acumulado de 5 minutos.
- Las velocidades de flotación de los valores de cobre y plata muestran las mismas tendencias, se estima una recuperación máxima de 79,80% de cobre y 78,89% de plata para un periodo acumulado de flotación de 5 minutos.
- La velocidad de flotación de los valores de zinc y hierro son mayores a las habituales, se estiman recuperaciones de máximas de 25,31% de zinc y 14,58% de Fe, este efecto sería perjudicial para la etapa bulk afectando la calidad de los concentrados finales.

**Tabla 7 Cinéticas de Flotación Zinc - ESTANDAR**

Producto	Peso (g)	%	LEYES					RECUPERACIONES				
			Ag (g/t)	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	Ag %	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %
<b>Cabeza BK</b>	122,72	13,67	145,22	0,23	2,06	5,01	7,04	78,89	79,80	88,28	25,31	14,58
<b>Conc BK I</b>	40,52	4,51	1696,25	5,21	15,71	3,55	9,31	52,41	52,86	63,28	9,51	4,94
<b>Con Bk II</b>	47,01	5,24	566,88	1,78	4,33	3,17	9,16	20,32	20,95	20,24	9,85	5,63
<b>Con Bk III</b>	35,19	3,92	229,71	0,68	1,36	2,56	8,71	6,16	5,99	4,76	5,95	4,01
<b>Cabeza Zn</b>	774,78	86,33	35,73	0,10	0,15	1,46	8,43	12,59	13,82	6,66	68,80	25,59
<b>Conc Zn I</b>	45,21	5,04	201,75	0,78	0,74	19,37	13,08	6,95	8,83	3,33	57,88	7,74
<b>Conc Zn II</b>	48,72	5,43	100,32	0,29	0,45	2,75	14,63	3,73	3,54	2,18	8,86	9,32
<b>Con Zn III</b>	44,76	4,99	55,86	0,13	0,26	0,70	14,57	1,91	1,46	1,16	2,07	8,53
<b>Relave</b>	636,09	70,87	17,57	0,04	0,08	0,14	7,19	8,52	6,37	5,06	5,89	59,83
<b>Cab Calc</b>	897,50	100,00	146,13	0,44	1,12	1,69	8,52	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
								78,89	79,80	88,28	25,31	14,58

NOTA: Elaborado por el tesista

**Figura 8 Cinética de Flotación Zinc**



**NOTA:** Elaborado por el tesista

Del anterior análisis cinética de flotación balances y gráficos se interpreta lo siguiente:

- Los valores de zinc muestran una la velocidad de flotación lenta la cual impacta buena recuperación de estos valores, se estima una recuperación de 68.80% para un periodo acumulado de 5 minutos.
- La velocidad de flotación de los valores de cobre, plomo y plata son regulares se estiman recuperaciones máximas de 13,82% de cobre, 6,66% de plomo y 12,59% de plata para un periodo acumulado de 5 minutos.
- La cinética de flotación de los valores de hierro muestra una velocidad de flotación acelerada, se estima una recuperación de 25,59%.

- El alto contenido de zinc en la cabeza no favorece en la recuperación por presentar una cinética lenta de flotación y necesita mayor tiempo de residencia de flotación.

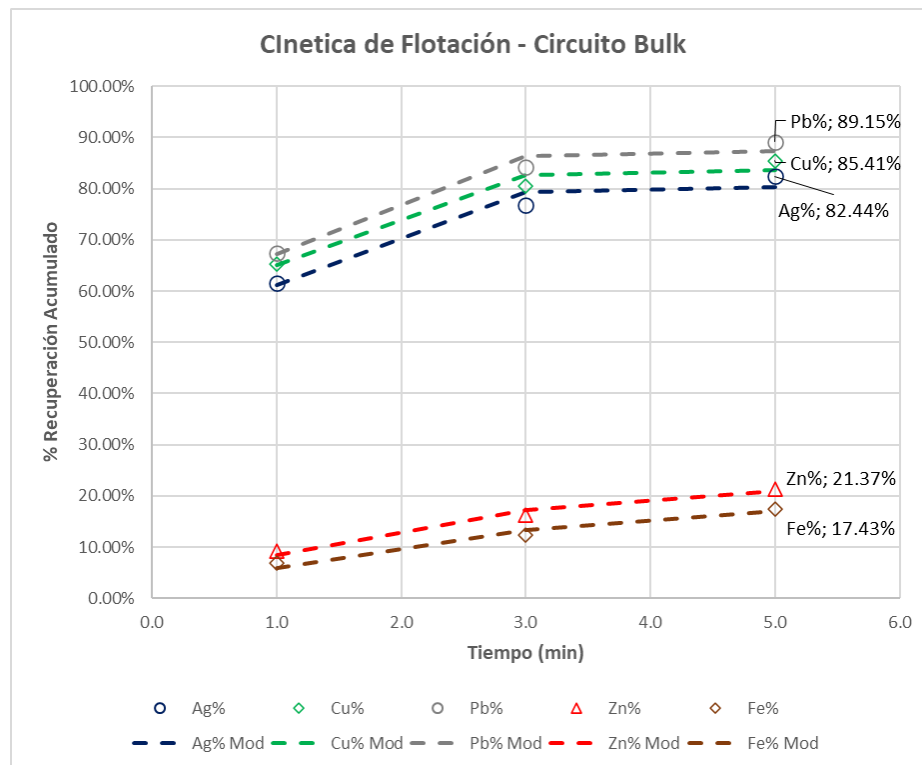
**Tabla 8 Cinéticas de Flotación Bulk – MT 4095**

Producto	Peso (g)	%	LEYES					RECUPERACIONES				
			Ag (g/t)	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	Ag %	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %
<b>Cabeza BK</b>	128,75	14,33	145,22	0,23	2,06	5,01	7,04	82,44	85,41	89,15	21,37	17,43
<b>Conc BK I</b>	47,63	5,31	1683,73	5,51	14,16	4,25	10,54	61,47	65,34	67,52	9,21	6,78
<b>Con Bk II</b>	41,31	4,60	485,53	1,48	4,04	3,73	10,08	15,37	15,22	16,71	7,01	5,63
<b>Con Bk III</b>	39,71	4,42	183,60	0,49	1,24	2,85	9,35	5,59	4,84	4,93	5,15	5,02
<b>Cabeza Zn</b>	768,85	85,67	29,80	0,08	0,14	2,25	7,95	9,09	8,24	5,74	74,56	21,25
<b>Conc Zn I</b>	44,21	4,93	137,70	0,44	0,61	33,76	11,37	4,67	4,84	2,70	67,92	6,79
<b>Conc Zn II</b>	40,56	4,52	82,10	0,21	0,45	2,85	13,23	2,55	2,12	1,83	5,26	7,25
<b>Con Zn III</b>	46,67	5,20	52,17	0,11	0,26	0,65	11,42	1,87	1,28	1,21	1,38	7,20
<b>Relave</b>	637,41	71,02	17,35	0,04	0,08	0,14	7,12	8,48	6,35	5,10	4,06	61,33
<b>Cab Calc</b>	897,50	100,00	145,35	0,45	1,11	2,45	8,25	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
								82,44	85,41	89,15	21,37	17,43

**NOTA:** Elaborado por el tesista



**Figura 9 Curva de Cinética Bulk**



**NOTA:** Elaborado por el tesista

Del anterior análisis cinética de flotación balances y gráficos se interpreta lo siguiente:

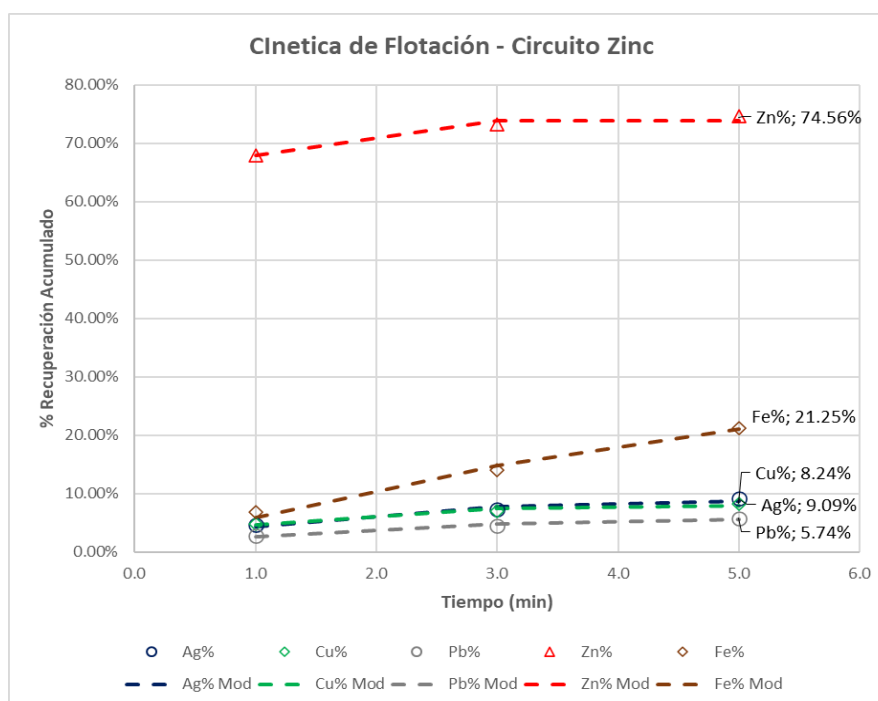
- La cinética de flotación de los valores de plomo son los que muestran una mayor velocidad de flotación se estima una recuperación máxima de 89.15% de plomo para un periodo de flotación acumulado de 5 minutos.
- Las velocidades de flotación de los valores de cobre y plata muestran las mismas tendencias, se estima una recuperación máxima de 85.41% de cobre y 82.44% de plata para un periodo acumulado de flotación de 5 minutos.
- La velocidad de flotación de los valores de zinc y hierro son mayores a las habituales, se estiman recuperaciones de máximas de 21.37% de zinc y 17.43% de Fe, este efecto sería perjudicial para la etapa bulk afectando la calidad de los concentrados finales.

**Tabla 9 Cinéticas de Flotación Zinc – MT 4095**

Producto	Peso (g)	% Peso	LEYES						RECUPERACIONES			
			Ag (g/t)	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	Ag %	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %
Cabeza BK	128,65	14,33	145,22	0,23	2,06	5,01	7,04	82,44	85,41	89,15	21,37	17,43
Conc BK I	47,63	5,31	1683,73	5,51	14,16	4,25	10,54	61,47	65,34	67,52	9,21	6,78
Con Bk II	41,31	4,60	485,53	1,48	4,04	3,73	10,08	15,37	15,22	16,71	7,01	5,63
Con Bk III	39,71	4,42	183,60	0,49	1,24	2,85	9,35	5,59	4,84	4,93	5,15	5,02
Cabeza Zn	768,85	85,67	29,80	0,08	0,14	2,25	7,95	9,09	8,24	5,74	74,56	21,25
Conc Zn I	44,21	4,93	137,70	0,44	0,61	33,76	11,37	4,67	4,84	2,70	67,92	6,79
Conc Zn II	40,56	4,52	82,10	0,21	0,45	2,85	13,23	2,55	2,12	1,83	5,26	7,25
Con Zn III	46,67	5,20	52,17	0,11	0,26	0,65	11,42	1,87	1,28	1,21	1,38	7,20
Relave	637,41	71,02	17,35	0,04	0,08	0,14	7,12	8,48	6,35	5,10	4,06	61,33
Cab Calc	897,50	100,00	145,35	0,45	1,11	2,45	8,25	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
								82,44	85,41	89,15	21,37	17,43

NOTA: Elaborado por el tesista

**Figura 10 Cinética de Flotación Zinc**



NOTA: Elaborado por el tesista

Del anterior análisis cinética de flotación balances y gráficos se interpreta lo siguiente:

- Los valores de zinc muestran una la velocidad de flotación lenta la cual impacta buena recuperación de estos valores, se estima una recuperación de 74,56% para un periodo acumulado de 5 minutos.

- La velocidad de flotación de los valores de cobre, plomo y plata son regulares se estiman recuperaciones máximas de 8,24% de cobre, 5,74% de plomo y 9,09% de plata para un periodo acumulado de 5 minutos.
- La cinética de flotación de los valores de hierro muestra una velocidad de flotación acelerada, se estima una recuperación de 21,25%.
- El alto contenido de zinc en la cabeza no favorece en la recuperación por presentar una cinética lenta de flotación y necesita mayor tiempo de residencia de flotación.

### **4.3. Prueba de Hipótesis**

#### **4.3.1. Regresiones entre elementos químicos**

Con el set de ensayos químicos (espumas bulk y espumas zinc) correspondientes de cada etapa se realiza una regresión lineal entre pares de elementos químicos con la finalidad de establecer correlación entre pares de elementos químicos y determinar el valor estadístico t-student que expresara la significancia de la correlación, considerando el signo de este valor estadístico si es mayor a 2,57 (**GL**) y positivo habrá una gran posibilidad de encontrar una relación mineralógica y por el contrario si es negativo se tratara de un desplazamiento no favorable a causa del proceso de flotación.

En la tabla 10 se registra el resumen de regresiones entre pares de elementos químicos:

## REGRESIONES CONCENTRADO BULK

**Tabla 10 Regresiones cinética selectivo circuito bulk**

<b>RESUMEN DE DATOS</b>	<b>Interacción</b>	Ag-Cu	Ag-Pb	Ag-Zn	Ag-Fe	Ag-Mn	Ag-As	Ag-Sb	Ag-Bi	Cu-Pb	Cu-Zn	Cu-Fe	Cu-Mn
	<b>Correlación</b>	1,00	1,00	0,85	0,94	0,97	0,97	0,99	0,96	1,00	0,84	0,94	0,97
	<b>T-Student</b>	89,20	82,69	4,77	8,24	-11,29	11,80	21,54	9,39	78,98	4,62	7,95	-10,68
<b>RESUMEN DE DATOS</b>	<b>Interacción</b>	Cu-As	Cu-Sb	Cu-Bi	Pb-Zn	Pb-Fe	Pb-Mn	Pb-As	Pb-Sb	Pb-Bi	Zn-Fe	Zn-Mn	Zn-As
	<b>Correlación</b>	0,97	0,99	0,95	0,86	0,95	0,97	0,97	0,99	0,95	0,84	0,86	0,88
	<b>T-Student</b>	11,06	23,74	8,99	4,93	8,41	-11,61	12,27	19,95	9,19	4,54	-4,90	5,36
<b>RESUMEN DE DATOS</b>	<b>Interacción</b>	Zn-Sb	Zn-Bi	Fe-Mn	Fe-As	Fe-Sb	Fe-Bi	Mn-As	Mn-Sb	Mn-Bi	As-Sb	As-Bi	Sb-Bi
	<b>Correlación</b>	0,81	0,79	0,98	0,99	0,91	0,99	0,99	0,95	0,99	0,94	0,98	0,94
	<b>T-Student</b>	4,09	3,92	-14,56	23,74	6,33	18,17	-19,28	-9,09	-16,79	8,03	15,53	7,64

**NOTA:** Elaborado por el tesista

Del cuadro anterior se interpreta:

- La plata está muy correlacionada positivamente al cobre y plomo (+89,20 y +82,69) valores favorables lo cual nos indicaría alta recuperación de plata con buenas concentraciones.
- La plata está muy correlacionada positivamente con antimonio y bismuto ( $\text{Ag-Sb}^+ +21,54$ ) y ( $\text{Ag-Bi}^+ +9,39$ ) se podría predominar posible presencia de argentotetraedrita ( $\text{Ag}_{10}(\text{Fe,Zn})_2\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ ) mineralógicamente según la regresión estadística.
- La plata tiene una alta correlación con antimonio ( $\text{Ag-Sb}^+ +21,54$ ) posible presencia de pirargirita ( $\text{Ag}_3\text{SbS}_3$ ).
- El cobre muestra una correlación positiva entre los elementos de plomo y antimonio ( $\text{Cu-Pb}^+ +78,89$ ,  $\text{Cu-Sb}^+ +23,74$  y  $\text{Pb-Sb}^+ +19,95$ ), el cual se podría denominar posible presencia de Bournonita ( $\text{PbCuSbS}_3$ ).
- El plomo muestra una correlación positiva con arsénico ( $\text{Pb-As}^+ +12,27$ ), muestra una correlación lo cual podría haber la posibilidad de incrementarse el contenido de arsénico en el concentrado de plomo, esto se podrá validar la prueba batch con el balance proyectado.

- El contenido de cobre muestra una correlación positiva con arsénico (Cu-As<sup>=</sup> +11,06) se podría denominar posible presencia de Luzonita (**Cu<sub>3</sub>AsS<sub>4</sub>**).
- La plata muestra una correlación con fierro (+8,24), donde se podrá validar con el estudio de la microscopía óptica.
- El hierro muestra una correlación alta con el arsénico Fe-As +23,74, se podría predominar en esta proporción que existe presencia de arsenopirita (FeAsS) por presentar correlación mineralógicamente.
- El manganeso muestra una correlación negativa con plata, cobre, plomo, arsénico, antimonio y bismuto, según las regresiones muestran resultados no favorables.
- El arsénico muestra correlaciones positivas con el antimonio (+8,03).
- El antimonio muestra una correlación positiva con el bismuto (+7,64).

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de regresión se formula las siguientes conclusiones:

Las altas correlaciones positivas entre los valores de plata, cobre, plomo, hierro, bismuto y antimonio muestran correlaciones positivas y tiene relación con la presencia de un mayor contenido de plata, se podría mencionar posible presencia de Cobres Grises, lo que llamaríamos sulfosales de plata (**SFAg**).

En el Tabla N°11 se registra el resumen de regresiones entre pares de elementos químicos:

## REGRESIONES CONCENTRADO ZINC

**Tabla 11 Regresiones cinética selectiva circuito zinc**

<b>RESUMEN DE DATOS</b>	<b>Interacción</b>	Ag-Cu	Ag-Pb	Ag-Zn	Ag-Fe	Ag-Mn	Ag-As	Ag-Sb	Ag-Bi	Cu-Pb	Cu-Zn	Cu-Fe	Cu-Mn
	<b>Correlación</b>	0,98	0,42	0,98	0,01	0,70	0,03	0,06	0,07	0,42	1,00	0,00	0,58
	<b>T-Student</b>	12,78	1,72	13,66	0,16	-3,03	-0,37	-0,50	0,53	1,70	117,24	-0,12	-2,35
<b>RESUMEN DE DATOS</b>	<b>Interacción</b>	Cu-As	Cu-Sb	Cu-Bi	Pb-Zn	Pb-Fe	Pb-Mn	Pb-As	Pb-Sb	Pb-Bi	Zn-Fe	Zn-Mn	Zn-As
	<b>Correlación</b>	0,09	0,03	0,02	0,43	0,10	0,52	0,03	0,06	0,38	0,00	0,60	0,08
	<b>T-Student</b>	-0,63	-0,33	0,30	1,72	0,67	-2,08	-0,63	-0,49	1,57	-0,09	-2,43	-0,60
<b>RESUMEN DE DATOS</b>	<b>Interacción</b>	Zn-Sb	Zn-Bi	Fe-Mn	Fe-As	Fe-Sb	Fe-Bi	Mn-As	Mn-Sb	Mn-Bi	As. Sb	As-Bi	Sb-Bi
	<b>Correlación</b>	0,03	0,02	0,36	0,90	0,18	0,59	0,59	0,15	0,32	0,05	0,39	0,26
	<b>T-Student</b>	-0,33	0,31	-1,49	6,04	-0,94	2,41	2,41	-0,83	-1,38	-0,45	1,61	-1,19

**NOTA:** Elaborado por el tesista

Del cuadro anterior se interpreta:

- La plata está relacionada positivamente con el cobre, plomo y zinc (+12,78, +1,72 y +13,66).
- La plata tiene una correlación negativa con el manganeso (-3,03).
- El cobre tiene correlación positiva con el plomo y zinc (+1,70, +117,24).
- El cobre tiene una alta correlación negativa con el manganeso (-2,35).
- El plomo tiene una correlación positiva con el zinc (+1,72).
- El plomo tiene una alta correlación negativa con el manganeso (-2,08).
- El zinc tiene una alta correlación negativa con manganeso (-2,43).

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de regresión se formula las siguientes conclusiones:

- Las correlaciones positivas entre los valores plata, cobre nos indican la presencia de sulfosales de plata y del mineral de cobre que a menudo se encuentra asociado a la plata es la Bornita ( $Cu_5FeS_4$ )
- La correlación positiva entre el cobre y el zinc nos indica la presencia de esfaleritas del tipo 2 (**ef2**), las cuales contribuyen a la presencia de cobre en el concentrado de zinc.

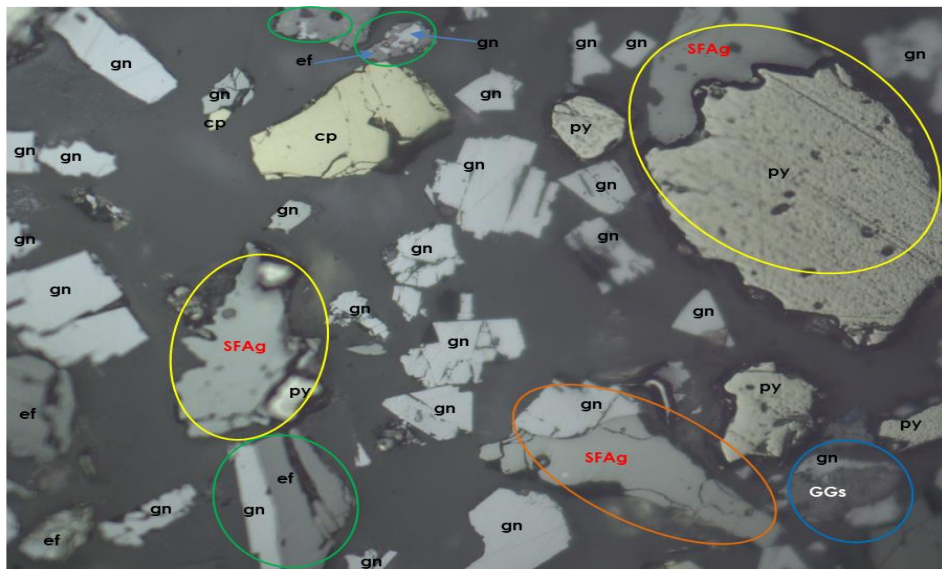
- Las correlaciones negativas entre los valores de manganeso con los valores de plata, cobre, plomo, zinc y antimonio nos indica que la presencia de estos valores no perjudica los valores de interés y la relación mineralógica entre los elementos químicos y posiblemente el mineral de manganeso presente sea la Rodocrosita.
- Existe relación positiva entre el hierro y arsénico esto significa que existe presencia de arsenopirita (FeAsS).

#### **4.3.2. Estudios de microscopía óptica mineral**

Se realizaron estudios de microscopía óptica con los concentrados bulk, zinc y el relave final. Para ello, la muestra flotada fue deslamada a malla +400, secada, homogenizada y luego pesada en 15 gramos. Esta cantidad se utilizó para la elaboración de briquetas, que posteriormente fueron pulidas y analizadas mediante microscopía.

De los estudios de microscopía óptica se obtuvieron las siguientes imágenes:

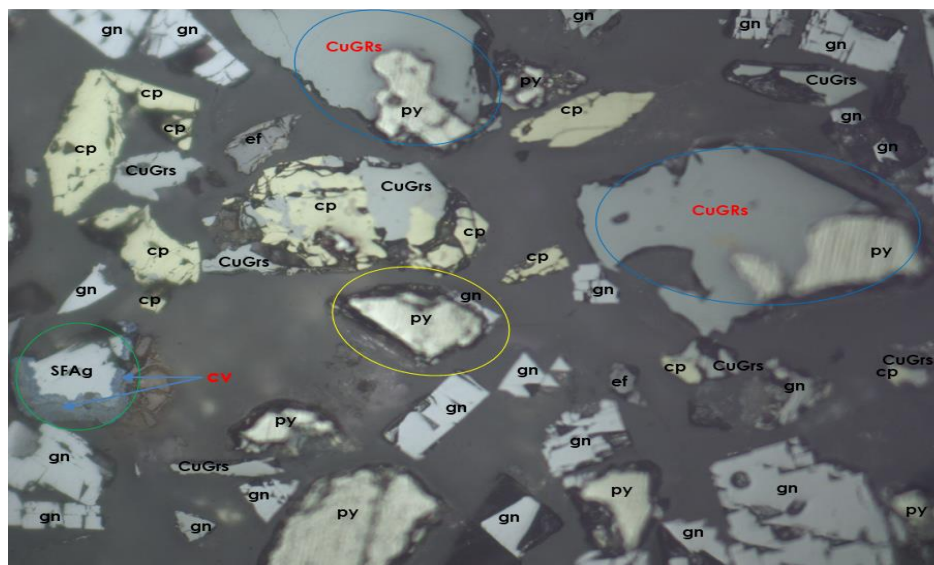
**Figura 11 Concentrado Bulk malla +400**



**NOTA: Elaborado por el tesista**

En la imagen se observa dentro del área anaranjado una partícula mixta sulfosal de plata – galena (**SFAg/gn**), dentro del azul mixta de galena – ganga (**gn/GGs**), dentro de las áreas amarillas mixta de sulfosal de plata – pirita (**SFAg/py**) y dentro de las áreas verdes mixto de galena – esfalerita (**gn/ef**). Completando la vista se observa partículas libres de galana (**gn**), esfalerita (**ef**), calcopirita (**cp**), pirita (**py**) y gangas (**GGs**).

**Figura 12 Concentrado Bulk malla +400**



**NOTA: Elaborado por el tesista**



En la imagen se observa dentro de las áreas azules partículas mixtas de cobre gris - pirita (**CuGrs/py**), dentro del área amarillo mixto de galena – pirita (**gn/py**) y dentro del área verde presencia de covelita en sulfosales de plata (**cv..SFAg**). Completando la vista se observa partículas libres de galena (**gn**), calcopirita (**cp**), mixto de calcopirita – cobre gris (**CuGrs/cp**), cobre gris (**CuGrs**), esfalerita (**ef**) y pirita (**py**).

**Figura 13 Concentrado Zn malla +400**



**NOTA:** Elaborado por el tesista

En la imagen se observa dentro del área amarillo partícula mixta de esfalerita tipo2 – ganga (**ef2/GGs**), dentro del área verde mixto de calcopirita – esfalerita – pirita (**cp/ef/py**), dentro del área azul mixto de calcopirita – esfalerita (**cp/ef**) y dentro de las áreas anaranjados esfalerita tipo2 (**ef2**: inclusiones de calcopirita en esfalerita) (**ef2**). Completando la vista se observa partículas libres de esfalerita (**ef**), pirita (**py**) y gangas (**GGs**).

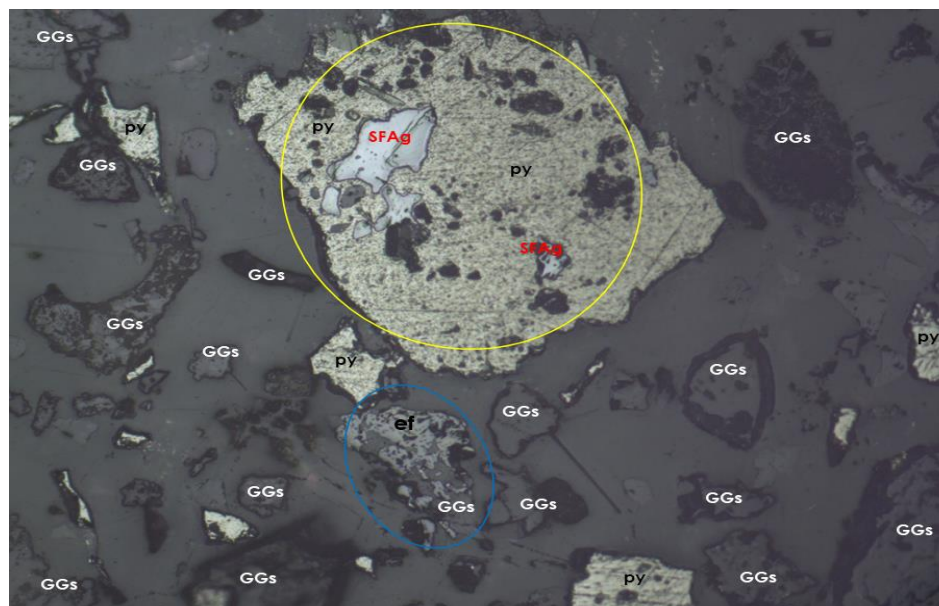
**Figura 14 Concentrado Zinc malla +400**



NOTA: Elaborado por el tesista

En la imagen se observa dentro de las áreas amarillas partículas de esfalerita tipo2 (**ef2**: inclusiones de calcopirita en esfalerita) (**ef2**) y dentro del área verde mixto de calcopirita – esfalerita (**ef/cp**). Completando la vista se observa partículas libres de esfalerita (**ef**).

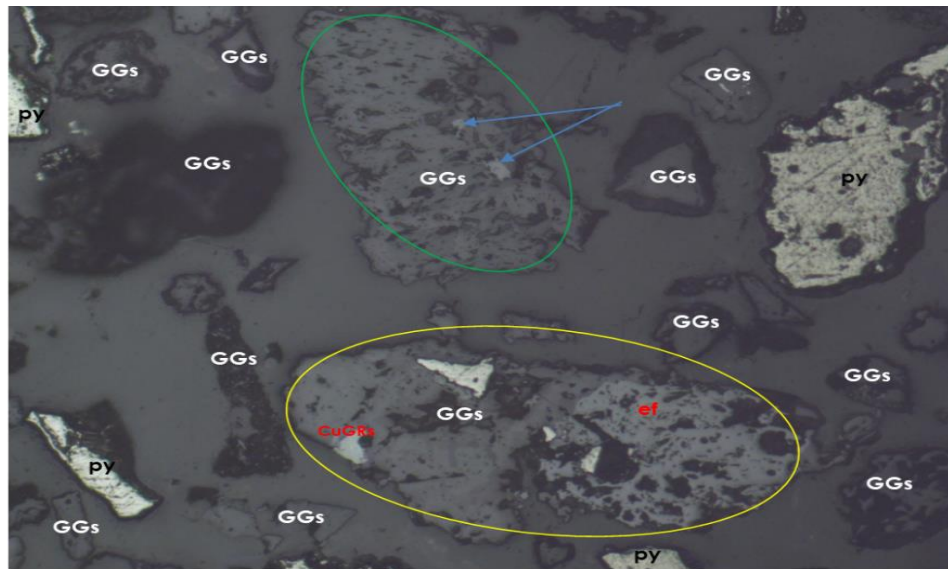
**Figura 15 Relave Final malla +400**



NOTA: Elaborado por el tesista

En la imagen se observa dentro del área amarillo una partícula mixta de sulfosal de plata – pirita (**SFAg/py**) y dentro del área azul mixto de esfalerita – ganga (**ef/GGs**). Completando la vista se observa partículas libres de gangas (**GGs**) y pirita (**py**).

**Figura 16 Relave Final malla +400**



**NOTA:** Elaborado por el tesista

En la imagen se observa dentro del área amarillo una partícula mixta de esfalerita – cobre gris – ganga (**ef/CuGrs/GGs**) y dentro del área verde una partícula de ganga con inclusiones de esfalerita (**ef.GGs**). Completando la vista se observa partículas libres de gangas (**GGs**) y pirita (**py**).

#### **4.4. Discusión de resultados**

Los resultados metalúrgicos de la prueba de flotación batch muestra una respuesta favorable al reactivo en estudio MT 4095 obteniendo los concentrados a la evaluación metalúrgica con el mineral compósito de acuerdo ley de cabeza, lográndose obtener concentrados de cobre, plomo con contenidos de plata, cuyos resultados se muestran en el siguiente cuadro:

**Tabla 12 Prueba batch estándar**

Balance Metalúrgico Proyectado	% Peso	Ensayes									Recuperación									Ratio
		Ag g/t	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Mn%	As%	Sb%	Bi%	Ag %	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Mn%	As%	Sb%	Bi %	
<b>Conc Cu</b>	0,72	7251,39	24,66	9,77	7,74	7,15	0,22	7,33	6,48	0,62	38,16	58,69	5,00	2,22	0,44	0,06	26,76	34,64	65,59	139,65
<b>Conc Pb</b>	2,18	2365,75	2,22	52,52	5,85	5,93	0,27	0,78	0,63	0,35	37,96	16,11	81,92	5,11	1,11	0,21	8,68	59,34	19,45	45,79
<b>Conc Zn</b>	4,47	189,13	0,73	0,74	44,97	5,71	0,74	0,31	0,03	0,01	6,22	10,90	2,37	80,49	2,18	1,16	7,07	2,11	1,87	22,35
<b>Relav final</b>	92,63	25,95	0,05	0,16	0,33	12,17	3,04	0,12	0,010	0,00	17,66	14,30	10,71	12,18	96,27	98,58	57,48	3,91	13,09	
<b>Cab Calc</b>	100,00	136,09	0,30	1,40	2,50	11,71	2,86	0,20	0,07	0,01	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	

**RECUPERACIONES**

% Ag	% Cu	% Pb	% Zn
82,34	58,69	81,92	80,49

**NOTA:** Elaborado por el tesista

**Tabla 13 Prueba batch MT 4095 prueba I**

Balance Metalúrgico Proyectado	% Peso	Ensayes										Recuperación										Ratio
		Ag g/t	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Mn%	As%	Sb%	Bi%	Ag %	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Mn%	As%	Sb%	Bi %			
<b>Conc Cu</b>	0,76	7910,73	25,45	14,03	4,05	9,34	0,22	8,32	6,59	0,53	42,93	61,50	7,57	1,22	0,60	0,06	33,10	22,85	61,70	132,31		
<b>Conc Pb</b>	2,02	2068,32	2,91	53,45	3,51	8,75	0,33	0,89	0,57	0,21	30,68	18,78	77,06	2,83	1,51	0,23	9,45	23,81	14,25	49,55		
<b>Conc Zn</b>	4,41	316,51	0,61	0,60	48,51	7,11	0,71	0,07	0,03	0,01	10,25	8,57	1,88	85,53	2,68	1,09	1,57	1,79	1,85	22,69		
<b>Relav final</b>	92,82	22,20	0,04	0,20	0,28	12,01	3,04	0,11	0,019	0,01	15,14	11,16	11,16	10,41	95,21	98,62	55,87	51,55	22,20			
<b>Cab Calc</b>	100,00	136,09	0,31	1,40	2,50	11,71	2,86	0,19	0,08	0,02	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0			

**RECUPERACIONES**

% Ag	% Cu	% Pb	% Zn
84,86	61,50	77,06	85,53

**NOTA:** Elaborado por el tesista

**Tabla 14 Prueba batch MT 4095 prueba II**

Balance Metalúrgico Proyectado	% Peso	Ensayes										Recuperación								Ratio
		Ag g/t	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Mn%	As%	Sb%	Bi%	Ag %	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Mn%	As%	Sb%	Bi %	
<b>Conc Cu</b>	0,91	7568,73	24,46	8,75	5,30	11,34	0,31	5,86	7,02	0,54	50,49	65,85	5,67	1,90	0,88	0,10	28,24	47,66	78,61	110,15
<b>Conc Pb</b>	2,04	1941,48	2,36	57,36	4,81	8,87	0,42	0,35	0,32	0,22	29,07	14,26	83,48	3,87	1,54	0,30	3,79	43,70	8,04	49,08
<b>Conc Zn</b>	4,23	154,70	0,56	0,52	49,50	6,95	0,69	0,05	0,02	0,00	4,81	7,03	1,56	82,68	2,51	1,02	1,17	1,81	1,04	23,64
<b>Relav final</b>	92,82	22,92	0,05	0,14	0,32	11,99	3,03	0,14	0,011	0,00	15,63	12,87	9,28	11,55	95,07	98,58	66,80	6,83	12,31	
<b>Cab Calc</b>	100,00	136,09	0,34	1,40	2,53	11,71	2,86	0,19	0,08	0,01	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	

**RECUPERACIONES**

% Ag	% Cu	% Pb	% Zn
84,37	65,85	83,48	82,68

**NOTA:** Elaborado por el tesista

**Tabla 15 Prueba batch MT 4095 prueba III**

Balance Metalúrgico Proyectado	% Peso	Ensayes										Recuperación								Ratio
		Ag g/t	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Mn%	As%	Sb%	Bi%	Ag %	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Mn%	As%	Sb%	Bi %	
<b>Conc Cu</b>	0,83	7200,36	25,49	8,19	6,01	8,07	0,25	6,07	5,43	0,64	43,73	59,52	4,84	1,99	0,57	0,07	26,41	40,70	64,21	120,98
<b>Conc Pb</b>	2,13	2194,12	3,30	55,14	6,31	7,99	0,23	0,84	0,62	0,33	34,39	19,88	84,01	5,38	1,46	0,17	9,43	54,07	18,92	46,88
<b>Conc Zn</b>	4,21	179,66	0,73	1,36	48,38	6,13	0,80	0,08	0,05	0,01	5,55	8,64	4,08	81,43	2,20	1,18	1,70	1,86	3,03	23,77
<b>Relav final</b>	92,83	23,93	0,05	0,11	0,30	12,08	3,04	0,13	0,010	0,00	16,32	11,95	7,08	11,20	95,77	98,58	62,47	3,37	13,85	
<b>Cab Calc</b>	100,00	136,09	0,35	1,40	2,50	11,71	2,86	0,19	0,07	0,01	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	

**RECUPERACIONES**

% Ag	% Cu	% Pb	% Zn
83,68	59,52	84,01	81,43

**NOTA:** Elaborado por el tesista

De los cuadros anteriores se pueden realizar los siguientes comentarios de recuperación: reactivo estándar – Reactivo MT 4095 donde se realizó tres réplicas de pruebas batch.

- Analizando los resultados de los balances proyectados estándar se obtienen recuperaciones de plata total de 82,34%, con el reactivo MT 4095 se obtiene recuperación de plata 84,86% prueba N°1, 84,37% prueba N°2 y 83,68% prueba N°3, las tendencias son claras que con el uso del reactivo MT 4095 la recuperación se incrementa mostrando los resultados el uso del reactivo colector secundario las tendencias son claras para poder usarlo a nivel industrial.
- El concentrado de cobre muestra una calidad de 24,66% contenido de plata 7251,39 g/t, contenido de plomo 9.77%, activación de zinc 7,74%, contenido de fierro 7,15%, contenido de arsénico 7,33% y contenido de antimonio 6,48% con recuperación 58,69%. muestra un concentrado con buena concentración de plata y es importante controlar la presencia de arsénico todo con respecto a la prueba estándar.
- El concentrado de cobre muestra una calidad de 25,45% contenido de plata 7910,73 g/t, contenido de plomo 14.03%, activación de zinc 4,05%, contenido de fierro 9,34%, contenido de arsénico 8,32% y contenido de antimonio 6,59% con recuperación 61,50%. muestra un concentrado con buena concentración de plata y es importante controlar la presencia de arsénico todo con respecto a la prueba N°1.
- El concentrado de cobre muestra una calidad de 24,46% contenido de plata 7568.63 g/t, contenido de plomo 8,75%, activación de zinc 5,30 %, contenido de fierro 11,34%, contenido de arsénico 5,86% y contenido de antimonio

7,02% con recuperación 65,85%. muestra un concentrado con buena concentración de plata y es importante controlar la presencia de arsénico todo con respecto a la prueba N°2.

- El concentrado de cobre muestra una calidad de 25,49% contenido de plata 7200,36 g/t, contenido de plomo 8,19%, activación de zinc 6,01 %, contenido de fierro 8,07%, contenido de arsénico 6,07% y contenido de antimonio 5,43% con recuperación 59,52%. muestra un concentrado con buena concentración de plata y es importante controlar la presencia de arsénico todo con respecto a la prueba N°3.
- Las recuperaciones del plomo muestran 81,92%, 77,06%, 83,48% y 84,01% respectivamente, los resultados muestran las mismas tendencias.
- Las recuperaciones de zinc muestran 80,49%, 85,53%, 82,68% y 81,43% respectivamente, obteniendo las tendencias muy cercanas en cada uno de ellos.



## CONCLUSIONES

1. El mineral presenta una dureza de 14,11 kW-h/T, lo que representa la dureza del mineral en el proceso. Se muestra que los valores de plata y cobre se encuentran por debajo del presupuesto anual, con 145,22 g/t de plata frente a 152,40 g/t y un contenido de cobre de 0,23% frente al objetivo de 0,36%. Sin embargo, los valores de plomo y zinc superan las expectativas, con un contenido de plomo de 2,06% frente al presupuesto de 1,52% y un contenido de zinc de 5,01% frente a 2,38%.
2. El tiempo de molienda óptima para alcanzar un 55% de material pasante malla -200 es 15,35 minutos. Los reactivos fueron preparados en distintas concentraciones: CNNa y mezcla de xantatos al 1%, cal, sulfato de cobre, sulfato de zinc al 10% y H-150 al 100%. El reactivo MT-4095 se preparó al 1% con un consumo de 11,25 g/t, mientras que el bicromato se preparó al 2%, con un consumo de 40 g/t. El cianuro de sodio se utilizó a un nivel de 35 g/t para el control de la flotación y el consumo de cal fue de 1800 g/t, que se encuentra por debajo del rango habitual de 2500 g/t, debido al pH superior a 8,30. Y el sulfato de cobre mostró un consumo de 200 g/t, valor dentro del rango esperado de 194 g/t.
3. Los resultados de los balances proyectados estándar se obtienen recuperaciones de plata total de 82,34%, con el reactivo MT 4095 se obtiene recuperación de plata 84,86% prueba N°1, 84,37% prueba N°2 y 83,68% prueba N°3, las tendencias son claras que con el uso del reactivo MT 4095 la recuperación se incrementa mostrando los resultados el uso del reactivo colector secundario, las tendencias son claras para poder usarlo a nivel industrial.

## **RECOMENDACIONES**

1. El estudio se realizó utilizando reactivos estándar empleados en la planta, complementado con pruebas con el reactivo MT 4095, el cual mostró resultados favorables. Se recomienda continuar las investigaciones utilizando este reactivo para evaluar su impacto a mayor escala y determinar su potencial beneficio en el proceso.
2. Se recomienda continuar con los estudios utilizando el reactivo MT 4095, ampliando las pruebas a minerales provenientes de distintas zonas de explotación. Antes de realizar estas pruebas, sería adecuado preparar muestras compuestas (compositos) que representen las características promedio de cada zona. Este enfoque permitirá evaluar de manera integral la efectividad del reactivo MT 4095 en diferentes tipos de mineral y determinar su potencial aplicación en distintas áreas de la operación minera, mejorando así el proceso de recuperación.
3. Es fundamental controlar el tamaño de partícula y el tiempo de molienda en cada prueba para asegurar la consistencia y la calidad de los resultados obtenidos. El tamaño de partícula influye directamente en la eficiencia de los procesos de flotación y separación, mientras que un tiempo de molienda adecuado garantiza la liberación óptima de los minerales valiosos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arana, J. Carranza, J.** (1998) “Influencia de la dosificación del par, Z-11 y densidad de pulpa sobre la recuperación de plomo en el mineral de sociedad minera el Brocal S.A.” Tesis para optar el título de Ingeniero Metalurgista. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo- Perú. 47p.
- Apaza, O.** (2015) “Fundamentos y aplicaciones de la flotación de minerales”. Blog InterMet Consultores Metalúrgicos. 5p.
- Chia Aquije, Juan.** (1990) “Operaciones Unitarias en Procesamiento de Minerales”. Cap. 7-9.
- Guerrero, G.** (2010) “Metodología de evaluación y remoción de xantatos en procesos de flotación”. Tesis para optar el Grado Académico de Maestro en Ciencias con mención en Minería y medio Ambiente. Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima-Perú. 58p.
- Guitar, E. Bruce, T. Bruey, F. Nagaraj, D. Riccio, P. Thomas, W.** (2015) “Promotor AEROPHINE 3418A.Cytec Industries. Disponible en: [http://www.expominmexico.com.mx/pdf/pres/c4/09/c4\\_9-2.pdf](http://www.expominmexico.com.mx/pdf/pres/c4/09/c4_9-2.pdf) pp. 5-6.
- Jimenez, J. Ayala, J. Quijahuamán, J. Ruiz, M. (2012) “Optimización del proceso de flotación de plomo, plata y zinc en la planta concentradora Mallay de la compañía de Minas Buenaventura S.A. A”. Disponible en: <http://www.convencionminera.com/perumin31/images/perumin/mencion-honrosa/ttpp>. 4-9.
- Laiza, F. Zegarra, T.** (2016) “Influencia del potencial de hidrogeno (pH) y la granulometría sobre la ratio de concentración y el porcentaje de recuperación de oro (Au) y cobre (Cu) en la flotación de un mineral tipo sulfuroso con alto

contenido de plata”. Tesis para optar el título de Ingeniero Metalurgista. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo-Perú. 66p.

**León, J. Ruiz, C.** (2011) “efecto del pH, dosificación de reactivo A-31 y tiempo de molienda sobre la recuperación de Pb-Ag en minerales oxidados procedentes de la sierra de la Libertad”. Tesis para optar el título de Ingeniero Metalurgista. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo-Perú. 47p.

**Linares, N.** (2011) “Cinética del proceso de flotación de espumas”, diapositivas. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/66201828/Capitulo-III-cinetica-del-procesode-flotacion-de-minerales>

**Linares, N.** (2010) “Principios de la flotación de minerales”, diapositivas. Disponible en:

<http://es.slideshare.net/nlinaresg/capitulo-i-principios-de-la-flotacion-de-minerales>

**Linares, N.** (2010) “Agentes químicos de flotación de espumas”, diapositivas. Disponible en: <https://es.slideshare.net/nlinaresg/capitulo-ii-4139513>

**Sutulov, Alexander.** (1963) “Flotación de Minerales”, Universidad de Concepción. Instituto de investigaciones tecnológicas. Primera Edición. Cap. 2-5.

**Yianatos, B.** (2005) “Flotación de Minerales”, Universidad Técnica Federico Santa María. Departamento de procesos Químicos, Biotecnológicos y ambientales. Disponible en:

<https://es.scribd.com/document/132342529/Yianatos-Flotacion-de-Minerales-UTFSM>

## Anexos

### Instrumentos de Recolección de Datos

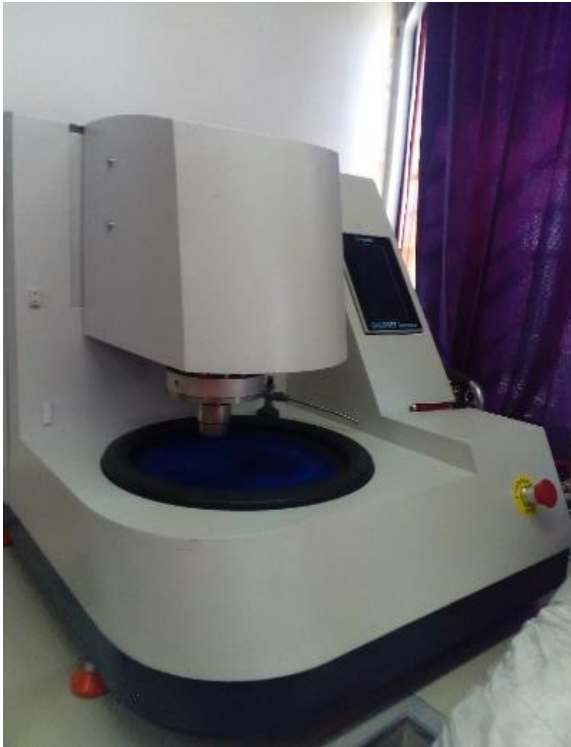
Anexo 1: Muestra representativa para la realización de pruebas.



Anexo 2: Equipos de laboratorio



Anexo 3: Microscopia Óptica, Pulidora Metkon y Briqueta



#### Anexo 4: Matriz de consistencia

Título: <b>Evaluación Metalúrgica del Reactivo Colector Secundario MT-4095 para el mejoramiento en la Recuperación de Plata en Pan American Silver - Huarón S.A. - 2024</b>				
<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>	<b>VARIABLES INDEPENDIENTE</b>	<b>METODOLOGÍA MÉTODO</b>
¿Cómo hacer la evaluación metalúrgica el reactivo colector secundario MT-4095 para el mejoramiento en la recuperación de plata en Pan American Silver Huarón?	Evaluar metalúrgicamente el reactivo colector secundario MT-4095 para el mejoramiento en la recuperación de plata en Pan American Silver Huarón.	Si evaluamos metalúrgicamente el reactivo colector secundario MT-4095 entonces podemos hacer el mejoramiento en la recuperación de plata en Pan American Silver Huarón	Evaluación metalúrgica del reactivo colector secundario MT-4095.	Aplicada - Cuantitativa
<b>ESPECÍFICOS</b>	<b>ESPECÍFICOS</b>	<b>ESPECÍFICOS</b>	<b>DEPENDIENTE</b>	<b>TIPO</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿Cómo realizar el análisis de las propiedades químicas y de la flotación en la etapa de flotación bulk con el uso de reactivo colector secundario MT-4095?</li> <li>2. ¿Qué podríamos proponer como ajustes en los parámetros de operación de la planta concentradora para optimizar el rendimiento con el reactivo colector secundario MT-4095?</li> <li>3. ¿Cómo realizar las pruebas de flotación a escala de laboratorio utilizando muestras representativas de la mena polimetálica bajo las condiciones experimentales definidas, registrando datos de recuperación, grado de los concentrados y consumo de reactivos?</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Analizar las propiedades químicas y de la flotación en la etapa de flotación bulk con el uso de reactivo colector secundario.</li> <li>2. Proponer ajustes en los parámetros de operación de la planta concentradora para optimizar el rendimiento con el reactivo colector secundario MT-4095.</li> <li>3. Realizar pruebas de flotación a escala de laboratorio utilizando muestras representativas de la mena polimetálica bajo las condiciones experimentales definidas, registrando datos de recuperación, grado de los concentrados y consumo de reactivos.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Si analizamos las propiedades químicas y la flotación en la etapa de flotación bulk con el uso de reactivo colector secundario se va mejorar la recuperación de plata.</li> <li>2. Si proponemos ajustes en los parámetros de operación de la planta concentradora entonces podemos optimizar el rendimiento con el reactivo colector secundario MT-4095.</li> <li>3. Si realizamos pruebas de flotación a escala de laboratorio utilizando muestras representativas de la mena polimetálica bajo las condiciones experimentales definidas, registrando datos de recuperación, grado de los concentrados y consumo de reactivos entonces podemos mejorar la recuperación de la plata.</li> </ol>	Mejoramiento en la recuperación de plata en Pan American Silver Huarón.	Experimental
				<b>DISEÑO</b>
				Explicativa