

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



## **T E S I S**

**Caracterización geometalúrgica del mineral existente en las  
vetas de la zona norte, para determinar su comportamiento  
metalúrgico – unidad minera Huarón, 2021**

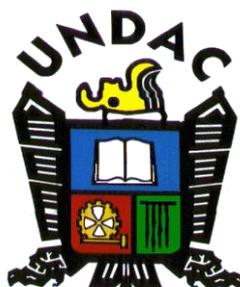
**Para optar el Título Profesional de:  
Ingeniero Metalurgista**

**Autor: Bach. Max Paul MORALES MATEO**

**Asesor: Dr. Hildebrando Anival CÓNDOR GARCÍA**

**Cerro de Pasco – Perú - 2022**

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



**T E S I S**

**Caracterización geometalúrgica del mineral existente en las  
vetas de la zona norte, para determinar su comportamiento  
metalúrgico – unidad minera Huarón, 2021**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

---

**Dr.Sc. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA**

**PRESIDENTE**

---

**Dr. Rubén Edgar PALOMINO ISIDRO**

**MIEMBRO**

---

**Dr. Cayo, PALACIOS ESPÍRITU**

**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

A mi madre por ser mi ejemplo de sacrificio y dedicación, A mi padre por haber sido mi guía en la vida, Mi ejemplo a seguir y mi motivación Y a mi familia por su apoyo integro.

## **AGRADECIMIENTO**

En primera instancia agradecer a Dios por brindarme vida y salud, iluminar y guiar mi camino hacia mis objetivos.

Doy gracias a mi madre, esposa y hermanos por su apoyo incondicional que siempre me han brindado en todo momento.

Agradezco a la Universidad Daniel Alcides Carrión por formarme como ingeniero metalúrgico.

Agradezco a la unidad mineral Huaron en especial al área de procesos metalúrgicos por contribuir en el desarrollo del presente trabajo.

## RESUMEN

El trabajo de investigación consiste en la caracterización geometalúrgica del mineral de las vetas de la Zona Norte de la Unidad minera Huarón. La caracterización geometalúrgica se realizó a las vetas: Pozo D Ramal Labor subnivel (SN) 200B y Llacsacocha tajo (Tj) 251 del NV 250 zona norte; con la finalidad de conocer su comportamiento metalúrgico en la flotación de estos minerales.

El problema de la empresa es la falta de datos de análisis en la etapa de explotación del yacimiento, que repercute en la flotación del mineral de valor económico. En el estudio se aplicó el diseño experimental aplicado. Se obtuvo la recolección de datos de la caracterización físico químico del mineral, pruebas de dureza, moliendabilidad, pruebas metalúrgicas y microscopia óptica de ley de cabeza, concentrado y relave.

Los resultados muestran que el mineral Veta Pozo D Ramal labor subnivel (SN) 200B, presenta una ley alta en Ag, regular contenido de Zn y baja ley en Plomo (Pb) y cobre (Cu), el contenido de Fe es bajo. Con work index ( $W_i$ ) = 21,66 kw-h/Tn. En la flotación se observa desplazamiento de Plata (Ag) y Zinc (Zn) al relave, por presencia de sulfosales de Plata (Ag) y Esfalerita (ZnS) con inclusiones de ganga. La recuperación del Zn es de 77,55% con una calidad 57,67%. La Veta Llacsacocha Tajo (Tj) 251, presenta altos contenidos de Plata (Ag) y Zinc (Zn); regulares contenidos en Cobre (Cu) y Plomo (Pb), el Hierro (Fe) es alto. Con work index ( $W_i$ ) = 12,82 kw-h/Tn. En la flotación se observa desplazamientos de Zinc (Zn) en 0,63% y Plata (Ag) en 66,62 gr/Tn al relave, este efecto es causado por factores mineralógicos La recuperación del Zn es 89,54% con una calidad de 63,26%. Conclusión, la mineralogía tiene diferente comportamiento metalúrgico.

**Palabra clave.** *Geometalúrgia, vetas, yacimiento, minerales*

## ABSTRACT

The research work consists of the geometallurgical characterization of the mineral from the vein in the Northern Zone of the Huarón mining unit. Geometallurgical characterization was carried out on the veins: Well D, North Zone Branch, Labor SN 200B and Llacsacocha, North Zone, Level 250, Tajo 251; in order to know their metallurgical behavior in the flotation of these minerals.

The company's problem is the lack of analysis data in the exploitation stage of the deposit, which affects the flotation of the mineral of economic value. The applied experimental design was applied in the study. The data collection was obtained from the physical-chemical characterization of the mineral, hardness tests, grinding, metallurgical tests and optical microscopy of the head, concentrate and tailings grade.

The results show that the mineral Veta Pozo D, Ramal Zona Norte, Labor SN 200B, presents a high grade in Ag, regular content of Zn and low grade in Pb and Cu, the content of Fe is low.  $W_i = 21.66 \text{ kw-h / Tn}$ . In the flotation, displacement of Ag and Zn to the tailings is observed, due to the presence of sulfosalts of Ag and ZnS with gangue inclusions. The recovery of Zn is 77.55% with a quality 57.67%. The Llacsacocha Vein, North Zone, Level 250, Pit 251, presents high Ag and Zn contents; regular Cu and Pb contents, Fe is high.  $W_i = 12.82 \text{ kw-h / Tn}$ . In the flotation, displacements of Zn are observed in 0.63% and Ag in 66.62 gr / Tn) to the tailings, this effect is presented for mineralogical reasons. The recovery of Zn is 89.54% with a quality of 63.26%. Conclusion, the mineralogy has different metallurgical behavior.

**Keyword.** *Geometallurgy, veins, reservoir, minerals*

## INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo de tesis es llevar a cabo la caracterización geometalúrgica del mineral de las Vetas de la Zona Norte, para determinar el comportamiento metalúrgico de la Unidad Minera Huarón. Las pruebas consintieron en determinar análisis químico, la composición mineralógica, índice de trabajo, malla de liberación, análisis del ensaye metalúrgico y análisis de regresión de elementos.

La caracterización geometalúrgica de los minerales es importante porque nos permite determinar las características físicas químicas del mineral, dureza, moliendabilidad, consumo de reactivos y la recuperación metalúrgica, además, el estudio de la ley de cabeza, concentrado y relave mediante la microcopia óptica. Parámetros importantes en una operación del yacimiento minero para realizar el blending y mantener una recuperación del contenido metálico en un rango de 85 a 90 %.

A continuación, se muestra cómo se estructura la tesis para lograr el objetivo:

En el capítulo I, se presenta el planteamiento del problema, objetivos y las razones por la que se decide realizar el estudio de caracterización geometalúrgico de los minerales de las vetas de la Zona Norte y su influencia en el comportamiento metalúrgico.

En el Capítulo II, Contiene del marco teórico, se presenta los antecedentes de estudio, el sustento teórico y científico relacionado con la geometalúrgia, bases de la geometalúrgia, pruebas metalúrgicas y la geología del yacimiento minero de la Zona Norte.

En el Capítulo III, concerniente a la metodología, en esta sección se sustenta como se desarrolló la investigación con el diseño metodológico y la toma y recolección de datos informativos y procesamiento de los datos.

En el Capítulo IV, discusión y resultados, se presentan todos los datos informativos de la investigación, cumpliéndose con los objetivos de estudios y la relación de las variables mediante la prueba de hipótesis, y finalizar con la conclusión.

## ÍNDICE

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**RESUMEN**

**ABSTRACT**

**ÍNDICE**

### **CAPITULO I**

#### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

<b>1.1. Identificación y determinación de problema.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Delimitación de la investigación.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. Formulación del problema.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3.1. Problema general.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3.2. Problema específico.....</b>	<b>2</b>
<b>1.4. Formulación de Objetivos.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4.1. Objetivos generales.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4.2. Objetivos específicos.....</b>	<b>3</b>
<b>1.5. Justificación de la investigación.....</b>	<b>3</b>
<b>1.6. Limitaciones de la investigación.....</b>	<b>4</b>

### **CAPITULO II**

#### **MARCO TEÓRICO**

<b>2.1. Antecedentes de estudio.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Bases teóricas – científicas.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.1. Geometalúrgia.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.2. Propósitos del estudio geometalúrgico.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.3. Bases de la geometalurgia.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.4. Información que puede aportar la geometalurgia.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.5. Implementación del modelo geometalúrgico.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2.6. Caracterización de muestras geometalúrgicas.....</b>	<b>16</b>

2.2.7. Pruebas metalúrgicas .....	18
2.2.8. Vetas.....	23
2.2.9. Geología.....	27
2.2.10. Geología económica .....	28
2.2.11. Tipo y forma de yacimiento .....	29
2.2.12. Descripción de veta.....	31
2.3. Definición de términos .....	32
2.4. Formulación de hipótesis.....	33
2.5. Identificación de variables .....	33
2.6. Definición operacional de variables e indicadores .....	34

### **CAPITULO III**

#### **METODOLOGIA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

3.1. Tipo de investigación .....	35
3.3. Método de investigación .....	36
3.4. Diseño de investigación .....	36
3.5. Población y muestra.....	37
3.5.1. Población .....	37
3.5.2. Muestra .....	37
3.6. Técnica e instrumento de recolección de datos.....	38
3.7. Selección, validación y confiabilidad de instrumentos de estudio .....	39
3.8. Técnica de procesamiento de datos .....	40
3.9. Tratamiento estadístico.....	40
3.10. Orientación ética filosófico y epistémica.....	41

### **CAPITULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. Descripción del trabajo de campo.....	42
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados .....	43
4.3. Prueba de hipótesis.....	71
4.4. Discusión de resultados .....	73

**CONCLUSIONES**

**RECOMENDACIONES**

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**ANEXO**

## **CAPITULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

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

La unidad minera Huarón, es un centro minero de mediana minería, que tiene un yacimiento muy complejo, con una mineralización muy variada en sus distintas vetas y niveles de explotación que dificulta en el procesamiento metalúrgico y por tal razón es la necesidad de integrar los conocimientos geológicos, metalúrgicos y químicos (geometalúrgia) con el fin de evitar el incremento de gastos en el proceso.

El problema que tenemos en la empresa es en la etapa de explotación debido a la falta de datos de análisis del yacimiento de vetas de la Zona Norte que repercute en el tratamiento metalúrgico. Por tal motivo, debemos conocer las principales características del mineral, como el valor económico del mineral y el tipo de ganga que lo acompaña. Además, debemos conocer las características geometalúrgicos y los factores físicos químicos del mineral y la recuperación del mineral de interés. Por ello, hay que evaluar constantemente el yacimiento y las unidades geológicas, mineras y metalúrgicas. La extracción de recursos minerales requiere una planificación geometalúrgica.

La exploración de yacimientos en explotación utiliza la planificación geometalúrgica. Los modelos de este tipo suponen que toda la caracterización de cada muestra debe hacerse antes de que el mineral entre en una planta de procesamiento, como la definición de la triturabilidad (incluyendo la determinación del índice de trabajabilidad), así como la definición de la flotación del mineral (incluyendo la determinación del rendimiento de la disolución del disolvente y el consumo de reactivos).

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

El uso de un sistema de control geometalúrgico es importante debido, a que nos brinda mayor información para un óptimo tratamiento metalúrgico. Con una adecuada caracterización del mineral desde el comienzo de explotación del yacimiento. Es decir, conocer que minerales se tiene y el valor económico que representa, los tipos de ganga que van acompañado y su repercusión de comportamiento frente a un tratamiento metalúrgico.

La caracterización geometalúrgica aplicado a las vetas pozo ramal D y llacsacocha de explotación de la zona norte nivel 250, podremos optimizar el proceso o mejorar en el uso de los reactivos, aumentar la recuperación de minerales valiosos, minimiza el riesgo de las nuevas operaciones y el incremento en las utilidades económicas al tratar el mineral.

## **1.3. Formulación del problema**

### **1.3.1. Problema general**

¿Cuál es la influencia de la caracterización geometalúrgico del mineral de las Vetas del nivel (Nv) 250 Zona Norte, en el comportamiento metalúrgico de la Unidad Minera Huarón 2021?

### **1.3.2. Problema específico**

- ¿Cómo caracterizar geometalúrgicamente a los minerales de la Veta Pozo D Ramal Labor subnivel (SN) 200B del nivel (Nv) 250 zona norte y determinar las condiciones de flotación?
- ¿Cómo caracterizar geometalúrgicamente a los minerales de la Veta Llacsacocha Tajo 251 del nivel (Nv) 250 zona norte y determinar las condiciones de flotación?

#### **1.4. Formulación de Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivos generales**

Realizar la caracterización geometalúrgico del mineral de las Vetas del nivel (Nv) 250 Zona Norte, para determinar el comportamiento metalúrgico de la Unidad Minera Huarón, 2021.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar geometalúrgicamente al mineral de la Veta Pozo D Ramal Labor subnivel (SN) 200B y determinar las condiciones de flotación.
- Caracterizar geometalúrgicamente al mineral de la Veta Llacsacocha Tajo 251 y determinar las condiciones de flotación.

#### **1.5. Justificación de la investigación**

La unidad minera Huarón se encarga de exploración, explotación y beneficio de minerales con altos contenidos de plata, ubicado en la sierra central del Perú, desempeña sus operaciones cumpliendo sus políticas con el medio ambiente, seguridad y responsabilidad social con sus colaboradores y comunidades de influencia.

El trabajo de investigación desarrollado, busca conocer bien las principales características de los minerales de los tajos de producción de la Zona Norte nivel 250 (veta pozo d ramal y llacsacocha) de la unidad minera Huaron, mediante la caracterización según el modelo de control geometalurgico, para optimizar el proceso metalúrgico.

Se recibe las muestras de mineral en diferentes tiempos de las vetas pozo D ramal del subnivel (SN) 200B y llacsacocha del tajo 251, todos de la zona norte nivel 250 por parte de área de geología, para caracterizar mineralógicamente, determinar el índice de trabajo y comprender las respuestas de los minerales a los procesos de conminución y flotación.

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

Para el avance de la investigación se cuenta con bibliografía limitada, no se pudo mostrar algunos datos en este trabajo por trato de confidencialidad con la empresa, El factor de tiempo dificultó el progreso del estudio.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de estudio

(Nina Vilca, 2019) Presentó la tesis **caracterización mineralógica e implicancias geometalúrgicas en el yacimiento pórfido-Skarn del Batolito Andahuaylas-Yauri**. Se utilizó una técnica geometalúrgica para caracterizar cuatro muestras: tres intrusivos y un skarn de magnetita del depósito de pórfido-skarn del batolito Andahuaylas-Yauri en Tintaya, Espinar-Cusco.

El problema es que no hay suficientes estudios sobre la caracterización mineralógica y geometalúrgica que nos ayuden a averiguar cómo se comportan los minerales en los procesos metalúrgicos de la planta.

Realizado el estudio llega a las siguientes conclusiones:

- La mineralización de cobre en intrusivos está conformada con mayor predominancia por sulfuros primarios calcopirita, seguidos de sulfuros secundarios bornita-covelita, el skarn de magnetita está conformada principalmente por calcopirita y trazas de bornita.
- Las pruebas de flotación y trituración (Work Index - JKDWT) indican que, para los intrusivos Cuarzo, monzodiorita (PM-2), Monzodiorita (DIO) de alta ley y el Skarn de magnetita (SK), son factibles el envío y procesamiento a planta metalúrgica; tomando como consideración realizar un buen blending

(mezcla) entre los intrusivos (PM-2 y DIO) para reducir el impacto del consumo de energía. Enviar volúmenes bajos de skarn en la mezcla con los intrusivos, debido a su alto contenido de carbonatos y arcillas, siendo estos minerales perjudiciales para intrusivos en cantidades elevadas en el proceso metalúrgico.

- No es factible el tratamiento metalúrgico de la Cuarzo monzodiorita PM-1, y de la monzodiorita (DIO) de baja ley, debido al alto contenido de carbonatos y arcillas (caso de la PM-1).
- La arcilla con mayor predominancia es la montmorillonita (esmectita) con un porcentaje de 2-4% en intrusivos, y en skarn con 8%, considerar que no se envíe volúmenes altos de skarn junto con los intrusivos para no perjudicar el proceso metalúrgico.
- Los resultados de esta tesis dan a conocer nuevas metodologías y técnicas para una caracterización mineralógica en la evaluación geometalúrgica en depósitos pórfido – skarn, la cual puede ser replicada en otras operaciones mineras que tengan similares características mineralógicas.

(Tabares Ocampo, 2020), presenta la tesis **Caracterización mineralógica y química orientada a geometalúrgia de los depósitos auríferos de un sector del Distrito Minero de La Llanada – Departamento de Nariño (Colombia)**. El objetivo es conocer y describir los yacimientos de oro de una parte del Distrito Minero de La Llanada desde una perspectiva geológica, mineralógica y química.

Ha habido yacimientos de oro que se han considerado complicados desde el punto de vista de la extracción, debido a características como el oro unido a sulfuros reactivos o el oro en pátinas. Comprender los retos que los mineros del oro pueden encontrar a lo largo del proceso de recuperación les

permite idear mejores métodos. Una vez concluida la investigación, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Se encontraron un total de 79 granos de oro en el estudio petrográfico de las minas Canadá, La Palmera, El Páramo y La Golondrina Norte. Estos granos se encontraron en su mayoría alojados en cuarzo y sulfuros como arsenopirita, pirrotita, telurobismutita, calcopirita y en menor cantidad galena. El As, Bi, Te y Cu son los principales componentes químicos del oro.
- Entre 50 y 300 micras de longitud, la mayoría del oro es diminuto, con la excepción de la veta La Golondrina Norte, donde se detectaron granos de oro de hasta 1 mm de longitud... En la textura de los granos de oro y en las interacciones de los bordes se descubrieron texturas simples, que van desde los bordes sinuosos hasta los rectos.
- Utilizando los estándares geometalúrgicos, el yacimiento de La Llanada es un depósito de oro de complejidad media a alta debido a las características de textura y a las relaciones de borde entre los granos de oro y los minerales de la mena que facilitan la liberación durante los procesos de molienda. Además, los granos más grandes (menos frecuentes en la mena) contienen el mayor porcentaje de oro en peso y pueden ser recuperados con métodos gravimétricos. Los minerales refractarios y cianurados, en cambio, suponen un reto durante los métodos de beneficio no convencionales necesarios para extraer el oro de menos de 50 micras.

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

### **2.2.1. Geometalúrgia**

El muestreo geológico se utiliza para seleccionar una serie de muestras para las pruebas con el fin de identificar los parámetros metalúrgicos y la distribución de estas características a través de un

depósito utilizando procedimientos geoestadísticos aprobados para ayudar en el proceso de modelado metalúrgico. (SGS, 2007)

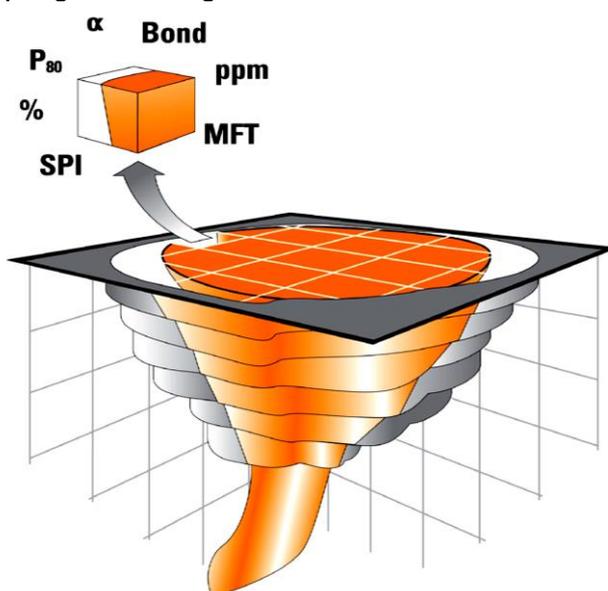
La litología del yacimiento puede influir en algunas de las características debido a su estructura geológica.

La geometalurgia evalúa la variación del yacimiento en términos de parámetros de proceso como la dureza del mineral y la cinética de flotación. La geoestadística suele utilizarse para aplicar los datos al modelo de bloque del yacimiento o al diseño de la mina. A continuación, se utilizan "GEMs™" para la molienda y la flotación con el fin de proporcionar características económicas, como el rendimiento, el tamaño de la molienda, la ley y la recuperación, antes de devolverlos al modelo de bloques para su uso en los cálculos. Los modelos FLEET® (Flotation Evaluation Economic Tool) y CEET® (Comminution Evaluation Economic Tool) disponibles en la actualidad permiten manejar con seguridad grandes conjuntos de datos.

A lo largo de la construcción y la explotación de las minas, la geometalurgia apoya, pero no sustituye, la técnica metalúrgica convencional (Figura 1). Para:

- informar el diseño del diagrama de flujo
- calcular el tamaño necesario de la maquinaria
- ayudar en el diseño de las plantas
- optimizar tanto la planta como la extracción
- prever la cantidad de material producido
- garantizar un proyecto seguro y exitoso desde el principio hasta el final.

**Figura 1**  
*Enfoque geometalúrgico*



*Nota.* Tomado SGS minerales services

### **2.2.2. Propósitos del estudio geometalúrgico**

El propósito de la geometalúrgia es la comunicación y respeto por otras disciplinas (geólogos, mineros, metalurgistas, ambientalistas, geotécnicos y de diseño de plantas) y la voluntad de aprender de los demás. Donde en una reunión inicial, cada disciplina debe hacer una presentación general sobre su visión del depósito y los parámetros que son importantes. En estas presentaciones el geólogo hablará sobre los distintos tipos de rocas, tipos de minerales, zonas de alteración, zonas de fractura, etc. El ingeniero de minas hablará sobre el acceso al depósito, el tipo de equipo a utilizar, los métodos de perforación y voladura, etc. El metalúrgico hablará sobre la importancia del índice de trabajo, la distribución del tamaño, el tamaño de liberación, etc. El ingeniero ambiental hablará sobre las limitaciones en el acceso a áreas específicas y los límites de calidad para el agua de descarga, etc. Y el ingeniero de diseño de la planta hablará sobre los tipos de equipos que

se utilizarán en el proceso, los requisitos de cimentación para los equipos y edificios, el manejo del reciclaje de agua del depósito de relaves, etc.

El objetivo de estas discusiones es identificar todas las posibles clasificaciones de minerales, desechos, cimientos y materiales de construcción en términos de ubicación espacial, interpretación geológica, valor económico y orden de explotación. Luego, estas clasificaciones pueden evaluarse desde el punto de vista del diseño de la planta para determinar cuáles son potencialmente importantes en términos de trituración, separación, recuperación y eliminación de relaves, y se desarrollará un programa de prueba que determinará cuáles de estas clasificaciones son realmente importantes. El ingeniero de diseño de la planta también puede descubrir cómo obtener la información necesaria utilizando programas de muestreo que ya han sido planificados al solicitar un análisis adicional de esas muestras. (Mular, Halbe, & Barrat, 2002)

### **2.2.3. Bases de la geometalurgia**

Los minerales, más que los componentes químicos, son los elementos básicos de la geometalurgia. Las características fisicoquímicas de los minerales definen las circunstancias en las que puede llevarse a cabo un proceso de recuperación industrial, como ya hemos demostrado (SGS, 2007).

Los fundamentos de la geometalurgia incluyen lo siguiente:

- Las menas se forman cuando los minerales se combinan. Por lo tanto, las circunstancias de los procesos industriales están determinadas por las características de éstos. Gestionar los procesos basándose exclusivamente en la química puede conducir a resultados inexactos.
- Estas menas se encuentran en formaciones minerales.

- Hay muchos más minerales de mena que de ganga en la tierra. La extracción, la trituración, la flotación y otros procesos pueden verse influidos por los propios minerales.
- A veces, el metal más importante puede encontrarse en una variedad de cuerpos mineralizados. Al procesar el mineral, la cantidad de un elemento que puede recuperarse varía según el mineral. Por otra parte, la calidad del concentrado que llega a la fundición depende del tipo de mineral recogido.
- Si no se cumplen las afirmaciones anteriores, hay un problema con los procedimientos (es decir, una baja recuperación). Una opción es utilizar mineral de diferentes unidades geometalúrgicas a lo largo de la existencia de una mina.
- La mineralogía, la química, el comportamiento del proceso y la recuperación desempeñan un papel en el modelo geometalúrgico. No se esperan grandes sorpresas a lo largo de la vida de una mina.

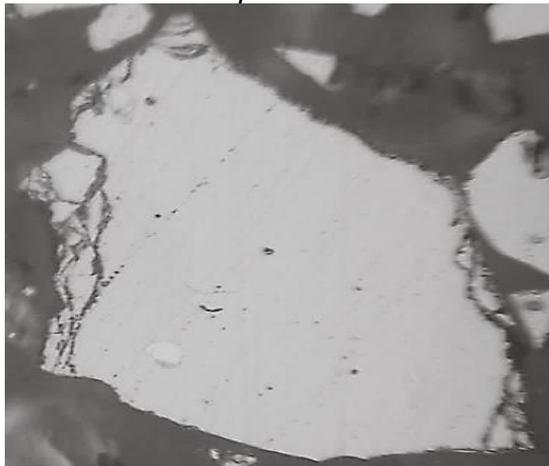
#### **2.2.4. Información que puede aportar la geometalurgia**

Una investigación geometalúrgica arroja una gran cantidad de datos que pueden ser utilizados para una variedad de tareas, incluyendo la evaluación de recursos, técnicas de minería, y detalla estos datos: (Pérez Segura, Gaspar Sergeo, & Brown, 2013)

- La relación entre las especies minerales, sus texturas y las leyes (Figuras 2 y 3).
- Interacciones entre mineral y mineral de ganga.
- La concentración de materiales beneficiosos y no deseados a lo largo de un procedimiento.
- La dureza de la sustancia (moliendabilidad).

- La comprensión del tamaño de malla adecuado para separar las partículas minerales (Figura 4).
- La recuperación de metales preciosos.
- Las características de los productos de desecho (residuos y estériles de las plantas de beneficio, escorias y polvos de fundición).
- Se realizó un estudio de la relación entre el consumo de mineral y el uso de reactivos.
- Exploración y extracción de petróleo y gas.
- Durante la explotación, existen instalaciones de fragmentación.
- Características de los productos de fundición.

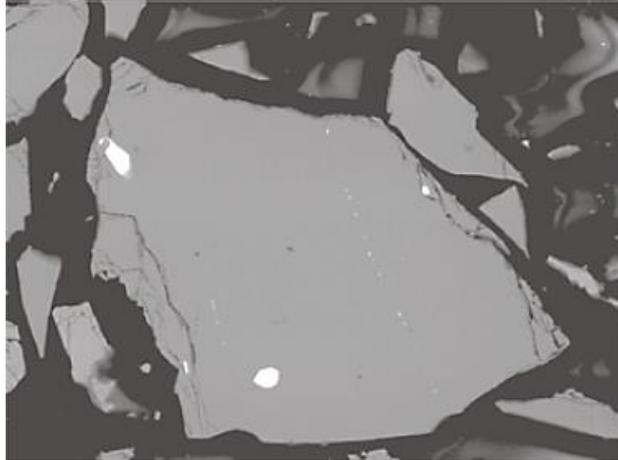
**Figura 2**  
*Concentrado de pirita*



*Nota.* La clase de mineral y su contextura, establece inconvenientes en la correspondiente recuperación del oro. El grano tiene una medida aproximada 0,15 mm. Foto: Efrén Pérez Segura.

### Figura 3

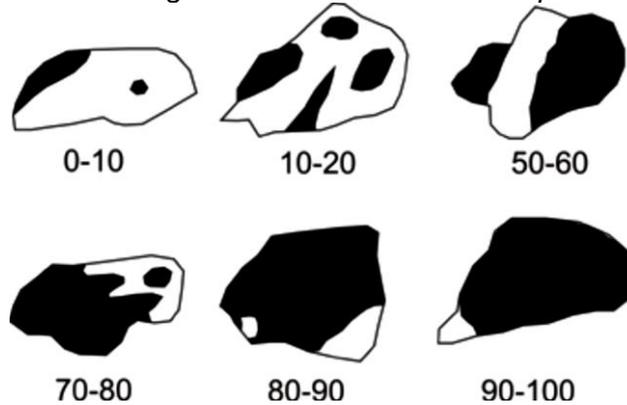
*Imagen al microscopio electrónico de barrido (MEB)*



*Nota.* Otros minerales de aspecto similar, algunos de ellos siguiendo el plano cruciforme de la pirita, no eran visibles con el microscopio minerográfico, incluyendo el telurio de oro y otros minerales de aspecto similar. El Te (66%) y el Au (24%) componen el mineral (34%). Fotografía y análisis de Francisco Brown.

### Figura 4

*Diferentes grados de liberación de una partícula (negro)*



*Nota.* Las cantidades simbolizan el porcentaje de mineral de interés en la partícula. Figura obtenida de Petruk (6), modificada.

### **2.2.5. Implementación del modelo geometalúrgico**

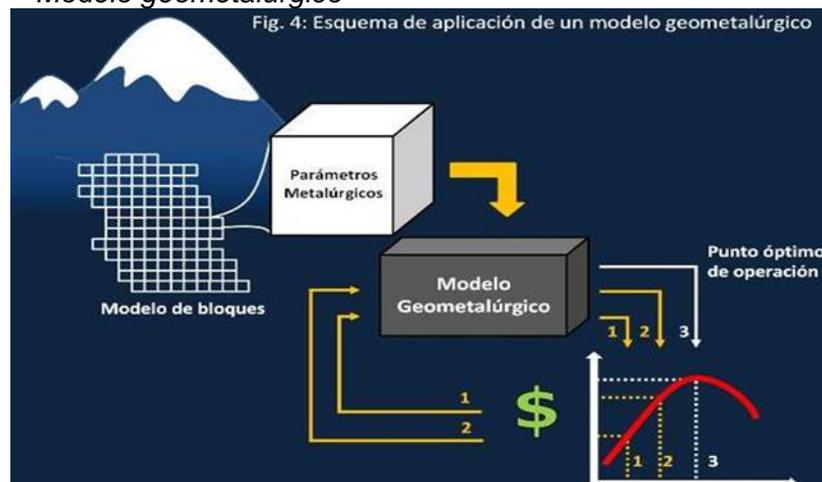
En la industria minera, las tres disciplinas esenciales de la geología, la metalurgia y la minería se entrelazan en un modelo matemático conocido como modelo geometalúrgico (Figura 5). Oscar Alruiz afirma que "este modelo matemático permite la identificación objetiva de una estrategia que optimiza la producción en un tiempo determinado".

Como consecuencia del mayor componente fenomenológico y de la base empírica del modelo, éste difiere de la técnica empleada por la mayoría de las grandes empresas mineras. Esto refuerza la base empírica del modelo.

Para verificar el modelo geometalúrgico, se realiza un diagnóstico del proceso de concentración por flotación (trituration y flotación) con el objetivo de revisar la información geometalúrgica existente, la metodología de construcción del modelo geometalúrgico y su aplicación a la planificación de la producción. Hay varias formas de mejorar el modelo geometalúrgico una vez completado el diagnóstico.

En este modelo se utiliza ampliamente la información geológica, que es auditable y puede rastrearse; se utilizan modelos aceptados internacionalmente; el plan de pruebas metalúrgicas incluye minerales de todas las calidades y condiciones de explotación; el modelo geometalúrgico puede integrarse en el modelo de bloques; y puede utilizarse para analizar diferentes escenarios de producción en un corto período de tiempo, ya que el ingeniero de planificación puede evaluar instantáneamente un plan de productividad (extraer bloques) para diferentes circunstancias de operaciones, hasta obtener el plan apropiado y el contexto indicado que entregan la valoración económica mayor (Editec, 2013).

**Figura 5**  
*Modelo geometalúrgico*



Nota. Tomado de minería chilena (2013)

### **Etapas de construcción del modelo geometalúrgico**

Como parte de este proceso, la revisión geológica abarca temas como el establecimiento del modelo geológico, la determinación de las cantidades de recursos y la creación de unidades geológicas. Después de esto, el software de pruebas pasa por un proceso de selección de muestras. A continuación, se realiza un estudio de las instalaciones existentes o de las alternativas de proceso, seguido de la construcción de modelos de proceso, la incorporación de los resultados de las pruebas al modelo y el escalado a los resultados industriales, la generación del modelo matemático y la incorporación de éstos al modelo de bloques y, por último, la conciliación entre los resultados obtenidos por el modelo y los resultados reales. En tercer lugar, Alruiz estima que se tardará entre un año y medio y dos años en completarlo. "Para construir este tipo de modelo se utilizan muestras de núcleos de perforación de diamante. Las campañas de perforación con diamante para las pruebas metalúrgicas deben llevarse a cabo en circunstancias en las que estén justificadas. Las pruebas necesarias se ajustan a las normas internacionales ampliamente reconocidas".

Un modelo geometalúrgico construido con esta tecnología es utilizado actualmente por la empresa minera Doña Inés de Collahuasi. La previsión de tratamiento semanal de la concentradora tiene un error porcentual de alrededor del 5%, mientras que la predicción de recuperación semanal tiene un error porcentual de alrededor del 2%. (Andina, 2013)

#### **2.2.6. Caracterización de muestras geometalúrgicas**

Los manuales para la caracterización físico-química de los minerales, junto con las técnicas de muestreo, se han elaborado para estandarizar y asegurar la calidad de los experimentos para la caracterización de las muestras geometalúrgicas. (Marchese García, 2016)

##### **a) Manejo y selección de muestras**

La elección de muestras es el elemento más relevante de un programa geometalúrgico. Esto requiere una planificación minuciosa y la colaboración de geólogos, metalúrgicos y consultores con la experiencia metalúrgica necesaria para cumplir con los requisitos del programa.

Los compuestos se mencionan con frecuencia como las mejores muestras, que representan varias clases de rocas, modificación o mineralogía.

- Las muestras particulares son inadecuadas para el desarrollo del diagrama de flujo preliminar y suelen dar lugar a la realización de pruebas ineficaces.
- Un compósito bulk puede también ser una “trampa”, ya que pueden “enmascarar” una zona particular con problemas metalúrgicos.

La mineralogía o la ley de la cabeza no son los criterios únicos para definir las muestras compósito para los ensayos metalúrgicos, debe tenerse en cuenta.

Como ejemplo:

- La mineralogía rara vez afecta a la moliendabilidad; en cambio, el tipo de roca o el tipo de alteración suelen tener un impacto.
- El rendimiento metalúrgico puede verse afectado por la alteración mineral. Algunos ejemplos son los problemas de percolación (consumo de ácido), las restricciones en la molienda (problemas de selectividad) y las dificultades de percolación (percolación).

En consecuencia, el sondaje diamantino da la mejor muestra para los ensayos metalúrgicos.

#### b) Mapeo metalúrgico o geometalúrgico

Debe haber un programa para el mapeo de metales, sin embargo, esto no debe intentarse en un programa de prueba (4) de antemano.

Algunos de sus atributos más significativos son los siguientes:

- Los estudios de prefactibilidad y viabilidad no pueden realizarse sin él.
- Nos indican la sensibilidad del diagrama de flujo a las variaciones del mineral.
- El diseño óptimo del diagrama de flujo puede lograrse posteriormente.
- Impulsan la viabilidad financiera del proyecto.
- La información que nos proporcione se utilizará para hacer previsiones de producción y económicas (1 año, 5 años, producción, etc.)

El uso de la cartografía metalúrgica se utiliza para describir los procesos de flotación y conminución (molienda).

### **2.2.7. Pruebas metalúrgicas**

Implica evaluar un conjunto de características críticas de entrada mineralógica y su impacto en la respuesta metalúrgica.

Los metalúrgicos están evaluando constantemente las diferentes propiedades de los minerales como resultado de su trabajo con la finalidad y beneficios que brinda uno u otro reactivo; hasta que encuentre uno que le permita la optimización de los resultados metalúrgicos.

#### **A. Análisis mineralógico**

Consiste en un análisis de muestra que es tanto cualitativo como semi cuantitativo. La relación entre los minerales identificados en la muestra y su fórmula química se denomina análisis cualitativo, y el porcentaje de estos minerales que se encuentran en la muestra se utiliza en el análisis semi cuantitativo.

Identificar los minerales y conocer sus características físicas y químicas es esencial para el desarrollo de una explotación minera con esta técnica.

- El estudio de los minerales mediante la mineralogía.
- Examinar los resultados del procesamiento de minerales.

El análisis químico de una mena nos dice algo más que cuántos minerales hay en ella; nos dice las características básicas de los minerales.

#### **B. Microscopia aplicados a los minerales**

A continuación, hacemos una breve descripción de la microscopia aplicado a los minerales que son utilizados para el estudio de un mineral o muestras de minerales.

### **a) Microscopia óptica**

Para el análisis de las particularidades ópticas de minerales, emplea dos tecnologías.

**Microscopía óptica (MO).** Lo hace observando y luego midiendo las particularidades de la imagen conformada por ondas electromagnéticas del espectro visible.

El grado de saberes mineralógicos y la experiencia es importante en el microscopio óptico, esto permite la identificación precisa de los minerales para el procesamiento metalúrgico en menos tiempo y con mayor precisión.

**Microscopía electrónica de Barrido (MEB).** Se basa en el uso del nivel de brillo de una imagen electrónica, que es generado por los rayos X emitidos por los minerales en el campo de observación.

Se requiere un programa (QemSCAN o el sistema MLA) así como un equipo analítico de alta precisión.

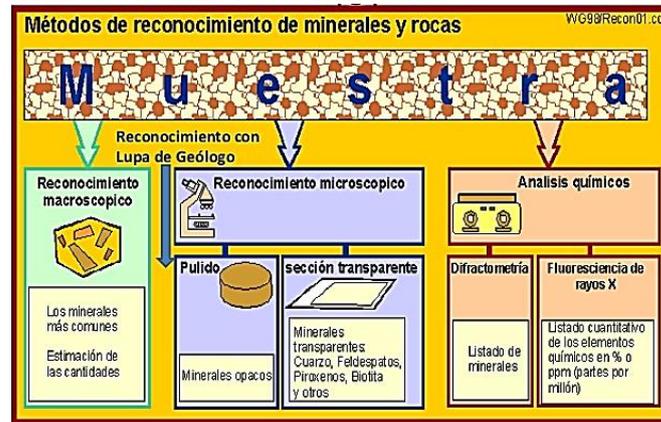
### **b) Microscopia de luz reflejada (Opacos)**

El preparado se ilumina desde la parte superior a través de la lente o lateralmente en este tipo de microscopio. La lente captura la luz reflejada en el preparado. Es posible utilizar preparaciones opacas o finas con esta técnica.

Para examinar los minerales al microscopio de luz reflejada, se suelen utilizar "muestras pulidas", que son rocas o minerales incrustados en resina sintética. Para investigar tanto las fases transparentes como las opacas al mismo tiempo, a menudo se utilizan portaobjetos pulidos más gruesos que los utilizados en el microscopio de luz transmitida. En cualquier caso, la superficie de la muestra debe estar perfectamente pulida para

que se den las mayores circunstancias posibles para la reflexión de la luz. (Sanchez Pastor, Luque del Villar, & Piñas Gracia, 2011).

**Figura 6**  
Método de reconocimiento de minerales



Nota. Tomado de Google

### C. Índice de trabajo – Wi (Work Index)

El índice de Bond ha sido definido como el parámetro de la reducción de tamaño, que expresa la resistencia del material a la trituración y a la molienda. Este índice se ha empleado en la industria desde finales de la década del pasado siglo XX. (JKtech, 2017)

La prueba de Work Index proporciona parámetros de consumo de energía, estas se clasifican por su potencia, la fórmula de Bond puede utilizarse para calcular la cantidad de energía que se necesita. (JKtech, 2017).

$$W = 10 \times w_i \times \left( \frac{1}{\sqrt{d}} - \frac{1}{\sqrt{D}} \right)$$

En la que:

W: consumo energético específico, kWh/tm para reducir un material inicial d hacia un tamaño final D.

d: tamaños que dan un pasante del 80 % del producto (µm).

D: tamaños que dan un pasante del 80 % de la alimentación (µm).

Wi: índice de trabajo del material o índice de Bond, kWh/tm.

En función al índice de trabajo calculado por esta prueba es que se puede clasificar el tipo de mineral tal como se muestra en la tabla siguiente.

**Tabla 1**  
*Clasificación del tipo de mineral según Work Index*

DESCRIPCION	RANGO WI (kWh/TM)
Muy blando	< 7.26
Blando	7.2 - 10.8
Medio	10.8 - 14.5
Duro	14.5 - 18.1
Muy Duro	18.1 - 21.7
Extremadamente Duro	> 21.7

*Nota.* Tomado de Vargas, 2010

De la fórmula se puede deducir una definición, de valor más teórico que práctico, del índice de Bond, que sería el consumo energético específico en kWh/t necesario para reducir el material desde un tamaño suficientemente grande (15-20 mm) hasta un tamaño de 100-250  $\mu\text{m}$ , y según el propio Bond sería un parámetro de conminución que expresa la resistencia del material ante las operaciones de trituración y molienda.

#### **D. Pruebas de molienda**

Primero establecimos dos parámetros de prueba después de los test de molienda en el laboratorio. La primera es el tamaño de la malla de molienda necesario para la correcta liberación de minerales.

Esto se examinan las fracciones granulométricas del mineral molido para determinar su composición (usualmente las fracciones más gruesas) con la ayuda de una inspección con un microscopio binocular. Esto revelará información sobre las asociaciones de sulfuro con las gangas en el mineral, también nos puede

proporcionar información sobre las asociaciones minerales entre sulfuros -sulfuros, sulfuros-metales preciosos y metales preciosos-ganga. En estos últimos casos, sin embargo, es generalmente necesario utilizar un microscopio de minerales más poderosos para visualizar las fracciones más finas de los tamices.

El segundo parámetro de la asociación entre la granulometría y el tiempo de molienda es la prueba que se establece. A medida que avanzan los ensayos de flotación, esta es una información útil, ya que esto nos da una indicación relativa (comparada a otras muestras de mineral) de la energía de molienda requerida para producir una malla particular de molienda o granulometría.

#### **E. Grado de liberación**

Cada mineral visto bajo un microscopio tiene sus propias características únicas, como los colores que se encuentran en diferentes especies minerales.

En las muestras con diferentes grados de liberación de minerales molidos (iso-tamaños), se observan partículas diferentes entre las libres y las mixtas (amarres de dos o más especies), y se emplea un método preestablecido para examinar esta colección de intercrecimientos (figura 7).

#### **Figura 7**

*Tipos de Inter crecimientos*

DESCRIPCIÓN		PROPIEDADES DE LIBERACIÓN
Intercrecimiento Simple. Bordes de grano rectilíneos.		Liberación fácil. Muy común en menas fuertemente recristalizadas y metamorfolizadas. También en minerales propios de secuencias deposicionales sucesivas.
Intercrecimiento Simple. Bordes de grano curvados sin interpenetración.		Liberación sencilla. Común en minerales de cristalización simultánea con energía libre interfacial similar.
Moteada o tipo "caries", con interpenetración parcial. Intercrecimiento relativamente simple.		Liberación sencilla. Propio de minerales que han sufrido procesos de reemplazamiento.
Gráfico o mirmequítico. Fuerte micropenetración.		Liberación completa difícil o imposible. No se presenta de manera frecuente. Se produce por exolución y reemplazamiento.

*Nota.* Categorización de las clases de Intercrecimientos de Amstutz abarcando alternativas de liberación (Craig y Vaughan, 1994)

## F. Pruebas de flotación

La experiencia desempeña un papel importante en el diseño de un programa, en las pruebas de ensayo de flotación, en la minimización del número de variables y del grado en que deben probarse estas variables. El conocimiento de cómo otras plantas están tratando minerales similares es un instrumento valioso para el metalurgista. Donde se obtiene.

- Tipo de mineral que se trata en la planta Concentradora.
- Para conseguir una recuperación óptima, el tamaño de las partículas debe ser adecuado.
- La cinética de flotación de cada especie mineralógica
- Grado de concentración.

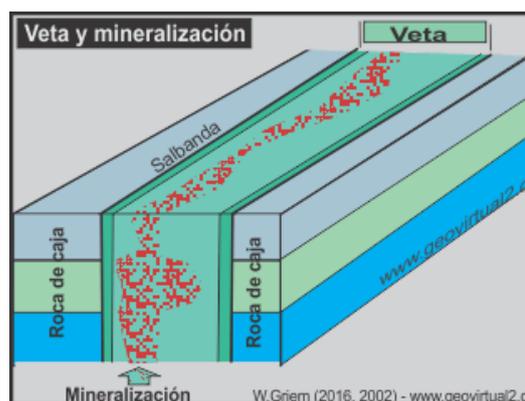
### 2.2.8. Vetas

Masa tubular de material mineral, depositada en fisuras, grietas o hendiduras de un cuerpo rocoso y de composición distinta a la sustancia en que está incrustada. (minminería.cl, 2008).

Las vetas son muy susceptibles de sufrir alteraciones en la orientación de los ejes de extensión durante los procesos de deformación progresiva (Gamond, 1983; Fishery Brantley, 1992; Bons, 2000). Es posible discernir la historia de la deformación de las rocas mediante una cuidadosa investigación cualitativa de su interacción geométrico-cinemática con la estructura que las sostiene, su tejido interno y sus relaciones de cizallamiento con otras estructuras (foliación, otras generaciones de vetas). También se ha reconocido el inmenso potencial que tienen las vetas para estimar las condiciones térmicas de la deformación, ya sea mediante el análisis microtermométrico de las inclusiones fluidas de los minerales que las forman (Foreman y Dunne, 1991; Crawford, 1992; Hodgkins y Stewart, 1994; Meere, 1995; Boullier, 1998; Crispini y Frezzotti, 1998; Kenis et al., 2000; Touret, 2001), o mediante el análisis de los isótopos estables de estos minerales.

### Figura 8

*Mineralización de una veta puede ser internamente heterogénea*



Nota. Tomado de W. Griem (2016)

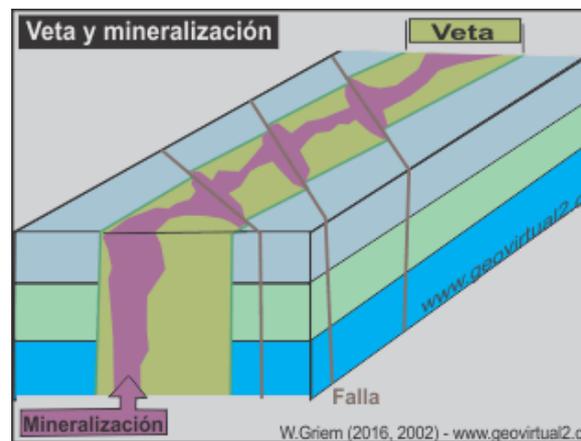
Existen sectores de mediana ley o de alta ley y sectores estériles. Es posible que la magnitud de la mineralización se vea influenciada por la litología de la roca encajada.

Las vetas son estructuras de formación post magmática, la mayoría de las cuales son hidrotermales. La temperatura y la presión hacen que los minerales cristalicen de una fase acuática (entre otros factores véase más información).

Zonas de Fallas también pueden mostrar una mineralización de forma tabular a causa de una metasomatosis de las rocas fracturadas en la zona de falla. El fracturamiento dio espacio para los líquidos ascendentes o descendentes (Griew, 2020).

### Figura 9

#### *Veta y mineralización*



Nota. Tomado de W. Griem (2016)

Por supuesto, las estructuras vetiformes están siempre relacionadas con la geología estructural del sector. La estructura tabular es una estructura tectónica en sí misma. La mineralización interna de una veta depende también de estructuras en intersección. Se determina por la secuencia de fase tectónica: La veta no se ve afectado por fases más jóvenes que la estructura, La mineralización está muy controlada por las fases de la misma edad. Las fases posteriores a la formación de la veta son principalmente responsables de los desplazamientos estructurales.

## Figura 9

*Veta de sulfuro de zinc*



*Nota.* Foto tomada de geo virtual

### **Paragénesis y sucesión.**

Los minerales se analizaron en el microscopio mineragráfico y en la microsonda electrónica de barrido.

- La Zona de Zinc - Plomo. La esfalerita marrón (marmatita) y la galena están acompañadas por minerales de temperatura intermedia que conforman esta composición, que se encuentran en la periferia de la zona de cobre.
- Zona de Zinc - Plomo - Plata. Consiste en precipitados de baja temperatura que comprenden minerales de plomo-zinc con alto contenido de plata y que se encuentran en la periferia del distrito.

Estos ciclos de mineralización fueron precedidos por intrusiones monzoníticas de cuarzo en los diques N-S y E-O, que se encuentran en la porción central del anticlinal y exhiben una intensa alteración hidrotermal, caracterizada por silicificación, epidotización y piritización.

Las vetas también han alterado los tills, al menos hasta unos 10 m en ambos lados, con una argilización que va de fuerte a leve.

Los estudios realizados con microsondas electrónicas (B. Escande y A. Vacher) sobre los minerales que contienen plata revelan:

- El 15% de la Ag se compone de galena antimoniada.
- El 62% de la Ag está formada por tetraedrita ( $\text{Cu}_3\text{SbS}_3$ )
- El 06% está en tenantita ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_3$ ).
- El 06% está en blenda ( $\text{ZnS}$ )
- La Ag está presente en la pirita y otros minerales en un 11%

La mineralización en Huarón es post-intrusiva y resultado del magmatismo mioceno (7 a 8 Ma).

### **2.2.9. Geología**

#### **a) Geología regional y local**

La mina Huarón está situada en la zona de Huayllay, en el distrito de Cerro de Pasco de la provincia de Pasco. Geográficamente, se encuentra en el borde oriental de la cordillera occidental de los Andes, a una altura de 4.540 metros sobre el nivel del mar, entre los  $11^\circ 00'$  de latitud sur y los  $76^\circ 25'$  de longitud oeste.

La mina Huarón es productora de plata, zinc, plomo y cobre. Los minerales de mena predominantes son tetraedrita-tenantita (cobre gris), esfalerita, galena y calcopirita enargita; los minerales de ganga predominantes son cuarzo, rodocrosita, rodocrosita, rodonita, manganocalcita y alabandita.

La alteración hidrotermal de la roca huésped es argilización-silicificación (relacionada con el eje de cobre), potásica (asociada a la zona de plomo-zinc), epidotización-piritización (asociada a la zona silicificada), y clorita-magnetita (asociada a la zona silicificada) (asociada a todo el yacimiento).

Areniscas, margas, conglomerados, chert calcáreo, andesitas, ignimbritas, brechas y tobas constituyen la mayor parte de la columna litológica estratigráfica de la región.

## **2.2.10. Geología económica**

### **a) Mineralización**

La provincia metalogénica de la región cuenta con yacimientos de diversos orígenes. La mineralización en Huarón está relacionada con depósitos hidrotermales vinculados al magmatismo andino del Paleógeno.

Los principales minerales son tetraedrita ( $\text{Cu}_3\text{SbS}_3$ ) - tenantita ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_3$ ), esfalerita-marmatita, calcopirita-enargita y galena.

El cuarzo, la pirita, la rodocrosita, la rodonita, la manganocalcita y la alabandita componen la ganga.

La literatura indica la presencia de tres etapas distintas de deposición de la mineralización, correspondientes a las altas temperaturas (cuarzo lechoso, pirita, tetraedrita), las temperaturas intermedias (cuarzo lechoso, pirita, esfalerita marrón y galena), y temperaturas bajas (cuarzo lechoso, pirita, esfalerita marrón y galena) (barita, siderita, dolomita, esfalerita rubia, galena, tetraedrita argentífera, polibasita, calcopirita, rodocrosita, cuarzo y calcita). Asumiendo una fecha del Plioceno para los minerales de Huarón.

### **b) Alteración hidrotermal**

La sericitización y silicificación adyacentes a las vetas, y la cloritización, epidotización y propilitización distantes de las vetas, son las alteraciones hidrotermales que se observan en la superficie y en los trabajos subterráneos.988o

Debido a la multitud de vetas y ramificaciones primarias, existe una superposición de alteración que da lugar a la formación de las bandas de alteración mostradas.

**c) Controles de mineralización**

Los controles de mineralización reconocidos en el yacimiento incluyen los estructurales, litológicos y estratigráficos.

**2.2.11. Tipo y forma de yacimiento**

**a) Vetos**, son fracturas por tensión o tracción, las vetas son estructuras tabulares. Su resistencia oscila entre los milímetros y los 10 metros. Existen dos sistemas claramente diferenciados (NS y EW). Según la amplitud, son estructuras que pueden reaccionar a la mecanización.

**b) Mantos**, son estructuras con un buzamiento bajo, y su presencia se da en el lado occidental del anticlinal. Su resistencia permite la mecanización en algunas industrias.

**c) Cuerpos**, Utilizando técnicas mecánicas y un alto ritmo de producción, se han trabajado los mantos. Se encuentran en las intersecciones de las vetas como stockwork, vetas y capas de conglomerado (originando reemplazos), y vetas y estratos de arenisca calcárea (originando diseminaciones). En el contacto intrusivo-arenisco hay cuerpos de stockwork poco reconocidos.

**d) Venilla (Vetilla)**

Es una estructura mineralizada tabular con relleno de fracturas cuya anchura de mineralización real (potencia, anchura de la veta) oscila entre centímetros y uno o dos decímetros. Su extensión vertical y horizontal oscila entre decenas y cientos de metros. Su mineralización está compuesta por un mayor porcentaje de ganga que de mineral. Su alteración hidrotermal llega a unos pocos milímetros

dentro de la roca madre, y sus orígenes indican que se originó como una rama o veta.

**e) Ramal (Split, Sigmoide)**

Estructura mineralizada que rellena las fracturas y cuya anchura real de mineralización (potencia, anchura de la veta) oscila entre milímetros y metros. Su longitud vertical y horizontal oscila entre decenas y cientos de metros. Su mineralización contiene más mineral que roca estéril. Su alteración hidrotermal se extiende unos metros dentro de la roca madre, y su origen está asociado a una veta.

**f) Veta (Filón)**

Se trata de una estructura mineralizada de relleno de fractura tabular cuya amplitud real de la mineralización (potencia, anchura de la veta) oscila entre milímetros y metros. Sus dimensiones verticales y horizontales varían entre cientos de metros y kilómetros. Su mineralización contiene más mineral que roca estéril.

Su alteración hidrotermal llega a decenas de metros dentro de la roca madre, y su origen está asociado a una cámara magmática.

Esta nueva conceptualización geológica de la mineralización, aplicada a la mineralización clasificada en los inventarios de reservas anteriores a 2006, reduce el número de vetas de 117 a 14 en el inventario de 2007, pero el número de ramas aumenta a setenta y una.

El número de bloques indicados e inferidos que se han eliminado debido a la certeza geológica de la estructura Veta o Ramal es otra consecuencia de los nuevos conceptos. Anteriormente, cuando todas las estructuras se denominaban vetas, era más factible considerar recursos inferidos en las estructuras de Vetos.

Antes de 2006, era habitual que los inventarios etiquetaran una rama como vetas o viceversa, alejándose de la idea geológica.

La normalización del lenguaje utilizado para describir la mineralización también facilita una comprensión más clara del origen del yacimiento.

## 2.2.12. Descripción de veta.

### a) Vetas angostas

Yacimiento compuesto por un cuerpo mineral de forma alargada, limitado por planos irregulares de rocas denominadas “encajonantes”; pero angosta.

Estructura mineralizada vertical estrecha con bordes bien definidos que la separan de la roca madre.

### b) Veta

Compuesto por un cuerpo mineralizado extendido y bordeado por encajonados, que son planos irregulares de roca. Normalmente, las vetas son verticales. Cuando el cuerpo mineralizado se deposita, se denomina "manto".

La forma de depósito más frecuente en nuestro entorno son las vetas.

- **Diseminado:** Se denomina así al cuerpo mineral que aparece como hilos que atraviesan la roca en todas direcciones, o como puntos o motas de mineral que cubren enormes áreas, como los depósitos de oro de Cajamarca.
- **Aluvial:** Depósito generado por el traslado de gravas, limos y minerales pesados de diversas formas y tamaños, que se depositan en las arenas o lechos de los ríos y océanos. Por lo general, consisten en oro, tungsteno y titanio. Entre estos

yacimientos se encuentran los lavaderos de Sandia, cerca de Puno, los de Pallasca, en Ancash, y los de Madre de Dios.

- **Contacto:** Se trata de un yacimiento mineral generado por la colisión de dos rocas de distinta procedencia, una de las cuales suele ser caliza.

Según sus propiedades geológicas, las principales categorías de yacimientos peruanos son las siguientes:

- Epitermales de oro
- Sulfuros masivos
- Pórfidos de cobre (molibdeno, oro, plata)
- Skar no metasomático de contacto
- Cordilleranos(complejos)
- Valle del Misisipi
- Placeres fluviales y glaciares

### 2.3. Definición de términos

**Geometalúrgia.** Es la categorización de los minerales en función de su comportamiento en un proceso metalúrgico predeterminado.

**Yacimiento.** Es la acumulación geográfica de un material que puede ser de utilidad para el hombre, dicho material puede ser sólido (minerales, roca o fósil) o fluido (petróleo o gas natural).

**Minerales.** Es una sustancia natural, de composición química definida, normalmente sólido e inorgánico, y que tiene una cierta estructura cristalina. Es diferente de una roca, que puede ser un agregado de minerales o no minerales y que no tiene una composición química específica.

**Pruebas metalúrgicas.** Conjunto de pruebas que se realiza al mineral para determinar las características: físicas, químicas, mineralógicas, microscópicas, dureza, tiempo de molienda y su influencia en la recuperación de la mena.

**Veta.** Masa tubular de materia mineral depositada en fisuras, fracturas o grietas de un cuerpo pétreo y de composición diferente al material en el que se encuentra.

## **2.4. Formulación de hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

La caracterización geometalúrgica del mineral de las vetas de la Zona Norte, influye en el comportamiento metalúrgico de la Unidad Minera Huarón, 2021.

### **2.4.2. Hipótesis específica**

- La caracterización geometalúrgica al mineral de la Veta Pozo D Ramal subnivel (SN) 200B determina las condiciones de flotación.
- La caracterización geometalúrgica al mineral de la Veta Llacsacocha Tajo 251 determina las condiciones de flotación.

## **2.5. Identificación de variables**

### **2.5.1. Variable independiente**

- Caracterización geometalúrgica del mineral de las vetas de Zona Norte Nivel 250

### **2.5.2. Variable dependiente**

- Comportamiento metalúrgico

### **2.5.3. Variable interviniente**

- Ley de cabeza
- Ganga
- Granulometría
- Grado de liberación

- Densidad de pulpa
- Porcentaje de sólidos
- Agitación de la celda

## 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

**Tabla 1**

*Variables e indicadores de operación*

Ítem	Variabes	Dimensiones	Indicadores
V.I	Caracterización geometalúrgica del mineral de las vetas de Zona Norte nivel 250	Caracterización mineralógica de la veta Pozo D Ramal subnivel (SN) 200B	Ensaye (Ag, Zn, Pb) % Índice de trabajo
		Caracterización mineralógica de la veta Llacsacocha Tajo 251	Tiempo de molienda Recuperaciones Regresiones
V.D	Comportamiento metalúrgico	Grado de recuperación	Flotación estándar

**Fuente:** Elaboración propia.

## CAPITULO III

### METODOLOGIA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Tipo de investigación

(Supo, 2012) Manifiesta, la investigación es de tipo experimental, aplicativo y descriptivo, por que cumple los requisitos de asignación aleatoria e intervención de la investigación. Además, Plantea resolver problemas.

**Experimental**, debido a que se manipula los factores de la variable independiente y teniendo como vector respuesta la recuperación de zinc en la flotación del mineral de la veta.

**Aplicativo**. Porque los resultados que se obtienen serán aplicados a soluciones reales de producción metalúrgica.

**Descriptivo**. En razón que se dará una explicación de forma concisa a los resultados obtenidos.

#### 3.2. Nivel de investigación

El **nivel de investigación es explicativo**: Por que se realiza la explicación del comportamiento de una variable en función de otra(s); ser estudios de causa y efecto requiere el uso de controles y el cumplimiento de otros criterios de causalidad.

### **3.3. Método de investigación**

El método científico permite descubrir la verdad en medio de la complejidad de la naturaleza, la sociedad y las conexiones intersubjetivas e intersubjetivas de los seres humanos. Además, para llevar a cabo una investigación, se deben utilizar herramientas y procesos para probar la hipótesis, que se plantea en los informes y hallazgos. (Erazo, 2016).

Se utilizó el método científico, que se basó en sus componentes: la selección de un problema de estudio con una connotación técnica, y la formulación de sus respectivas hipótesis para guiar la investigación, destacando su correspondiente sistema de variables que sirvieron de base para el diseño de los cuestionarios. Se realizaron entrevistas con expertos y se obtuvo la información para procesar los datos de la hipótesis que se había formulado, para sacar conclusiones y hacer recomendaciones sobre el problema en investigación.

### **3.4. Diseño de investigación**

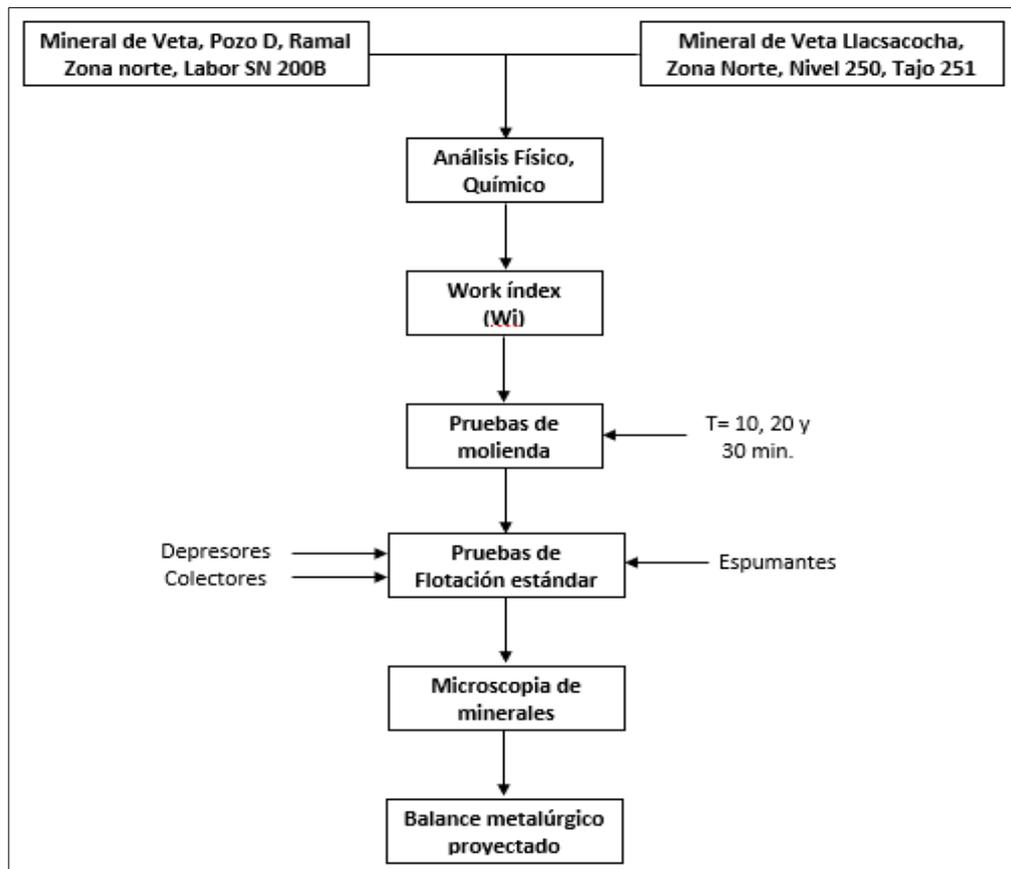
El diseño es la herramienta que conduce la respuesta del investigador al tema de estudio en términos de forma y método. (Diaz, 2019).

La estrategia de estudio es experimental cíclica porque las pruebas se apegan a un procedimiento sistemático y los relaves no se descartan hasta la conclusión de la prueba. Los experimentos se realizan en el laboratorio metalúrgico de la Empresa Minera Huarón.

Las pruebas experimentales se planificó de la siguiente manera (figura 10):

**Figura 10**

*Metodología de las pruebas metalúrgicas*



Fuente. Elaboración propia

### 3.5. Población y muestra

#### 3.5.1. Población

Se conforma por el yacimiento minero de Vetas Zona Norte nivel Nv 250 de la unidad Minera Huarón.

#### 3.5.2. Muestra

La muestra está constituida por la cantidad de muestras provenientes de las vetas: Pozo D Ramal Labor subnivel (SN) 200B y Llacsacocha tajo (Tj) 251 de la Zona Norte Nivel 250 (Ver anexo 1)

#### **Determinación de la cantidad de muestra representativa (Teoría de Pierre Gy)**

Ecuación básica:

$$M = \frac{C \cdot d^3}{S^2}$$

M = Peso mínimo de muestra requerido (gr)

C = Constante de muestreo (g/cm<sup>3</sup>)

d = Tamaño de partícula más grande dentro de la muestra (cm)

s = Medida del error estadístico y normalmente es 0.01

### Constante de Muestreo (C)

$$C = f \cdot g \cdot l \cdot m$$

f = Factor de forma el cual es tomado como 0.5, excepto para minerales de oro que es 0.2

g = Factor de distribución de tamaño de partícula, g=0.25

l = Factor de liberación

m = Factor mineralógico (g/cm<sup>3</sup>)

### Factor de liberación

$$l = \sqrt{\frac{L}{d}}$$

L = Tamaño de liberación del mineral de interés (cm)

d = Tamaño de partícula más grande dentro de la muestra (cm)

### Factor Mineralógico (m)

$$m = \frac{1 - a}{a} [(1 - a) \cdot r + a \cdot t]$$

a = Es la fracción del mineral de interés

r = Densidad del mineral de interés

t = Densidad de la ganga

$$M = 110,62 \text{ Kg} + 16,02$$

$$= 126,64 \text{ Kg}$$

## 3.6. Técnica e instrumento de recolección de datos

### 3.6.1. Instrumento de la investigación

- **La observación.** Mediante esta técnica se realizó la observación de la medida de dureza, comportamiento metalúrgico de la flotación de minerales frente a la dosificación de reactivos.
- **La entrevista.** Se realizó a los ingenieros que tienen experiencia laboral como: geólogos, mineros y metalurgistas.
- **Fuentes primarias.** Se obtuvo de los reportes de las leyes del concentrado, relave del laboratorio químico.

### 3.6.2. Equipos para la investigación

- **Malla Tyler.** Conjunto de mallas utilizadas para el análisis granulométrico de la muestra de mineral de veta zona norte - nivel 250.
- **Separador de Jones.** Mediante este equipo se redujo el tamaño de muestra y a la vez se homogenizó.
- **Balanza.** Este equipo nos permitió determinar el peso de la muestra para el equipo de molienda.
- **Molinos Bond.** Este equipo se utiliza para determinar el work index del mineral.
- **Molinos de bolas.** Con este equipo realizamos las pruebas de molienda de los minerales, que se realizó para un tiempo de 10, 20 y 30 min.
- **Celda de flotación.** Con este equipo se obtuvo el concentrado y relave en una bandeja que posteriormente se sometió a un secado.
- **Microscopio mineralógico.** Mediante este equipo se realiza la observación de las probetas de ley de cabeza, concentrado y relave.
- **Espectrofotómetro de absorción atómica.** Este equipo nos dio los ensayos tanto de la ley de cabeza, concentrado y relave en las pruebas metalúrgicas.

### 3.7. Selección, validación y confiabilidad de instrumentos de estudio

Recolectada las muestras a través del área de geología se somete a una serie de pruebas tanto químicas, mineralogía y metalúrgicas, el mismo que se

desarrolló siguiendo los procedimientos estándar por el laboratorio que a continuación se indica:

- **Caracterización química:** Se determina las leyes de los elementos presentes de la mena de casa uno de la muestra, a través de las técnicas de ensayo por el método de absorción atómica, además se pudieron analizar los elementos que pudieran interferir en el proceso de extracción. (ANEXO 2)
- **Caracterización mineralógica:** las especies presentes en la muestra fueron analizadas por microscopía por la técnica de análisis de material particulado en briquetas, el resultado de la caracterización se determinó con el reconocimiento de las especies presentes y la composición mineralógica. (ANEXO 3)
- **Caracterización metalúrgica:** el principal objetivo es conocer la respuesta del mineral dentro del proceso de beneficio y extracción, y de este modo predecir su comportamiento metalúrgico, dentro de ello se realizaron varias pruebas para determinar: moliendabilidad, work index, cinética de flotación y regresión entre elementos químicos. (ANEXO 4, 5 Y 6)

Todos los datos obtenidos fueron analizados y fueron puestos en mejorar del proceso de planta.

### **3.8. Técnica de procesamiento de datos**

En el procesamiento y análisis de información se utilizó el Microsoft Excel, en la efectuación del análisis del tiempo de molienda, análisis de regresión de amarres mineralógico, balance metalúrgico y gráficos.

### **3.9. Tratamiento estadístico**

Se efectúa con el Microsoft Excel, mediante el análisis estadístico de varianza, para comprobar la aceptación o rechazo de la hipótesis planteada de la tesis.

### **3.10. Orientación ética filosófico y epistémica**

Los datos del estudio se recogieron de acuerdo con los valores éticos del investigador que dan fe a las pruebas realizadas. Además, las referencias del marco teórico, se editaron respetando la autoría de los investigadores.

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

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

El estudio consistió en el muestreo geológico de minerales de las Veta Pozo D Labor SN 200B y Veta Llacsacocha Tajo 251, zona norte nivel 250. A continuación, se presenta los diferentes procedimientos realizados para la caracterización mineralógica y para la determinación de las condiciones de flotación.

- 100 por ciento de malla ASTM -6 para la recepción, el secado y el procesamiento de la muestra.
- De acuerdo con la norma, la muestra homogeneizada se pesó a 1 kg para cada prueba de triturabilidad, que duró 10, 20 y 30 minutos.
- Antes de determinar Work Index de trabajo comparativo con el cuarzo, la muestra se tamizó hasta alcanzar el 100% de malla -6, que es una técnica típica.
- Después de alcanzar el nivel de malla 60% -200, cada muestra de 1 kg de mineral se pesó y se guardó para los experimentos de flotación requeridos.

- Durante la etapa de flotación de trabajo en una celda de 4,3 litros con un porcentaje de sólidos estimado en 40,0%, se utilizaron reactivos estándar a dosis estándar en una celda de 2300 cc con el mismo porcentaje de sólidos.
- La prueba de flotación se llevó a cabo de acuerdo con la norma: cinética selectiva de volumen y de zinc, seguida de pruebas de concentrado de zinc.
- Sobre las muestras de flotación se realizó una microscopía cualitativa y regresiones entre pares de componentes químicos.
- Tras obtener los productos de flotación, se filtraron, secaron, homogeneizaron y pesaron antes de ser transportados al Laboratorio Químico para su análisis.
- Para cada muestra de mineral, se creó el correspondiente balance metalúrgico basado en los resultados de los análisis químicos.



**Foto 1.** Muestreo mineralógico en veta

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

Para una mejor comprensión, se presentan los resultados de las dos vetas estudiadas por separado.

#### 4.2.1. Caracterización geometalúrgica de la veta pozo d ramal labor SN 200b

##### A. Identificación del mineral

###### Ensayes químicos

Como se muestra en la tabla 2, después de que la muestra se haya preparado, se envía al laboratorio químico para su análisis.

**Tabla 2**

*Ensaye químico*

Ag g/Tn	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	As %	Mn %	Bi %	Sb %	PbOx%	ZnOx%
193,68	0,07	0,10	1,05	3,99	0,09	0,23	0,01	0,02	0,02	0,02

El tabla 2 revela que el mineral considerado tiene una cantidad significativa de plata y bajos contenidos de cobre, plomo y zinc. El contenido de hierro es mínimo. El nivel de arsénico es alto, el bismuto, antimonio y manganeso se consideran bajos, y los valores de óxido de plomo y zinc son del 0.02% y 0.02%, respectivamente.

##### B. Pruebas de moliendabilidad

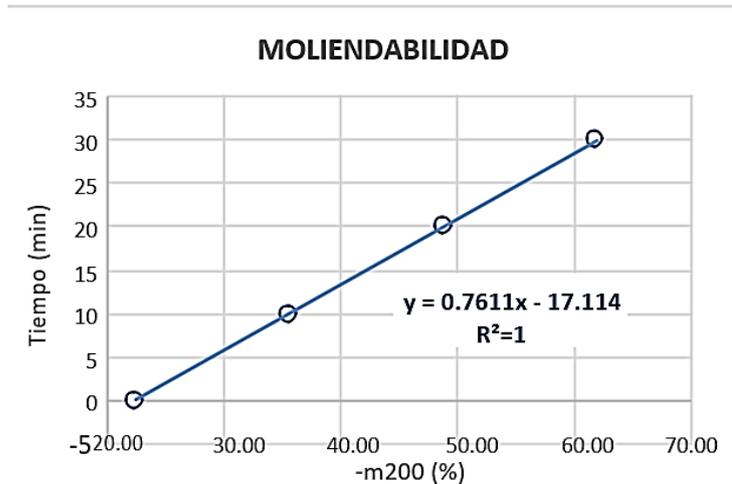
Los resultados de la prueba de molienda en cuatro tiempos, el % malla -200, los resultados se presentan en la tabla 3 y la cinética de molienda figura 11

**Tabla 3**

*Moliendabilidad*

-m 200	Tiempo
22,45	0
35,66	10
48,80	20
61,86	30

**Figura 11**  
Cinética de molienda



De tabla 3 se establece la fórmula de regresión de datos de tiempo Vs. Pasante (-m200), en donde se consigue la correspondiente asociación lineal:

$$y = 0,7611x - 16,114$$

$$Tiempo_{(min)} = 0,7611(-m200\%) - 17,114$$

Como resultado se consigue que el periodo de molienda apropiado es de 28,55 min (60.00% -m200).

### C. Prueba de determinación de work index comparativo

El índice de trabajo se determinó mediante el método de comparación con el cuarzo, dando un valor de 13,6 Kw-h/Tc.

En la prueba de molienda se determinó el tamaño medio de alimentación F80 (en la muestra 100% que pasa por la malla 6 ASTM) y el tamaño del producto P80 para ambas muestras de mineral (Mineral Veta Pozo D Ramal Labor SN 200B y Cuarzo). El tiempo de molienda para ambas muestras (Mineral Veta Pozo D Ramal Labor SN 200B y Cuarzo) fue de 10 minutos, y los resultados del análisis granulométrico se indican en la Tabla 4:

**Tabla 4***Tamaño promedio del alimento y producto*

DESCRIPCION	F <sub>80</sub>	P <sub>80</sub>
CUARZO	1834,70	292,65
MUESTRA	1851,74	483,77

**Tabla 5***Índice de trabajo del mineral*

MUESTRA DE MINERAL	LABORATORIO		SIN AJUSTE		AJUSTADA		PROMEDIO
			LOG	POLI	LOG	POLI	
	Kw-hr/Tc	Kw-hr/Tn	Kw-hr/Tn	Kw-hr/Tn	Kw-hr/Tn	Kw-hr/Tn	Kw-hr/Tn
Veta Pozo D Ramal Zona N	21,48	23,68	23,66	20,28	22,50	20,20	21,66

De tabla 5 observamos que el work index es  $W_i = 21,66$  Kw-hr/Tn que se utilizara como indicador de dureza del mineral en estudio.

#### D. Flotación de sulfuros

##### Cinética de flotación selectiva Plomo (Pb) – Cobre (Cu) – Zinc (Zn).

Se realiza una prueba de flotación selectiva, primero flotando los sulfuros de Cobre (Cu) - Plomo (Pb) - Plata (Ag) y deprimiendo los sulfuros de Zinc (Zn) y Hierro (Fe); la segunda etapa consiste en la flotación de los sulfuros de Zinc (Zn) activados con sulfato de cobre (CuSO<sub>4</sub>).

##### Condiciones de flotación

De acuerdo con el estándar de flotación de sulfuros Cobre (Cu) - Plomo (Pb) - Plata (Ag) - Zinc (Zn), los reactivos

se dosificaron de acuerdo con las siguientes condiciones:  
tiempo, pH y dosis de reactivos.

**Tabla 6**

*Condiciones de la prueba*

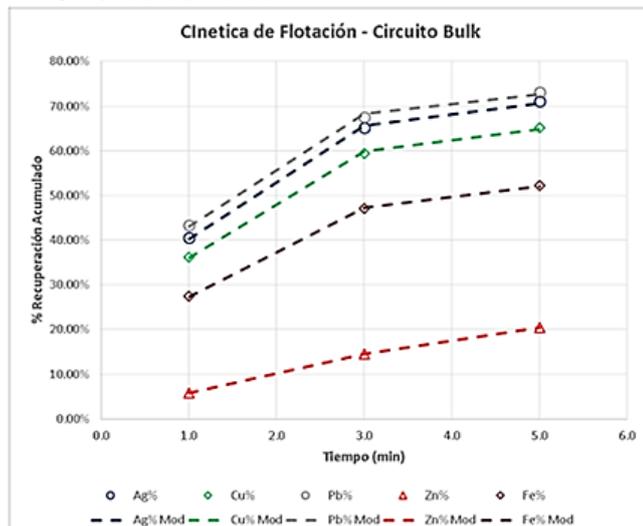
	Tiempo Ac (min)	pH	ZnSO <sub>4</sub>	NaCN	NaHSO <sub>3</sub>	Z-11(60%) Z-06(40%)	H-150	CaO	CuSO <sub>4</sub>
			gr/Tn	gr/Tn	gr/Tn	gr/Tn	gr/Tn	gr/Tn	gr/Tn
<b>Molienda Bulk</b>	28,55	8,20	500,0						
<b>Acond I</b>	0,5	8,20		30,0		15,0	23,6		
<b>Conc Bulk I</b>	1,0	8,20							
<b>Conc Bulk II</b>	3,0	8,20			300,0				
<b>Conc Bulk III</b>	5,0	8,20							
<b>Zinc Acond II</b>	2,0	8,20/10,90						600,0	
<b>Acond III</b>	3,0	10,90				20,0	5,9		200,0
<b>Conc Zn I</b>	1,0	10,90							
<b>Conc Zn II</b>	3,0	10,90							
<b>Conc Zn III</b>	5,0	10,90							
<b>Consumo Total (gr/Tn)</b>			500,0	30,0	300,0	35,0	29,5	600,0	200,0

**Tabla 7**

*Balance metalúrgico de las pruebas*

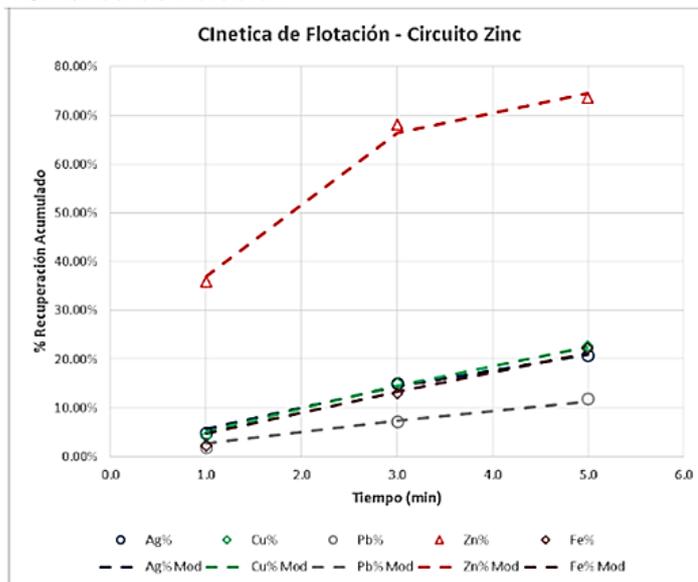
Producto	% Peso	Ag gr/Tn	Cu%	LEYES			RECUPERACIONES				
				Pb%	Zn%	Fe%	Ag %	Cu %	Pb%	Zn %	Fe %
<b>Cabeza</b>	<b>10,22</b>	<b>193,68</b>	<b>0,07</b>	<b>0,10</b>	<b>1,05</b>	<b>3,99</b>	<b>71,06</b>	<b>65,21</b>	<b>73,18</b>	<b>20,40</b>	<b>52,29</b>
<b>Conc Bulk I</b>	3,97	1913,04	0,59	1,15	1,52	31,72	40,50	36,22	43,30	5,74	27,45
<b>Conc Bulk II</b>	3,76	1227,91	0,40	0,68	2,46	23,94	24,60	23,23	24,23	8,80	19,60
<b>Conc Bulk III</b>	2,49	449,76	0,15	0,24	2,48	9,68	5,95	5,76	5,65	5,86	5,24
<b>Cabeza Zn</b>	<b>89,78</b>	<b>60,51</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<b>0,93</b>	<b>2,44</b>	<b>20,81</b>	<b>22,64</b>	<b>11,91</b>	<b>73,61</b>	<b>22,18</b>
<b>Conc Zn I</b>	1,19	769,63	0,22	0,17	31,72	8,59	4,88	4,05	1,92	35,93	2,23
<b>Conc Zn II</b>	3,73	506,94	0,19	0,15	9,06	13,13	10,08	10,96	5,31	32,17	10,68
<b>Conc Zn III</b>	6,17	177,69	0,08	0,08	0,94	6,90	5,84	7,63	4,68	5,52	9,28
<b>Relave</b>	78,68	19,40	0,01	0,02	0,08	1,49	8,13	12,15	14,91	5,99	25,53
<b>Cabeza Cal</b>	<b>100,00</b>	<b>187,70</b>	<b>0,06</b>	<b>0,11</b>	<b>1,05</b>	<b>4,59</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

**Figura 12**  
*Cinética de flotación*



Fuente. Elaboración propia

**Figura 13**  
*Cinética de flotación*



Fuente. Elaboración propia

Las figuras 12 y 13 demuestran que los resultados de la cinética selectiva indican que el mineral en estudio responde normalmente a un proceso de flotación de sulfuros. Observando que el contenido de valores de Fe presenta una fuerte afinidad en la cinética de flotación en relación con los valores de interés (plata (Ag),

cobre (Cu) y plomo (Pb)) en el circuito a granel, se puede ver que se manifiesta una cinética de flotación aceptable en el circuito de zinc (Zn).

- El contenido de Plata (Ag) en el relave se considera alto; una de las causas sería el incremento del grado de liberación ya que presenta un work index alto.
- Se consiguen resultados regulares de Plata (Ag) y Zinc (Zn). El recupero de Plata (Ag) total es 91,87%, el de Plomo (Pb) fue de 73,18% y la de Zinc (Zn) es de 73,61%.

#### **E. Regresiones entre elementos químicos**

Con el conjunto de pruebas químicas (espumas y colas) correspondientes a cada etapa, se realiza una regresión lineal entre pares de elementos químicos para establecer la correlación entre pares de elementos químicos y determinar el valor estadístico t-student que expresará la significación de la correlación; si el signo de este valor estadístico es superior a 2,571 y positivo, existe una alta probabilidad de encontrar una relación mineralógica, tabla 8.

**Tabla 8**  
*Correlación de pares de elementos metálicos*

INTERACCION	R <sup>2</sup>	t-Student	INTERACCION	R <sup>2</sup>	t-Student
PLATA-COBRE	0,9929	26,46	ZINC-HIERRO	0,0323	-0,41
PLATA-PLOMO	0,9303	8,17	ZINC-ARSENICO	0,0043	-0,15
PLATA-ZINC	0,0009	0,07	ZINC-MANGANESO	0,1279	-0,86
PLATA-HIERRO	0,9218	7,68	ZINC-ANTIMONIO	0,0475	-0,5
PLATA-ARSENICO	0,6463	3,02	HIERRO-ARSENICO	0,744	3,81
PLATA-MANGANESO	0,7781	-4,19	HIERRO-MANGANES	0,6818	-3,27
PLATA-ANTIMONIO	0,9216	7,67	HIERRO-ANTIMONIO	0,919	7,53
COBRE-PLOMO	0,939	8,77	ARSENICO-MANGAN	0,4858	-2,17
COBRE-ZINC	0,0004	-0,05	ARSENICO-ANTIMON	0,522	2,34
COBRE-HIERRO	0,9598	10,93	MANGANESO-ANTIM	0,5796	-2,63
COBRE-ARSENICO	0,6888	3,33	PLATA-BISMUTO	0,7501	3,87
COBRE-MANGANESO	0,7763	-4,17	COBRE-BISMUTO	0,7766	4,17
COBRE-ANTIMONIO	0,9292	8,1	PLOMO-BISMUTO	0,6131	2,81
PLOMO-ZINC	0,0511	-0,52	ZINC-BISMUTO	0,0181	0,3
PLOMO-HIERRO	0,9329	8,33	HIERRO-BISMUTO	0,7713	4,11
PLOMO-ARSENICO	0,5982	2,73	ARSENICO-BISMUTO	0,9353	8,5
PLOMO-MANGANES	0,5602	-2,52	MANGANESO-BISMU	0,6907	-3,34
PLOMO-ANTIMONIO	0,9876	19,98	ANTIMONIO-BISMUTO	0,561	2,53

Fuente: elaboración propia

De la tabla 8 podemos comentar al respecto:

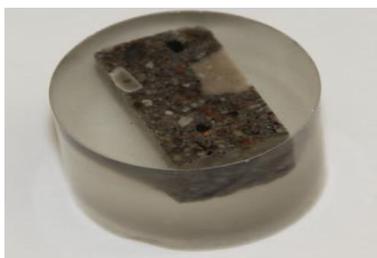
- La mayor correlación presenta Plata (Ag) – Cobre (Cu) presentando un R<sup>2</sup> = 0,9929 con un t Student = +26,46.
- Es importante observar que existe una relación de Plata (Ag) – Hierro (Fe) (+7,68), Cobre (Cu) – Hierro (Fe) (+10,93), Plomo (Pb) – Hierro (Fe) (+8,33), Hierro (Fe) – Antimonio (Sb) (+7,53) y Hierro (Fe) – Arsénico (As) (+3,81), el cual estaría indicando una relación de pirita (FeS<sub>2</sub>) con sulfosales de plata (SFAg).
- También es importante tener en cuenta las siguientes correlaciones como el de la plata (Ag) – Plomo (Pb) (+8,17), Plata (Ag) – Arsénico (As) (+3,02), Cobre (Cu) – Plomo (Pb) (+8,77), cobre (Cu) – Arsénico (As) (+3,33), cobre (Cu) – Antimonio (Sb) (+8,10), Plomo (Pb) – Arsénico (As) (+2,73), Plomo (Pb) – Antimonio (Sb) (+19,98), indicando la presencia mineralógica relacionados con distintos minerales.
- Así mismo se puede visualizar una asociación positiva del Bismuto (Bi) con Plata (Ag) (+3,87), cobre (Cu) (+4,17), Plomo

(Pb) (+2,81), Hierro (Fe) (+4,11), Arsénico (As) (+8,50) y Antimonio (Sb) (+3,61).

- Cabe mencionar que las tendencias negativas se presentan en el caso del Manganeso con las siguientes correlaciones: Plata (Ag) (-4,19), Cobre (Cu) (-4,17), Hierro (Fe) (-3,27), Antimonio (Sb) (-2,63), y Bismuto (Bi) (-3,34); el cual indica que los contenidos de manganeso en el concentrado bulk diluirá a los valores de Plata (Ag) y Cobre (Cu).
- Las otras interacciones no tendrían mayor importancia.

#### **F. Microscopia cualitativa cinética selectiva**

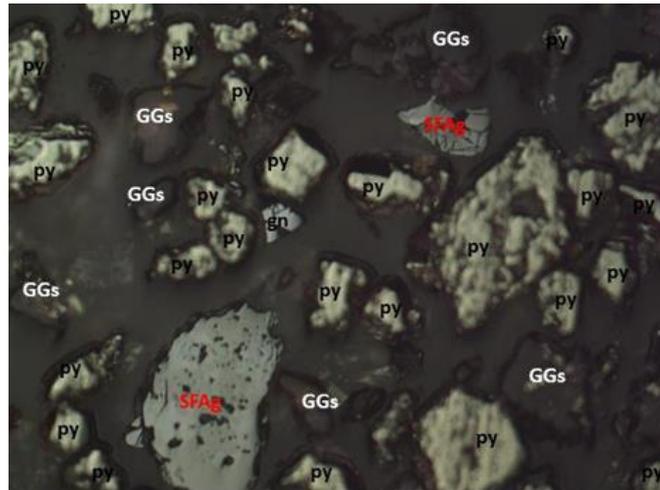
Después de pulir las secciones apropiadas de la espuma del primer minuto y de los relaves finales, se realizó un examen cualitativo bajo un microscopio de luz reflejada; los resultados se resumen a continuación.



**Foto 2.** Sección pulida

#### **Figura 14**

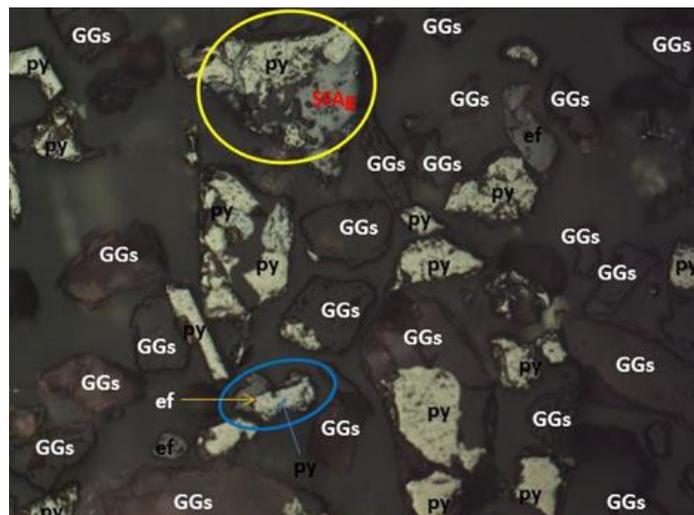
*Microscopia del concentrado primer minuto bulk*



La figura 14 muestra las partículas libres de sulfosales de plata (SFAG) y de galena (gn); las partículas valiosas se detectan en un porcentaje reducido, y en esta muestra, la ley de cabeza también se observa en una proporción menor. Además, se encuentran partículas de sulfuro de hierro no ligadas y partículas insolubles.

**Figura 15**

*Microscopia de partícula mixta*

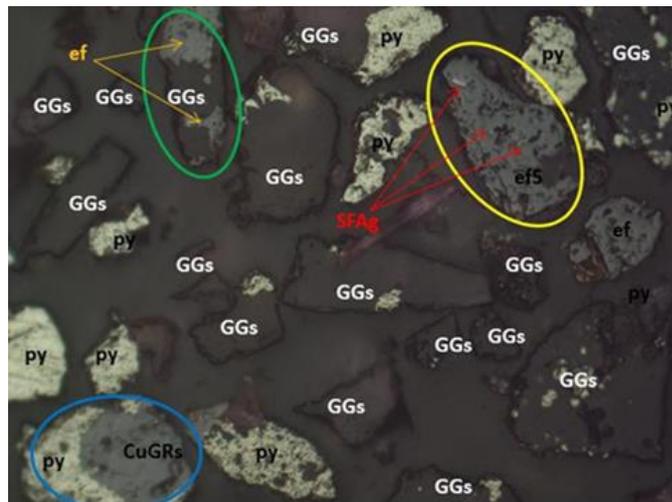


La figura 15 muestra una partícula mixta de sulfosales de plata y pirita (SFAG/py) en el círculo amarillo y una partícula

mixta de esfalerita y pirita (ef/py) en el círculo azul. Según la regresión estadística, la mayor relación se da entre la plata y el hierro. El cuadro se completa con la observación de partículas libres de esfalerita normal (ef), sulfuros de hierro y partículas insolubles.

### Figura 16

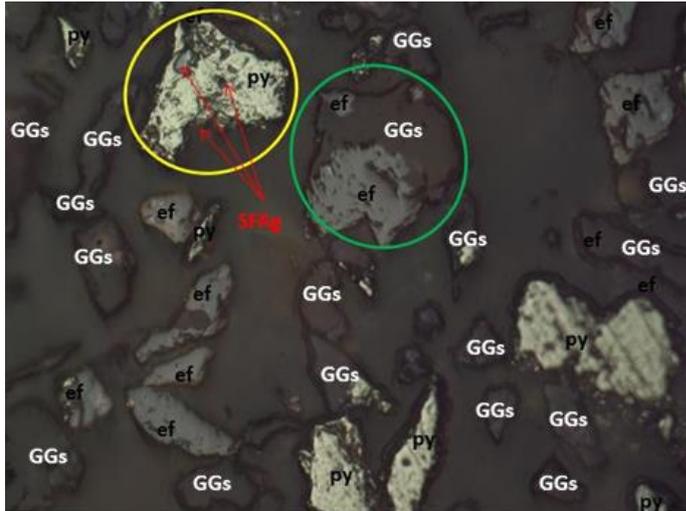
*Microscopia del concentrado primer minuto zinc*



La figura 16 muestra una partícula de esfalerita tipo 5 (finos sulfosales de plata con inclusiones en la esfalerita normal) dentro del círculo amarillo (ef5), una partícula mixta de esfalerita normal y ganga dentro del círculo verde (ef/GGs), y una partícula mixta de cobre gris y pirita dentro del círculo azul (CuGRs/py). Las observaciones también incluyen partículas libres de esfalerita típica (ef), sulfuro de hierro y partículas insolubles.

### Figura 17

*Microscopia de partícula fina de sulfosales*

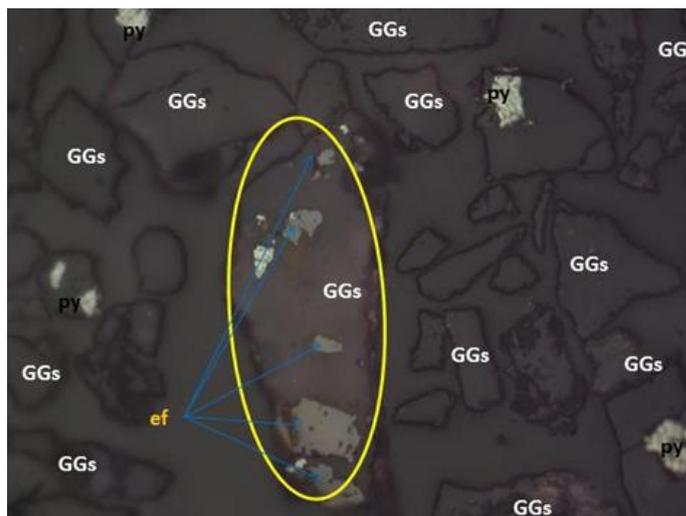


Fuente: laboratorio microscopia

La figura 17 muestra una partícula fina de sulfosales de plata con inclusiones de pirita y una partícula mixta de esfalerita y ganga (ef/GGs) dentro de los círculos amarillo y verde, respectivamente. Pueden detectarse partículas libres de esfalerita típica (ef), sulfuros de hierro y partículas insolubles para completar la escena.

### Figura 18

*Microscopia de Relave final*



Fuente: laboratorio microscopia

El círculo amarillo de la figura 18 representa pequeñas partículas de esfalerita con inclusiones de ganga. Debido a su mineralogía, las partículas con inclusiones son muy difíciles de recuperar. También se encuentran partículas de pirita (py) e insolubles.

En la imagen, el círculo amarillo contiene pequeñas partículas de sulfosales de plata con inclusiones de ganga, así como partículas insolubles y pirita (py).

#### **G. Prueba de flotación para balance metalúrgico proyectado**

Para evaluar las calidades potenciales del concentrado, se realiza una prueba de flotación selectiva con fases de limpieza. Al modelar el diagrama de flujo del proceso de flotación, se ignora el retorno de los medios de limpieza al circuito, y los relaves finales se incrementan en un promedio del 30% para estimar el balance metalúrgico por matriz para dos o tres productos.

#### **Condiciones de flotación – prueba de flotación batch**

La dosificación de los reactivos estándares se realizó en esta prueba. Las circunstancias de lapso de flotación, molienda, pH y dosis de reactivos ver tabla 9.

**Tabla 9****Condiciones de flotación – 60% -m200**

	Tiempo (min)	pH	NaCN gr/Tn	ZnSO <sub>4</sub> gr/Tn	NaHSO <sub>3</sub> gr/Tn	Z-11(60%) Z-06 (40%) gr/Tn	H-150 gr/Tn	CaO gr/Tn	CuSO <sub>4</sub> gr/Tn
<b>Molienda</b>	28,55	6,0		500,0					
<b>Plomo</b>									
Acond I	1,0	6,00/8,50	30,0			10,0	23,6	450,0	
Rougher Pb	3,0	8,5			300,0				
Scavenger P	2,0	8,5				5,0			
Cleaner I Pb	2,0	8,5	15,0						
Cleaner II Pb	2,0	8,5	5,0						
Cleaner III P	2,0	8,5					3,0		
<b>Zinc</b>									
Acond II	3,0	8,5/11,0						600,0	
Acond III	2,0	11,0				15,0		300,0	200,0
Rougher Zn	3,0	11,0							
Scavenger Z	2,0	11,0				5,0			25,0
Cleaner I Zn	3,0	12,0						450,0	
Cleaner II Zn	3,0	12,0						450,0	
Cleaner III Zn	2,0	12,0						300,0	
<b>Consumo Total (gr/Tn)</b>			50,0	500,0		35,0	26,6	2550,0	225,0

**H. Balance metalúrgico proyectado**

Para detallar el balance proyectado se toma en consideración el factor 80/20 lo que indica:

- Para el concentrado de plomo: la metodología es a los finos del concentrado de plomo se le suma en promedio el 80% de los medios bulk y adicionalmente se le agrega en promedio el 20% del scavenger bulk.
- Para el concentrado de zinc (Zn): los finos del concentrado se le suma en promedio el 50% de los medios zinc (Zn).
- Para el relave: el valor se obtiene sumando el relave Zinc (Zn) más los medios Zinc (Zn) más el scavenger Zinc (Zn) más el concentrado Zinc (Zn) también más en promedio el 20% de los medios Zinc (Zn) y todo el scavenger de Zinc (Zn).

**Tabla 10**

*Balance metalúrgico proyectado*

	T.M.S.	ENSAYES								
		Ag gr/Tn	Cu %	Pb %	Zn%	Fe%	As%	Mn %	Bi%	Sb%
CABEZA	100,0 0	193,68	0,07	0,10	1,05	3,99	0,09	0,23	0,01	0,02
CONC. Pb	0,90	15110,32	4,13	16,96	13,16	25,90	1,04	0,04	0,20	3,02
CONC. Zn	1,41	1286,45	0,38	0,23	57,67	2,21	0,13	0,03	0,01	0,11
RELAVE	97,68	40,08	0,05	0,02	0,12	3,81	0,09	0,23	0,01	0,01
CABEZA CALC.	100,0 0	193,71	0,09	0,18	1,05	3,99	0,10	0,23	0,01	0,04

	T.M. S.	ENSAYES					DISTRIBUCION					RADI O
		Ag gr/Tn	Cu%	Pb%	Zn %	Fe%	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	
CABEZA	100	193,68	0,07	0,10	1,05	3,99	10,00	100,0 0	100,00	100,0 0	100,0 0	
CONC.Pb	0,90	15110,32	4,13	16,96	13,16	25,90	70,40	39,31	85,82	11,30	5,86	110,8 0
CONC.Zn	1,41	1286,45	0,38	0,23	57,67	2,21	9,39	5,67	1,82	77,55	0,78	70,74
RELAVE	97,68	40,08	0,05	0,02	0,12	3,81	20,21	55,02	12,36	11,15	93,36	
CABEZA CALC.	100,00	193,71	0,09	0,18	1,05	3,99	100,0 0	100,0 0	100,00	100,0 0	100,00	

Recuperaciones		
Pb%	Zn%	Ag%
85,82	77,55	79,79

En la tabla 10 del balance metalúrgico realizado se concluye.

- El análisis de los resultados del balance previsto arroja una ley de Plomo (Pb) del 16,96% con una recuperación del 85,82% y una recuperación de Plata (Ag) del 70,40% en el concentrado a granel.
- En el caso del Zinc (Zn), se produce una ley del 57,67% con una tasa de recuperación del 77,55%; la recuperación de Plata (Ag) en el concentrado de Zinc (Zn) es del 9,39%, resultando una tasa de recuperación total de Plata (Ag) del 79,79%.
- Se considera que el desplazamiento de los valores de Plata (Ag) a los relaves finales es alto debido al mismo comportamiento mineralógico, lo que influye de alguna manera en los resultados.

#### 4.2.2. Caracterización geometalúrgica de la veta Ilacsacocha tajo 251

##### A. Identificación del mineral

###### Ensayes químicos

Como se muestra en la tabla 11, después que la muestra se haya preparado, se transfiere al correspondiente laboratorio químico para su análisis.

**Tabla 11**

*Ensaye químico*

<b>Ag g/Tn</b>	<b>Cu %</b>	<b>Pb %</b>	<b>Zn %</b>	<b>Fe %</b>	<b>As %</b>	<b>Mn %</b>	<b>Bi %</b>	<b>Sb %</b>	<b>PbOx%</b>	<b>ZnOx%</b>
<b>313.87</b>	0,73	0,80	6,44	10,92	0,21	0,28	0,05	0,19	0,05	0,06

La tabla 11 revela que el mineral investigado contiene cantidades significativas de Plata (Ag) y Zinc (Zn), así como cantidades regulares de Cobre (Cu) y Plomo (Pb). El contenido de Hierro (Fe) es elevado. Los niveles de Arsénico (As), Manganeseo (Mn), Bismuto (Bi) y Antimonio (Sb) son bajos. Los porcentajes de óxidos de plomo (PbOx) y de zinc (ZnOx) son del 0.05% y del 0.06%, respectivamente.

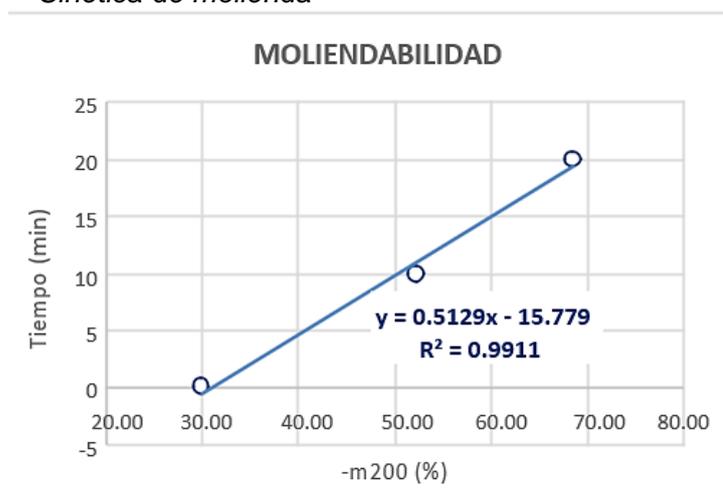
##### B. Pruebas de moliendabilidad

Los resultados de prueba de molienda en cuatro tiempos, el % malla -200, los resultados se presentan en tabla 12.

**Tabla 12**  
*Moliendabilidad*

<b>-m 200</b>	<b>Tiempo</b>
<b>29,88</b>	0
<b>52,39</b>	10
<b>68,53</b>	20

**Figura 19**  
*Cinética de molienda*



Obtenido los resultados de prueba de Moliendabilidad, se establece la ecuación de regresión de datos de tiempo Vs. Pasante (-m200), en donde se consigue la correspondiente ecuación lineal:

$$y = 0,5129x - 15,779$$

$$Tiempo_{(min)} = 0,5129(-m200\%) - 15,779$$

Según a los resultados se consigue que el periodo de molienda apropiado es de 15.00 min (60.00% -m200).

### C. Prueba de determinación de work index comparativo

También utilizamos el enfoque de comparación con el cuarzo, que tiene un índice de trabajo de 13,6 Kw-hr/Tc, para determinar la dureza del mineral.

Evaluamos el tamaño medio de la alimentación F80 (100% que pasa por la malla 6 ASTM en la muestra) y el tamaño del producto P80 después de la molienda para ambos minerales (el pozo de Veta Llacsacocha (Tj) 251 y el cuarzo). El período de molienda para ambas muestras fue de 10 minutos; los siguientes son los resultados granulométricos.

**Tabla 13***Tamaño promedio del alimento y producto*

DESCRIPCION	F <sub>80</sub>	P <sub>80</sub>
CUARZO	1834,70	292,65
MUESTRA	1323,53	179,43

**Tabla 14***Índice de trabajo del mineral*

MUESTRA DE MINERAL	LABORATORIO		SIN AJUSTE		AJUSTADA		PROMEDIO Kw-hr/Tn
			LOG	POLI	LOG	POLI	
	Kw-hr/Tc	Kw-hr/Tn	Kw-hr/Tn	Kw-hr/Tn	Kw-hr/Tn	Kw-hr/Tn	
Veta Ilacsacocha Tj 251	10,12	11,26	12,79	12,91	12,73	12,86	12,82

De tabla 13 y 14 se estableció el  $W_i = 12,82$  Kw-hr/Tn que será el indicativo de dureza del mineral en análisis.

#### D. Flotación de sulfuros

##### Cinética de flotación selectiva Plomo (Pb) – Cobre (Cu) – Zinc (Zn).

Se realiza una prueba de flotación selectiva haciendo flotar primero los sulfuros de Cobre (Cu) - Plomo (Pb) - Plata (Ag) y deprimiendo los sulfuros de Zinc (Zn) y Hierro (Fe); la segunda etapa consiste en la flotación de los sulfuros de Zinc (Zn) activados con sulfato de cobre (CuSO<sub>4</sub>).

##### Condiciones de flotación.

Los reactivos se dosificaron según los estándares flotación de sulfuros Cobre (Cu) – Plomo (Pb) – Plata (Ag) – Zinc (Zn), las circunstancias de tiempo, pH y cantidades de reactivos se presenta en la tabla 15.

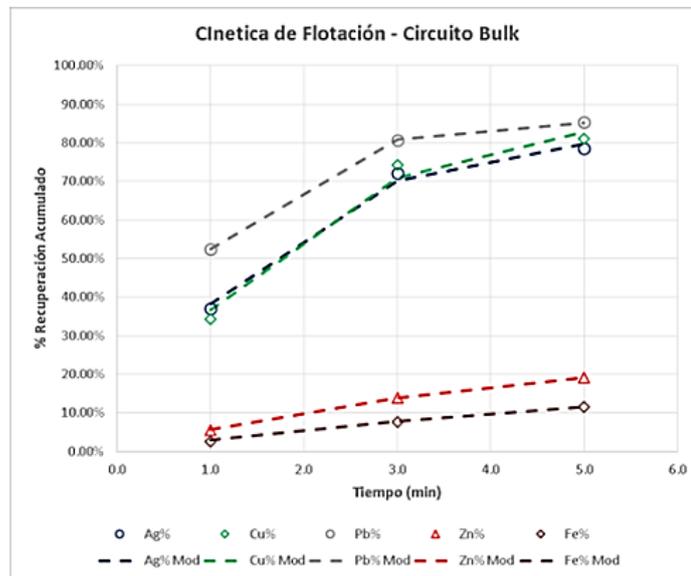
**Tabla 15***Condiciones de flotación*

	Tiempo Ac (min)	pH	ZnSO <sub>4</sub> gr/Tn	NaCN gr/Tn	NaHSO <sub>3</sub> gr/Tn	Z-11(60%) Z-06 (40%) gr/Tn	H-150 gr/Tn	CaO gr/Tn	CuSO <sub>4</sub> gr/Tn
<b>Molienda Bulk</b>	15,00	8,30	500,0						
Acond I	0,5	8,30		30,0		15,0	23,6		
Conc Bulk I	1,0	8,30							
Conc Bulk II	3,0	8,30			300,0				
Conc Bulk III	5,0	8,30							
<b>Zinc</b>									
Acond II	2,0	8,00/11,00						600,0	
Acond III	3,0	11,00				20,0	5,9		200,0
Conc Zn I	1,0	11,00							
Conc Zn II	3,0	11,00							
Conc Zn III	5,0	11,00							
<b>Consumo Total (gr/Tn)</b>			500,0	30,0	300,0	35,0	29,5	600,0	200,0

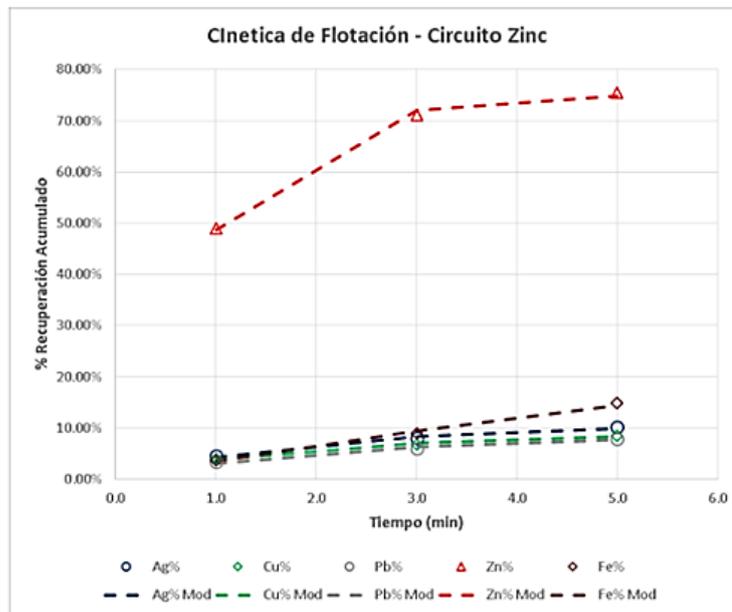
**Tabla 16***Balance metalúrgico cinética de flotación estándar*

Product o	%	Pes o	Ag gr/Tn	LEYES				RECUPERACIONES			
				Cu %	Pb%	Zn%	Fe%	Ag %	Cu %	Pb%	Zn %
<b>Cabeza Bk</b>	<b>9,86</b>	<b>313,87</b>	<b>0,73</b>	<b>0,80</b>	<b>6,44</b>	<b>10,92</b>	<b>78,54</b>	<b>81,07</b>	<b>85,43</b>	<b>19,18</b>	<b>11,63</b>
Conc Bk I	2,77	4330,96	8,75	14,43	13,14	10,10	37,05	34,40	52,46	5,47	2,52
Conc Bk II	4,21	2697,78	6,65	5,09	13,29	13,57	35,11	39,78	28,15	8,42	5,16
Conc Bk III	2,89	712,88	1,68	1,27	12,13	15,14	6,37	6,90	4,82	5,28	3,95
<b>Cabeza Zn</b>	<b>90,14</b>	<b>76,99</b>	<b>0,15</b>	<b>0,12</b>	<b>5,95</b>	<b>10,85</b>	<b>10,11</b>	<b>8,48</b>	<b>7,81</b>	<b>75,51</b>	<b>14,84</b>
Conc Zn I	6,83	213,21	0,41	0,37	47,63	5,86	4,50	3,98	3,32	49,00	3,62
Conc Zn II	5,06	220,18	0,39	0,41	28,98	11,48	3,44	2,80	2,73	22,08	5,25
Conc Zn III	4,78	145,90	0,25	0,28	6,15	13,84	2,16	1,70	1,76	4,43	5,98
Relave	73,47	49,98	0,10	0,07	0,48	11,08	11,36	10,44	6,76	5,31	73,53
<b>Cabeza Cal</b>	<b>100,00</b>	<b>323,30</b>	<b>0,70</b>	<b>0,76</b>	<b>6,64</b>	<b>11,07</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

**Figura 20**  
*Cinética de flotación-bulk*



**Figura 21**  
*Cinética de flotación-circuito de zinc*



En la cinética selectiva, los hallazgos (Figuras 20, 21) sugieren que el mineral investigado reacciona a un proceso de flotación de sulfuros, como lo demuestra el aumento simultáneo de

los valores de cobre (Cu) y plata (Ag) en el circuito a granel, y la aceptable cinética de flotación del circuito de zinc.

- El contenido de Plata (Ag) en el relave es elevado; una de las causas sería por una relación mineralógica que existiera con la ganga.
- Se logran efectos regulares de Plata (Ag) y Zinc (Zn). El recupero de Plata (Ag) general es 88,64%, el de Cobre (Cu) en 81,07%, el de Plomo (Pb) fue de 85,43% y la de Zinc (Zn) es de 75,51%.

### E. Regresiones entre elementos químicos

Con el conjunto de pruebas químicas (espumas y colas) correspondientes a cada etapa, se realiza una regresión lineal entre pares de elementos químicos para establecer la correlación entre pares de elementos químicos y determinar el valor estadístico t-student que expresará la significación de la correlación; si el signo de este valor estadístico es superior a 2,571 y positivo, existe una alta probabilidad de encontrar una relación mineralógica.

**Tabla 17**

*Correlación de pares de elementos metálicos*

INTERACCION	R <sup>2</sup>	t-Student	INTERACCION	R <sup>2</sup>	t-Student
PLATA-COBRE	0,9862	18,89	ZINC-HIERRO	0,5167	-2,31
PLATA-PLOMO	0,9375	8,66	ZINC-ARSENICO	0,036	-0,43
PLATA-ZINC	0,0283	-0,38	ZINC-MANGANESO	0,5944	-2,71
PLATA-HIERRO	0,0003	0,04	ZINC-ANTIMONIO	0,036	-0,43
PLATA-ARSENICO	0,9644	11,64	HIERRO-ARSENICO	0,015	0,28
PLATA-MANGANESO	0,1892	-1,08	HIERRO-MANGANES	0,2414	1,26
PLATA-ANTIMONIO	0,9976	45,17	HIERRO-ANTIMONIO	0,0007	0,06
COBRE-PLOMO	0,8692	5,76	ARSENICO-MANGAN	0,1821	-1,06
COBRE-ZINC	0,032	-0,41	ARSENICO-ANTIMON	0,9714	13,04
COBRE-HIERRO	0,0044	0,15	MANGANESO-ANTIM	0,1704	-1,01
COBRE-ARSENICO	0,9936	27,93	PLATA-BISMUTO	0,995	31,58
COBRE-MANGANES	0,1848	-1,06	COBRE-BISMUTO	0,9656	11,84

<b>COBRE-ANTIMONIO</b>	<b>0,9914</b>	<b>23,99</b>	<b>PLOMO-BISMUTO</b>	<b>0,9662</b>	<b>11,95</b>
<b>PLOMO-ZINC</b>	0,0235	-0,35	ZINC-BISMUTO	0,0321	-0,41
<b>PLOMO-HIERRO</b>	0,0072	-0,19	HIERRO-BISMUTO	0	0,01
<b>PLOMO-ARSENICO</b>	<b>0,8182</b>	<b>4,74</b>	<b>ARSENICO-BISMUTO</b>	<b>0,9357</b>	<b>8,53</b>
<b>PLOMO-MANGANES</b>	0,1667	-1,0	MANGANESO-BISMUTO	0,1754	-1,03
<b>PLOMO-ANTIMONIO</b>	<b>0,9212</b>	<b>7,65</b>	<b>ANTIMONIO-BISMUTO</b>	<b>0,989</b>	<b>21,16</b>

De la tabla 17 se comenta:

- Las mayores correlaciones presentan Plata (Ag) – Antimonio (Sb) presentando un  $R^2 = 0,9976$  con un t Student = +45,17, de igual manera resalta Plata (Ag) – Cobre (Cu) con un  $R^2 = 0,9862$  con un t Student = +18,89, Plata (Ag) – Plomo (Pb) con un  $R^2 = 0,9375$  con un t Student = +8,66 y Plata (Ag) – Arsénico (As) con un  $R^2 = 0,9644$  con un t Student = +11,64.
- También es importante tener en cuenta las siguientes correlaciones el de Cobre (Cu) – Plomo (Pb) (+5,76), Cobre (Cu) – Arsénico (As) (+27,93), cobre (Cu) – Antimonio (Sb) (+23,99), Plomo (Pb) – Arsénico (As) (+4,74), Plomo (Pb) – Antimonio (Sb) (+7,65) y Arsénico (As) – Antimonio (Sb) (+13,04), detallando la presencia mineralógica de cobres grises asociados al mineral de galena.
- Es importante visualizar que existe una asociación de Plata (Ag) – Hierro (Fe) (+7,68), Cobre (Cu) – Hierro (Fe) (+10,93), Plomo (Pb) – Hierro (Fe) (+8,33), Hierro (Fe) – Antimonio (Sb) (+7,53) y Hierro (Fe) – Arsénico (As) (+3,81), el cual estaría indicando una relación de pirita ( $FeS_2$ ) con sulfosales de plata (SFAg).
- Así mismo se puede ver una asociación positiva del Bismuto (Bi) con Plata (Ag) (+31,58), cobre (Cu) (+11,84), Plomo (Pb) (+11,95), Arsénico (As) (+8,53) y Antimonio (Sb) (+21,16).

- Cabe mencionar que las tendencias negativas se presentan en el caso del Manganeso con el Zinc (Mn-Zn) (-2,71); el cual indica que los contenidos de manganeso en el concentrado zinc contribuirán a reducir la calidad de Zn.
- Las otras interacciones no tendrían mayor importancia.

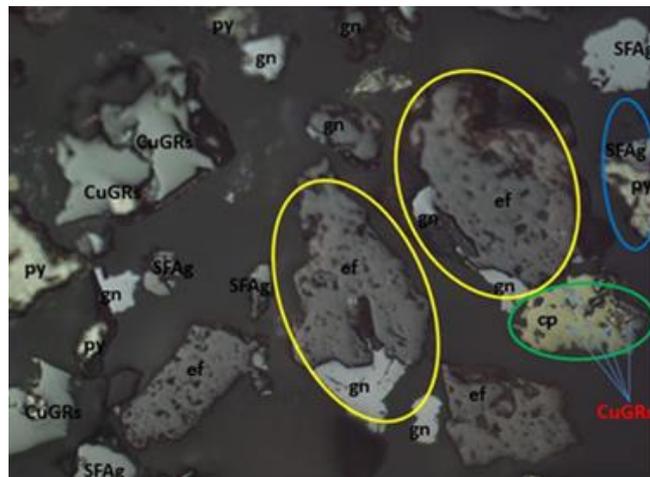
#### F. Microscopia cualitativa cinética selectiva

Después de pulir las distintas secciones de la espuma del primer minuto y de los relaves finales, se realizó un examen cualitativo utilizando un microscopio de luz reflejada, y los resultados son los siguientes:

La figura 22 muestra partículas mixtas de esfalerita y galena (**ef/gn**) en círculos amarillos, inclusiones grises de cobre en calcopirita (**CuGRs-cp**) en círculos verdes, y una partícula mixta de sulfosales de plata y pirita (**SFAg/py**) en círculos azules. La galena (**gn**), los cobres grises (**CuGRs**), los sulfosales de plata (**SFAg**), la esfalerita normal (**ef**) y el sulfuro de hierro se descubren como partículas libres.

#### Figura 22

*Microscopia del concentrado primer minuto bulk*

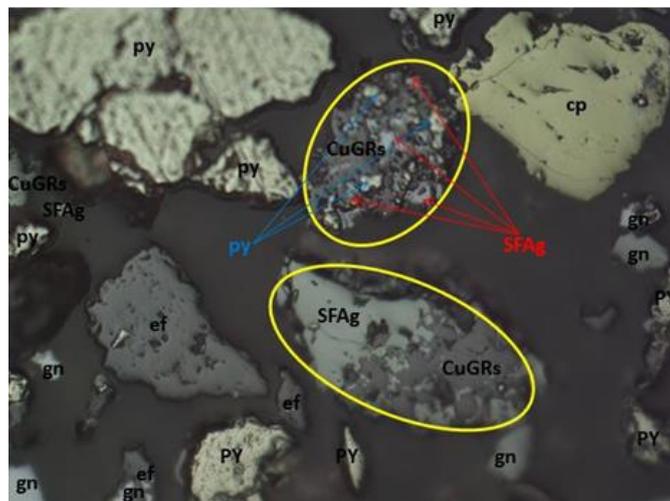


Fuente: laboratorio microscopia

La figura 23 muestra una partícula compuesta por sulfosales de plata y cobre gris (**SFAG/CuGRs**) en el círculo amarillo y pequeñas partículas de sulfosales de plata y pirita con inclusiones de cobre gris en el círculo verde. También vemos galena (**gn**), calcopirita (**cp**), sulfosales de plata (**SFAG**), cobres grises (**CuGRs**), esfalerita normal (**ef**) y sulfuros de hierro como partículas libres.

### Figura 23

*Microscopía del concentrado primer minuto bulk*

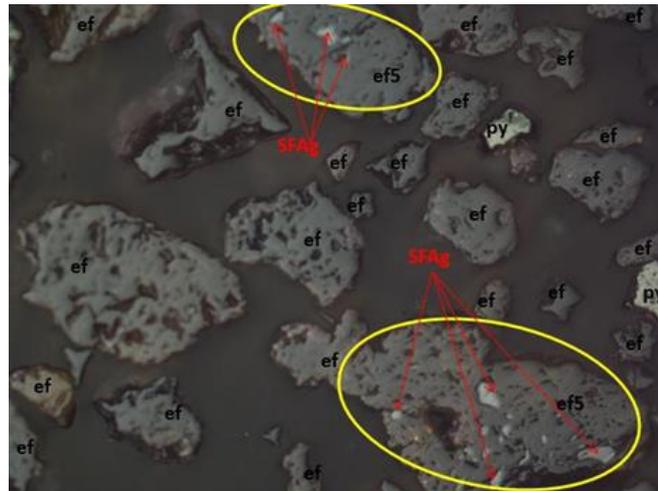


Fuente: laboratorio microscopía

La figura 24 muestra partículas de esfalerita del tipo 5 (finos sulfosales de plata con inclusiones en esfalerita regular) dentro de círculos amarillos (**ef5**). Debido a su mineralogía, este tipo de partículas es muy difícil de liberar. La imagen se completa con la observación de partículas libres de esfalerita normal (**ef**) y de sulfuro de hierro.

## Figura 24

*Microscopia del concentrado primer minuto de zinc*



Fuente: laboratorio microscopia

La figura 25 muestra una partícula mixta de esfalerita-pirita (**ef/py**) dentro de los círculos amarillos y una partícula de esfalerita de tipo 5 (partículas finas de sulfosales de plata con inclusiones de esfalerita) dentro del círculo verde (**ef5**). Las observaciones incluyen partículas libres de esfalerita típica (**ef**) y sulfuros de hierro.

## Figura 25

*Microscopia del concentrado primer minuto de zinc*



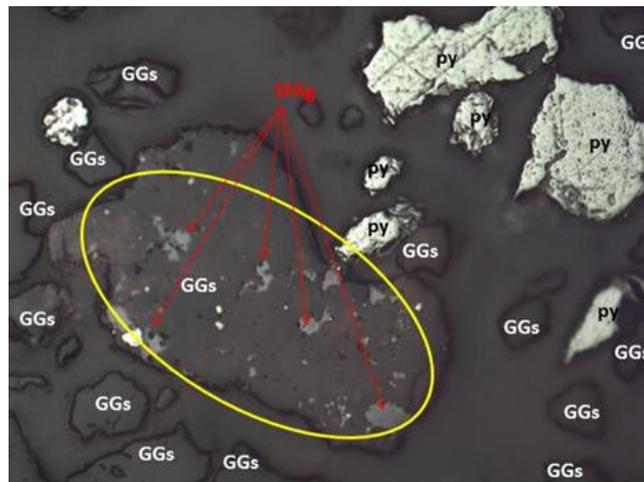
Fuente: laboratorio microscopia

## Microscopia de relave final

La figura 25 muestra pequeñas partículas de sulfosales de plata con inclusiones de ganga (**SFAg-GGs**) dentro de un círculo amarillo; debido a su mineralogía, este tipo de partículas es muy difícil de extraer. También se detectan partículas de pirita libre y partículas insolubles.

### Figura 25

*Microscopia de relave final*

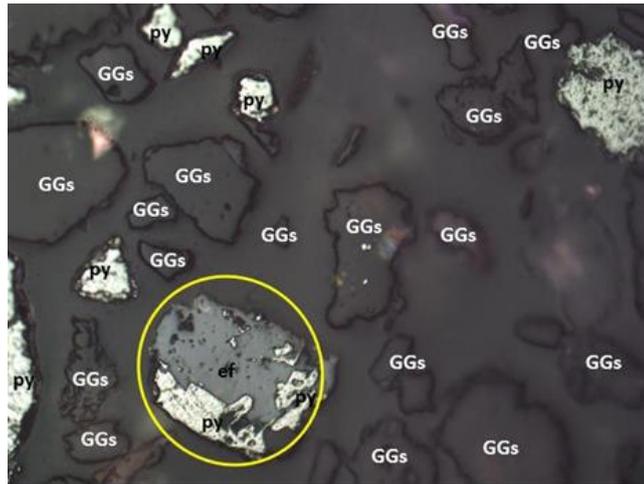


Fuente: laboratorio microscopia

En figura 26 se puede observar dentro del círculo amarillo partículas combinadas de esfalerita - pirita (ef/py), es relevante el tiempo molienda para liberar este tipo de partículas y minimizar la presencia de mixtos, así mismo se visualiza pirita y partículas insolubles.

### Figura 26

*Microscopia de relave final*



Fuente: laboratorio microscopia

### G. Prueba de flotación para balance metalúrgico proyectado

Se realiza una prueba de flotación selectiva con etapas de limpieza para determinar las calidades potenciales del concentrado. Al modelar el diagrama de flujo del proceso de flotación, se ignora el retorno de los medios de limpieza al circuito, y los relaves finales se incrementan en un promedio del 30% para estimar el balance metalúrgico por matriz para dos o tres productos.

#### Condiciones de flotación – prueba de flotación batch

La dosificación de los reactivos estándares se realizó en esta prueba. Las condiciones de flotación, el periodo de molienda, pH y dosificación de reactivos figuran en la tabla 17.

**Tabla 17**

*Condiciones de flotación – 60% -m200*

	Tiempo (min)	pH	NaCN gr/Tn	ZnSO <sub>4</sub> gr/Tn	NaHSO <sub>3</sub> gr/Tn	Z-11(60%) Z-06 (40%) gr/Tn	H-150 gr/Tn	CaO gr/Tn	CuSO <sub>4</sub> gr/Tn
<b>Molienda Plomo</b>	15.00	7.7		500.0					
Acond I	1,0	7.70/8.5	30,0			10,0	23,6	10,0	
Rougher Pb	3,0	8,5			300,0				
Scavenger P	2,0	8,5				5,0			
Cleaner I Pb	2,0	8,5	15,0						
Cleaner II Pb	2,0	8,5	5,0						
Cleaner III P	2,0	8,5					3,0		
<b>Zinc</b>									
Acond II	3,0	9.0/11.0						1050,0	

Acond III	2,0	11,0		20,0		300,0	250,0		
Rougher Zn	3,0	11,0							
Scavenger Z	2,0	11,0		5,0			25,0		
Cleaner I Zn	3,0	12,0				300,0			
Cleaner II Zn	3,0	12,0				250,0			
Cleaner III Zn	2,0	12,0				150,0			
<b>Consumo Total (gr/Tn)</b>			50,0	500,0	300,0	40,0	26,6	2060,0	275,0

*Nota.* Datos tomados del laboratorio

## H. Balance metalúrgico proyectado

Para establecer el balance proyectado se toma en consideración el factor 80/20 lo que indica:

- Para el concentrado de plomo: la metodología es a los finos del concentrado de plomo se le suma en promedio el 80% de los medios bulk y adicionalmente se le agrega en promedio el 20% del scavenger bulk.
- Para el concentrado de zinc: los finos del concentrado se le suma en promedio el 50% de los medios zinc.
- Para el relave: el valor se obtiene sumando el relave Zn más los medios Zn más el scavenger Zn más el concentrado Zn también más en promedio el 20% de los medios Zn y todo el scavenger de zinc.

**Tabla 18**

*Balance metalúrgico proyectado*

	T.M.S.	ENSAYES								
		Ag gr/Tn	Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	As%	Mn%	Bi%	Sb%
CABEZA	100,00	313,87	0,73	0,80	6,44	10,92	0,21	0,28	0,05	0,19
CONC.COBRE	1,75	10969,61	29,32	5,84	5,86	8,16	6,80	0,03	1,10	3,93
CONC.PLOMO	1,50	2962,30	2,18	36,77	1,37	11,76	0,77	0,06	1,29	0,75
CONC.ZINC	9,12	205,75	0,43	0,44	63,26	2,30	0,10	0,10	0,03	0,07
RELAVE	87,63	66,62	0,16	0,12	0,63	11,86	0,08	0,40	0,02	0,12
CABEZA CALC.	100,00	313,87	0,73	0,80	6,44	10,92	0,21	0,36	0,06	0,19

	T.M.S.	Ag gr/Tn	ENSAYES				DISTRIBUCION				RADIO	
			Cu%	Pb%	Zn%	Fe%	Ag%	Cu%	Pb%	Zn%		Fe%
CABEZA	100,00	313,87	0,73	0,80	6,44	10,92	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
CONC.COBRE	1,75	10969,61	29,32	5,84	5,86	8,16	61,27	70,41	12,80	1,60	1,31	57,04
CONC.PLOMO	1,50	2962,30	2,18	36,77	1,37	11,76	14,15	4,48	68,92	0,32	1,61	66,69
CONC.ZINC	9,12	205,75	0,43	0,44	63,26	2,30	5,98	5,37	5,01	89,54	1,92	10,97

RELAVE	87,63	66,62	0,16	0,12	0,63	11,86	18,60	19,74	13,26	8,55	95,16
CABEZA	100,00	313,87	0,73	0,80	6,44	10,92	100,00	100,0	100,00	100,00	100,00
CALC.								0			

Recuperaciones			
Cu%	Pb%	Zn%	Ag%
70,41	68,92	89,5	81,40
		4	

De la tabla 18 se observa que:

- Estudiando los efectos del balance efectuado se consigue un nivel de cobre (Cu) de 29,32% con un recuperado de 70,41% y un recuperado de Plata (Ag) en la concentración de cobre (Cu) de 61,27%.
- En la concentración de plomo (Plomo) se consigue un nivel de 36,77% con un recuperado de 68,92% y un recuperado de Plata (Ag) en 14,15%.
- En la situación del Zinc (Zn) se consigue un nivel de 63,26% con un recuperado de 89,54%; el recuperado de Plata (Ag) en la concentración de Zinc (Zn) de 5,98% (debido a la alta ley de cabeza que manifiesta), consiguiendo un recuperado general de Plata (Ag) = 81,40%.
- El desplazamiento de valoraciones de Plata (Ag) y Zinc (Zn) al relave último se establece como alto por el mismo comportamiento mineralógico, perjudicando de alguna manera a los resultados.

#### 4.3. Prueba de hipótesis

La hipótesis estadística es sometida a una comprobación para determinar si se realiza la aceptación o se rechaza la hipótesis nula.

##### Hipótesis Nula (H<sub>0</sub>)

La caracterización geometalúrgica del mineral de las vetas de la Zona Norte, no influyen en el comportamiento metalúrgico de la Unidad Minera Huarón, 2021

### Hipótesis alterna (Ha)

La caracterización geometalúrgico del mineral de las vetas de la Zona Norte, influyen en el comportamiento metalúrgico de la Unidad Minera Huarón, 2021

VETAS DE LA ZONA NORTE	Caracterización Geometalúrgica							
	Malla de molienda	Recup. Metalúrgica				Recup. Proyectado		
		Wi	Ag	Pb	Zn	Pb	Zn	Ag
Pozo D, RZN, Lb SN 200B	61,86	21,66	91,87	73,18	73,61	85,82	77,55	79,79
Llacsacocha, ZN,Tajo 251	60,00	12,82	88,65	85,43	75,51	68,92	89,54	81,40

### Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

### Estadístico de prueba

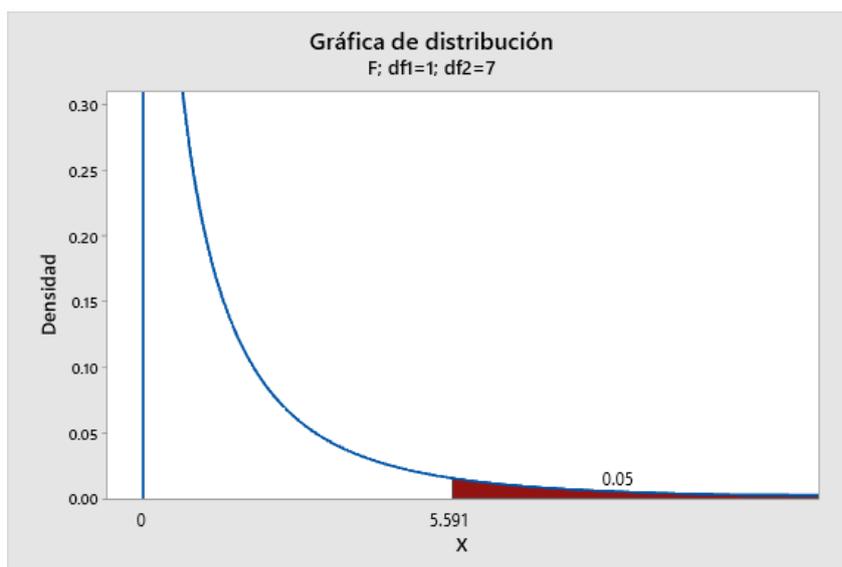
#### Análisis de Varianza

Fuente	Suma Cuadrados	Grados libertad	Media Cuadrados	Valor F	Valor p
Vetas	0,59	1	0,59	0,01	0,915
Carac. Geometalúrgica	7463,91	7	1066,27	22,07	0,000
Error	338,22	7	48,32		
Total	7802,71	15			

### Valor de decisión

$$F_{\text{calculado}} > F_{0,05,7,7} \text{ (Se acepta la Ha)}$$

$$22,07 > 5,5991$$



## **Decisión**

Se realiza la aceptación de la hipótesis alterna

## **Conclusión**

Hay suficientes pruebas para respaldar esta afirmación que la caracterización geometalúrgico del mineral de las vetas de la Zona Norte, influye en el comportamiento metalúrgico de la Unidad Minera Huarón, con un nivel de significancia del 5%.

### **4.4. Discusión de resultados**

A partir de la prueba de hipótesis en la que se comprueba que la caracterización geometalúrgico de los minerales de las vetas de Pozo Norte, si tiene influencia en el comportamiento metalúrgico de la Unidad Minera Huarón. Estos resultados guardan relación por lo manifestado por (Pérez Segura, Gaspar Sergeo, & Brown, 2013) debido a la comprensión de que las menas son mezclas de minerales y no de componentes químicos, se ha desarrollado la geometalurgia, y dado que todos los procesos incluyen minerales, son las propiedades fisicoquímicas de los minerales las que dictan las condiciones de un proceso de recuperación industrial.

El mineral denominado Veta Pozo D Ramal Labor SN 200B, presenta una ley alta en Ag, regular contenido de Zinc (Zn) y baja ley en Plomo (Pb) y Cobre (Cu), el contenido de Hierro (Fe) se considera bajo. El Work Index de comparación relacionado al cuarzo es 21,66 Kw-hr/Tn, considerándose muy dura. En los resultados de comportamiento mineralógico, observamos el desplazo de Plata (Ag) y Zinc (Zn) al relave, esto debido a la presencia de sulfosales de plata (SF<sub>Ag</sub>) y esfalerita (ZnS) con inclusiones en ganga, que afecta las recuperaciones. La microscopía óptica confirma la presencia de minerales Plata (Ag) – Gangas (GGs) y Zinc (Zn) – Gangas (GGs), el cual altera los contenidos de Plata (Ag) y Zinc (Zn) en el relave; como también, la afinidad

de la cinética del hierro en la flotación bulk y los desplazamientos de estas en el relave compromete bajar la recuperación.

En los test de flotación de Zinc (Zn) se evidencia un desarrollo metalúrgico apropiado, donde se obtiene una calidad de 57,67% con 77,55% de recuperación, teniendo como problema, el desplazamiento de Plata (Ag) al Zinc (Zn) por la presencia de esfalerita tipo 5, y la relación que existe entre la pirita (py) y los sulfosales de plata (SFAg). La recuperación de Plata (Ag) es afectada por inclusiones de sulfosales de Plata (Ag) en el Zinc (Zn) – Hierro (Fe) y gangas, y la presencia de mixtos entre estos elementos.

El mineral denominado Veta Llacsacocha Tajo 251, presenta altos contenidos de Plata (Ag) y Zinc (Zn); regulares contenidos en Cobre (Cu) y Plomo (Pb), el contenido de Hierro (Fe) se considera alto. El Work Index de la pertinente comparación relacionado al cuarzo obtenido es 12.82 Kw-hr/Tn, dureza bajo. Los resultados del comportamiento mineralógico, nos muestra, los desplazamientos de Zinc (Zn) en 0,63% y Plata (Ag) en 66,62 g/Ton al relave, afectando las recuperaciones. Este resultado tiene presencia debido a criterios mineralógicos, donde la visualización microscópica óptica como la regresión estadística detalla, la correspondiente presencia de inclusiones de sulfosales de Plata (Ag) con gangas (Ag-GGs) y mixtos de esfalerita (ef) con pirita (py), en ambos casos desplazados al relave; en el concentrado de zinc (Zn) se observa esfalerita tipo 5 (sulfosales de plata incluidas en la esfalerita) y como también la presencia de mixtos de esfalerita (ef) con pirita (py); en el caso del concentrado bulk se observa mixtos de esfalerita (ef) con galena (gn), el cual perjudica la recuperación de Zinc (Zn) debido al desplazamiento en la fase uno de flotación (Bulk) y relave.

En los test de flotación de Zinc (Zn) se evidencia un desarrollo metalúrgico bueno para el mineral, obteniéndose una calidad de 63,26% con 89,54% de recupero.

El mineral responde regularmente a un procedimiento de flotación de sulfuros, evidenciando que el recupero de Plata (Ag) tiene afectación por las inclusiones de Plata (Ag) en las gangas como también la presencia de esfalerita clase 5 (agregados de sulfosales de plata en la esfalerita).

## CONCLUSIONES

### 1.- Mineral de Veta Pozo D Ramal Labor subnivel (SN) 200B

- Presenta una ley alta en Plata (Ag), regular contenido de Zinc (Zn) y baja ley en Plomo (Pb) y Cobre (Cu), el contenido de Hierro (Fe) se considera bajo.
- El Work Index (Wi) del mineral es 21,66 kw-hr/Tn, dureza considerablemente alta.
- En el comportamiento mineralógico se observa el desplazamiento de valores de Plata (Ag) y Zinc (Zn) al relave, por la presencia de sulfosales de plata (Ag) y esfalerita (ef) con inclusiones en ganga (GGs), afectando las recuperaciones de estos valores.
- La microscopia óptica confirma la presencia de minerales Plata (Ag) – gangas (GGs) y Zinc (Zn) – gangas (GGs), que altera los contenidos de Plata (Ag) y Zinc (Zn) en el relave, como también, la afinidad de la cinética del fierro en la flotación bulk y los correspondientes desplazo de estos en el relave, baja la recuperación.
- En las pruebas de flotación de Zinc (Zn) del balance proyectado se obtiene 57,67% de concentrado con una recuperación de 77,55%, siendo un comportamiento casi aceptable. El problema que tenemos en esta etapa es el desplazamiento de Plata (Ag) al Zinc (Zn), esto debido a estar presente la esfalerita tipo 5 (agregados de sulfosales de plata en la esfalerita), como también la relación que existe entre la pirita y los sulfosales de plata (SFAg). La metalurgia del Plomo (Pb) tiene una baja calidad de 16,96%, con una recuperación de 85,82% en la primera etapa de flotación bulk; esto debido por la baja ley de cabeza.
- El mineral de esta veta responde regularmente a un procedimiento de flotación de sulfuros, donde el recobro de Plata (Ag) es afectada por las inclusiones de sulfosales de plata (SFAg) en la pirita (py), y la presencia de mixtos entre estos elementos.

## 2.- Mineral de Veta Llacsacocha Tajo 251

- Presentan altos contenidos de Plata (Ag) y Zinc (Zn); regulares contenidos en Cobre (Cu) y Plomo (Pb), donde el contenido de Hierro (Fe) es alto.
- El Work Index obtenido es 12,82 kw-hr/Tn, dureza baja.
- En el comportamiento mineralógico se evidenció el desplazamiento de Zinc (Zn) en 0,63% y Plata (Ag) en 66,62 gr/Tn al relave, afectando la recuperación de estos valores. Esto es debido a criterios mineralógicos, donde la visualización microscópica óptica y la correspondiente regresión estadística confirma, la presencia de inclusiones de sulfosales de plata (SFAg) con gangas (Ag-GGs) y mixtos de esfalerita (ef) con pirita (py). En estas pruebas se obtiene 63,26% de concentrado de Zinc (Zn) con 89,54% de recuperación, siendo un comportamiento metalúrgico aceptable.
- En cuanto a la metalurgia del Plomo (Pb) es afectado por la asociación de normativa de cabeza Plomo (Pb)/Cobre (Cu), que tenemos un concentrado de 36,77% y una recuperación de 68,92%, siendo un comportamiento metalúrgico malo.
- La metalurgia del Cobre (Cu) tiene una calidad de 29,32% con una recuperación de 70,41% con un desplazamiento de Plomo (Pb) de 5,84% el cual es bueno
- El mineral responde regularmente al procedimiento de flotación de sulfuros, donde el recobro de Plata (Ag) se ve influenciado por las inclusiones de plata (Ag) en las gangas (GGs), como también la presencia de esfalerita clase 5 (agregados de sulfosales de plata en la esfalerita).

## RECOMENDACIONES

1. En el desarrollo de un proyecto minero, los procesos de explotación de nuevos depósitos de minerales deben realizarse a base de una caracterización geometalúrgica.
2. Un yacimiento que presenta con diversos sectores y con características muy diferentes (leyes, mineralogía, tipos de gangas, dureza) es necesario realizar un “blendings” y cada una correr pruebas de caracterización geometalúrgica para sí generar mayor información y tener mayor facilidad en el optimización en el proceso. Los geólogos y metalurgistas deben tener una constante interacción y coordinación de los tipos de mineralización de los yacimientos en explotación y clasificar a los minerales según a su contenido metálicos y su comportamiento en el proceso metalúrgico.
3. Se debe tener en constante actualización y evaluación los yacimientos en exploración y explotación de acuerdo a las condiciones generales.
4. Todas las pruebas de caracterización geometalúrgica se deben realizar con suficiente anticipación, antes que ingrese el mineral a la planta de beneficio.
5. Para una buena determinación y caracterización de las especies minerales, que sean de alteración u originarias, se debe definir bien los métodos y tipos de análisis para una buena caracterización, los que deben demostrar y trazabilidad y confiabilidad en una solidad base de datos.
6. Para mejorar el proceso se debe tener en cuenta reducir el tamaño de corte en la malla +65 considerando que el mineral de la veta pozo D ramal labor SN 200B presenta un work index muy alto. Además considerar adición de un reactivo colector secundario de plata por la presencia de minerales mixtos de plata – zinc – hierro según el estudio microscópico.
7. El resultado del estudio de caracterización geometalúrgica de la veta llacsacocha Tj 251 y pozo D ramal labor SN 200B, ambos no se debe realizar un blending

debido que tienen características similares en asociaciones mineralógicas de plata – gangas y esfalerita tipo 5 (inclusiones de sulfosales de plata).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andina, M. (2 de Setiembre de 2013). Nueva tendencia en el modelamiento geometalúrgico. *Minería Chilena*, págs. 4-5. Obtenido de <https://www.mch.cl/revistas/antofagasta-minerals-los-avances-en-su-hoja-de-ruta-digital/>
- Aquije, J. C. (1984). *Operaciones unitarias en procesamiento de minerales* . Lima.
- Cabala, J. M. (2000). *Procesamiento de minerales* . Lima : Cáceres .
- Cánepa, C. (1989). *La determinación microscópica del grado de liberación de los minerales*. Lima : Sociedad Geologica del Perú.
- Casildo, H. B. (2018). Optimizacion de molienda y flotacion: metalurgia . En H. B. Casildo, *Optimizacion de molienda y flotacion: metalurgia* .
- Casildo, H. B. (2018). *Optimizacion de molienda y flotacion: metalurgia* . LIMA: EDUNI.
- Diaz, S. C. (2019). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION CIENTIFICA*. Lima : San Marcos .
- Editec, G. (2013). Nueva tendencia en el modelamiento geometalúrgico. *Minería Chilena*, 11-12.
- Erazo, R. R. (2016). *Proyecto de investigacion* . Lima : Fondo editorial Amadp.
- Griew, W. (01 de Marzo de 2020). *Depositos minerales*. Obtenido de Depositos minerales: <https://www.geovirtual2.cl/depos/01veti001.htm>
- JKtech. (17 de DICIEMBRE de 2017). *EDEMET* . Obtenido de [https://www.edemet.cl/prod\\_archivos/\[id8\]4.pdf](https://www.edemet.cl/prod_archivos/[id8]4.pdf)
- Marchese García, A. (2016). Conceptos y aplicaciones de planificación geometalúrgica. *RevistaLi (Tecsups)*, 31-32. Obtenido de [http://app.tecsup.edu.pe/file/sga/documentos/revistali/li\\_1/4.pdf](http://app.tecsup.edu.pe/file/sga/documentos/revistali/li_1/4.pdf)

- minminería.cl. (01 de Marzo de 2008). *Vetas*. Obtenido de *Vetas*:  
[https://www.minmineria.cl/glosario-minero-v/veta-vein-lode/#:~:text=a-,Veta%20\(Vein%2C%20lode\)%3A,sustancia%20en%20que%20est%C3%A1%20incrustada.](https://www.minmineria.cl/glosario-minero-v/veta-vein-lode/#:~:text=a-,Veta%20(Vein%2C%20lode)%3A,sustancia%20en%20que%20est%C3%A1%20incrustada.)
- Mular, A., Halbe, D., & Barrat, D. (2002). *Mineral processing plant design, practice, and control*. Vancouver - Canada: Society for Mining, Metallurgy, and exploration, Inc.
- Nina Vilca, W. R. (2019). Caracterización mineralógica e implicancias geometalúrgicas en el yacimiento pórfido-skarn del Batolito Andahuaylas-Yauri. *Tesis para optar el título de ingeniero*, 170.
- Núñez, I. Q. (1987). *Ingeniería Metalúrgica*. Lima - Perú: Ediciones graficas .
- Ortiz, A. A. (2015). *Flotación y concentración de minerales*. Lima: colecciones Jovic.
- Peréz Segura, E., Gaspar Sergeo, J. C., & Brown, F. (2013). LA Geometalúrgia: Una excelente herramienta. *EPISTEMUS*, 74 -76.
- Sanchez Pastor, N., Luque del Villar, F. J., & Piñas Gracia, R. (2011). Introducción al microscopio de luz reflejada I. *Reduca*, 3-4. Obtenido de <file:///C:/Users/User/Downloads/850-1026-1-PB.pdf>
- SGS. (24 de Febrero de 2007). *Geometalurgia*. Obtenido de Geometalurgia: <https://www.sgsgroup.com.ar/-/media/local/mexico/documents/flyers-and-leaflets/sgs-min-329-geometalurgia-sp-12-02.pdf>
- Supo, J. (2012). *UNAL*. Obtenido de UNAL: <http://red.unal.edu.co/cursos/ciencias/1000012/un3/pdf/seminv-sinopsis.pdf>
- Tabares Ocampo, L. M. (2020). Caracterización mineralógica y química orientada a geometalurgia de los depósitos auríferos de un sector del Distrito Minero de La Llanada – Departamento de Nariño (Colombia). *Tesis de Maestría*, 121.

# **ANEXO**

## ANEXO 01

### CÁLCULO DEL TAMAÑO DE MUESTRA

Veta Pozo D, Ramal Zona Norte, Labor SN 200B

Ley de cabeza 1.05 ZnS

S = 0.01

Liberación 153.92  $\mu$  (61% malla -200)

r = 3.5 (Ge Zn)

t = 2.65 (Ge SiO<sub>2</sub>)

d = 1000  $\mu$

f = 0.5

g = 0.25

l = 0.392

$$l = \sqrt{\frac{L}{d}}$$

$$l = \sqrt{\frac{153.92}{1000}} = 0.392$$

PM<sub>Zn</sub> = 65.3

PM<sub>S</sub> = 32

PM<sub>ZnS</sub> = 94.3

100 % ZnS ----- 69%Zn

%a ----- 1.05 % Zn

% a = 1.521 % ZnS = 0.01521 de ZnS

a = 1.521 % ZnS = 0.01521 de ZnS

$$m = \frac{1-a}{a} [(1-a).r + a x t]$$

$$m = \frac{1 - 0.01521}{0.01521} [(1 - 0.01521)3.5 + 0.01521 x 2.65] = 225.76 \text{ g/cm}^3$$

d = 1000  $\mu$  = 0.1 cm

$$C = f . g . l . m$$

$$C = 0.5 x 0.25 x 0.392 x 225.76 = 11.062 \text{ g/cm}^3$$

$$M = \frac{C . d^3}{S^2}$$

$$M = \frac{11.062 \times 0.1^3}{0.01^2} = 110.62 \text{ Kg.}$$

**Veta Llacsacocha, Zona Norte, Nivel 250, Tajo 251**

Ley de cabeza 6.44 ZnS

$$S = 0.01$$

Liberación 123.58  $\mu$  (68.53% malla -200)

$$r = 4 \text{ (ge Zn)}$$

$$t = 2.65 \text{ (ge SiO}_2\text{)}$$

$$d = 1000 \mu$$

$$f = 0.5$$

$$g = 0.25$$

$$l = 0.3515$$

$$l = \sqrt{\frac{L}{d}}$$

$$l = \sqrt{\frac{123.58}{1000}} = 0.3515$$

$$PM_{Zn} = 65.3$$

$$PM_S = 32$$

$$PM_{ZnS} = 94.3$$

$$100 \% ZnS \text{ --- --- --- --- --- } 67.11 \% Zn$$

$$\% a \text{ --- --- --- --- --- } 6.44 \% Zn$$

$$\% a = 9.596 \% ZnS = 0.09596 \text{ de ZnS}$$

$$a = 9.596 \% ZnS = 0.09596 \text{ de ZnS}$$

$$m = \frac{1-a}{a} [(1-a).r + a \times t]$$

$$m = \frac{1 - 0.09333}{0.09333} [(1 - 0.09333)3.5 + 0.09333 \times 2.65] = 36.463 \text{ g/cm}^3$$

$$d = 1000 \mu = 0.1 \text{ cm}$$

$$C = f \cdot g \cdot l \cdot m$$

$$C = 0.5 \times 0.25 \times 0.3515 \times 36.463 = 1.602 \text{ g/cm}^3$$

$$M = \frac{C \cdot d^3}{S^2}$$

$$M = \frac{1.465 \times 0.1^3}{0.01^2} = \mathbf{16.02 \text{ Kg.}}$$

## ANEXO 02

### Análisis químico de la veta pozo d ramal labor SN 200b

Ag g/Tn	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	As %	Mn %	Bi %	Sb %	PbOx%	ZnOx%
193,68	0,07	0,10	1,05	3,99	0,09	0,23	0,01	0,02	0,02	0,02

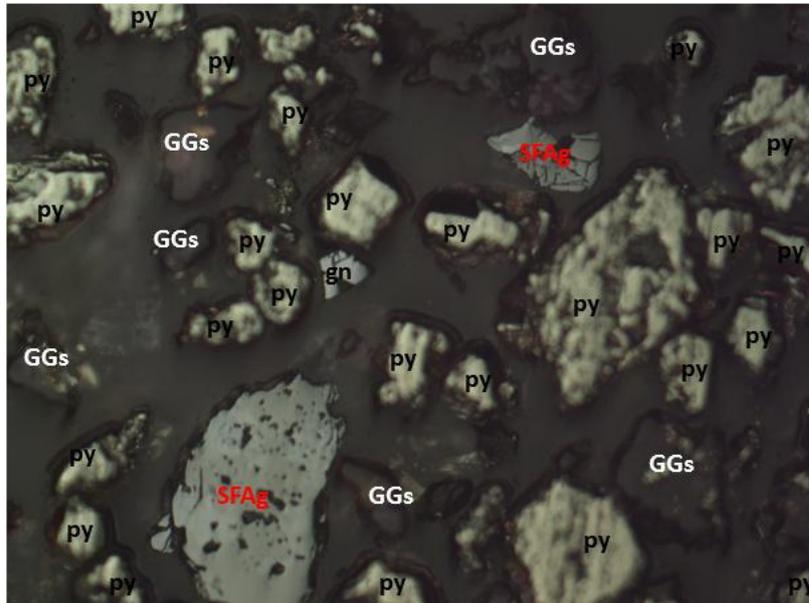
### Análisis químico de la veta llacsacocha tajo 251

Ag g/Tn	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	As %	Mn %	Bi %	Sb %	PbOx%	ZnOx%
313.87	0,73	0.80	6.44	10.92	0.21	0,28	0,05	0,19	0,05	0,06

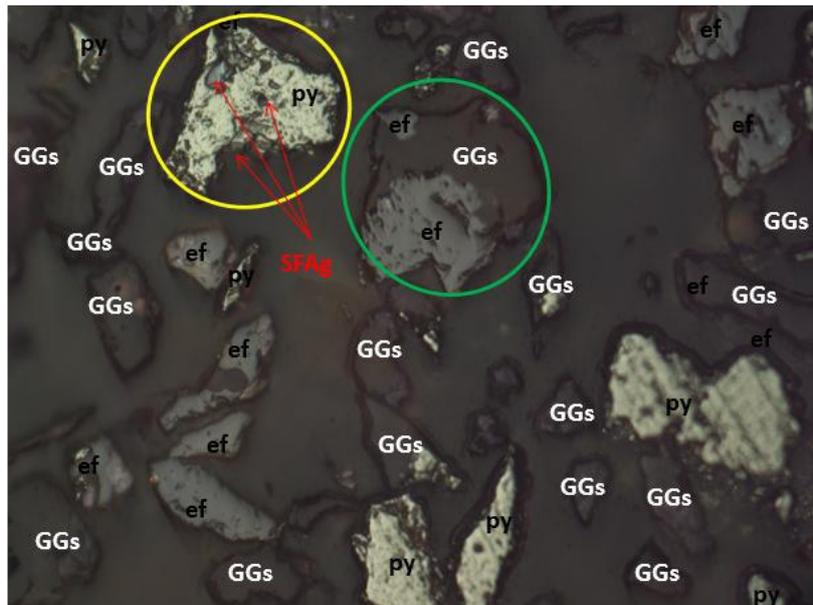
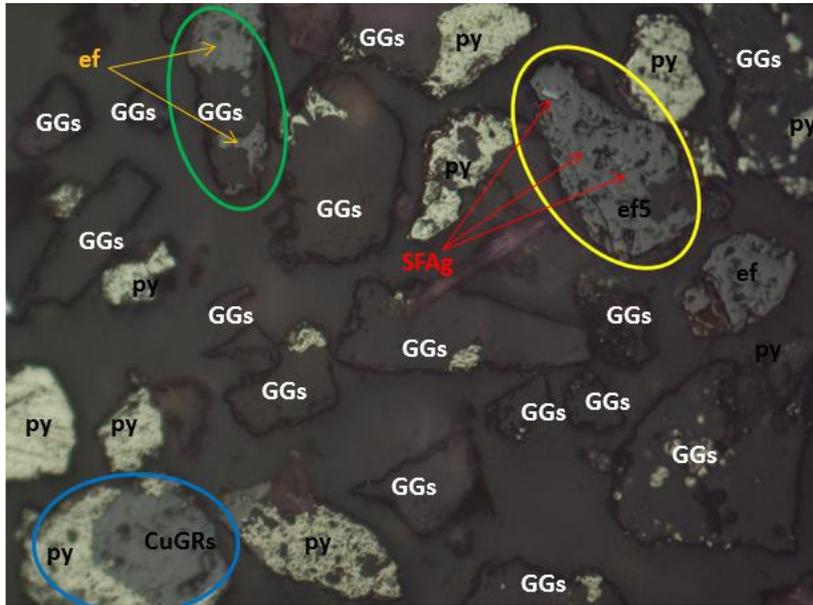
## ANEXO 03

### Análisis mineralógico (microscopia óptica)

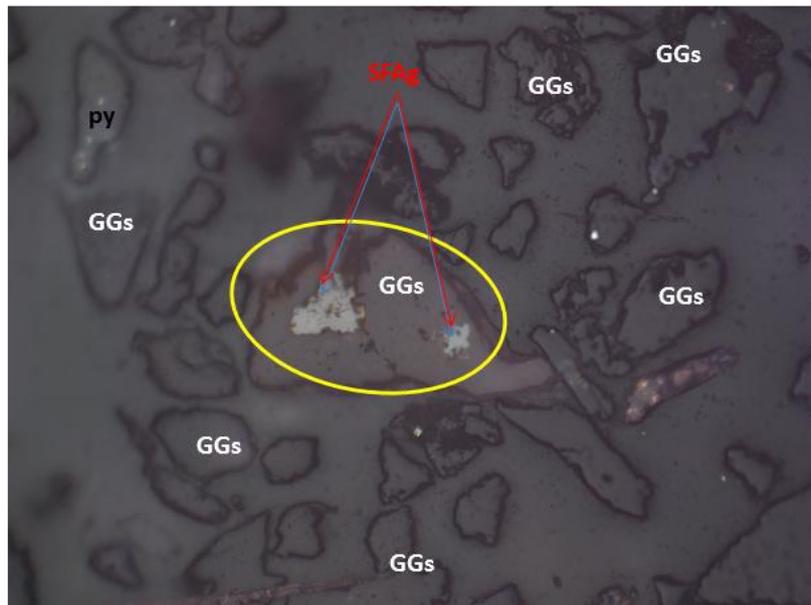
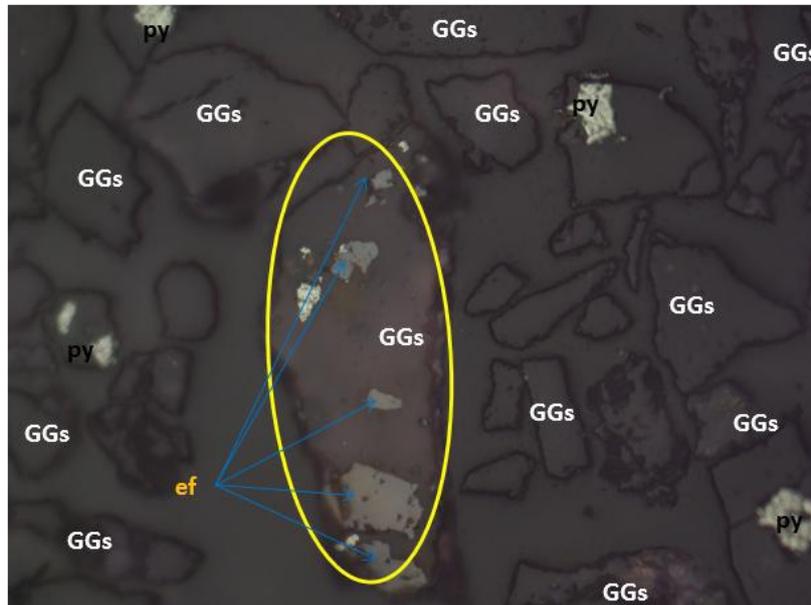
#### 1.- Veta pozo d ramal labor SN 200b



Microscopia del concentrado primer minuto bulk

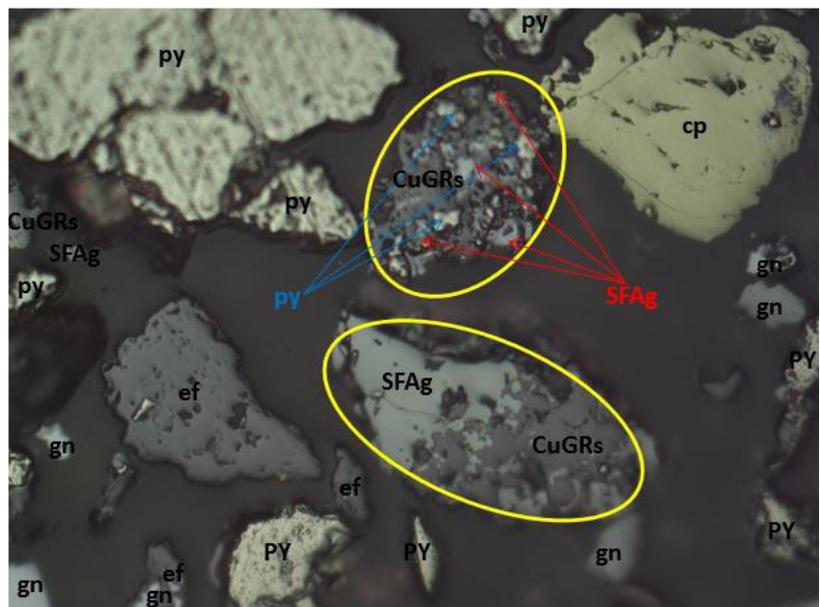
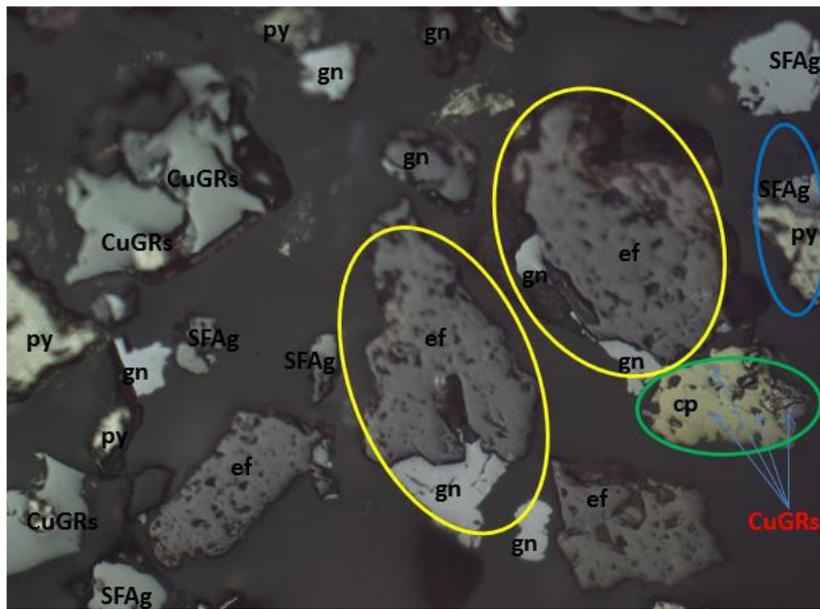


**Microscopia del concentrado primer minuto zinc**



**Microscopia del relave final**

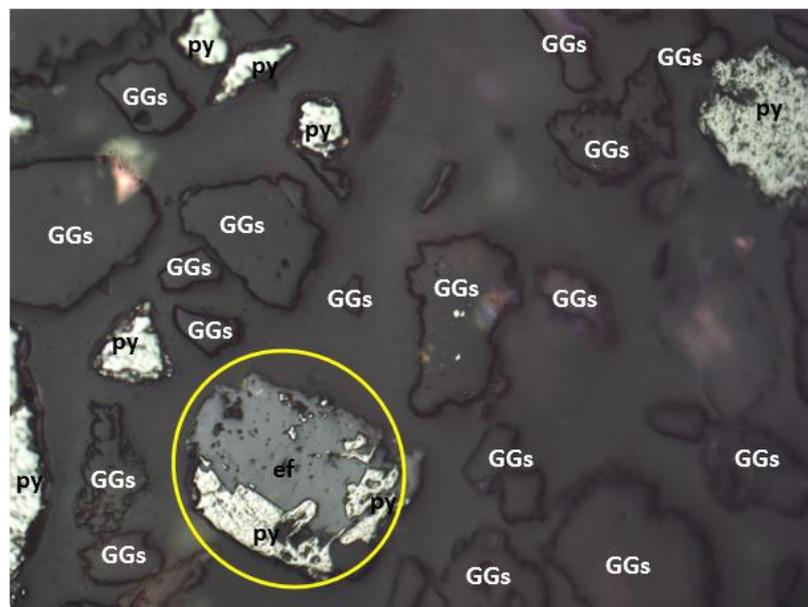
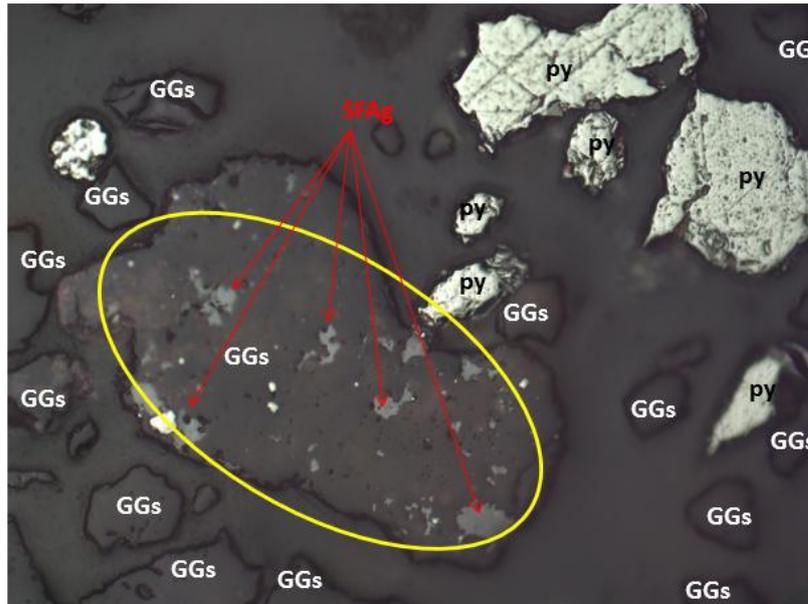
## 2.- Veta Ilacsacocha tajo 251



Microscopia del concentrado primer minuto bulk



**Microscopia del concentrado primer minuto zinc**



**Microscopia del relave final**

## ANEXO 04

### MOLIENDABILIDAD (DETERMINACION DEL TIEMPO DE MOLIENDA)

MINERAL VETA POZO D RAMAL ZONA NORTE LABOR SN 200B						
Tiempo:	0	min.		F(80)		1851.74 $\mu\text{m}$
Malla	$\mu\text{m}$	Peso	% Peso	Ac (+)	Ac (-)	F(80)
m10	2000	90.45	18.09	18.09	81.91	1851.74
m12	1680	21.30	4.26	22.35	77.65	0.00
m16	1190	55.74	11.15	33.50	66.50	0.00
m20	841	40.19	8.04	41.54	58.46	0.00
m30	595	35.90	7.18	48.72	51.28	0.00
m40	400	34.11	6.82	55.54	44.46	0.00
m50	297	26.68	5.34	60.87	39.13	0.00
m70	210	25.85	5.17	66.04	33.96	0.00
m100	149	22.59	4.52	70.56	29.44	0.00
m140	105	18.75	3.75	74.31	25.69	0.00
m200	74	16.21	3.24	77.55	22.45	0.00
m270	53	15.12	3.02	80.58	19.42	0.00
m325	45	6.62	1.32	81.90	18.10	0.00
m400	37	2.41	0.48	82.38	17.62	0.00
-m400	0	88.08	17.62	100.00	0.00	0.00
<b>Total</b>		<b>500.00</b>	<b>100.00</b>			1851.74

MINERAL VETA POZO D RAMAL ZONA NORTE LABOR SN 200B						
Tiempo:	10	min.		P(80)		483.77 $\mu\text{m}$
Malla	$\mu\text{m}$	Peso	% Peso	Ac (+)	Ac (-)	P(80)
m10	2000	10.75	1.08	1.08	98.93	0.00
m12	1680	6.85	0.69	1.76	98.24	0.00
m16	1190	35.90	3.59	5.35	94.65	0.00
m20	841	44.43	4.44	9.79	90.21	0.00
m30	595	59.58	5.96	15.75	84.25	483.77
m40	400	79.64	7.96	23.72	76.29	0.00
m50	297	82.25	8.23	31.94	68.06	0.00
m70	210	94.40	9.44	41.38	58.62	0.00
m100	149	88.60	8.86	50.24	49.76	0.00
m140	105	79.10	7.91	58.15	41.85	0.00
m200	74	61.87	6.19	64.34	35.66	0.00
m270	53	55.26	5.53	69.86	30.14	0.00
m325	45	23.84	2.38	72.25	27.75	0.00
m400	37	6.12	0.61	72.86	27.14	0.00
-m400	0	271.41	27.14	100.00	0.00	0.00
<b>Total</b>		<b>1000.00</b>	<b>100.00</b>			483.77

MINERAL VETA POZO D RAMAL ZONA NORTE LABOR SN 200B						
Tiempo:	20	min.		P(80)		194.53 $\mu\text{m}$
Malla	$\mu\text{m}$	Peso	% Peso	Ac (+)	Ac (-)	F(80)
m10	2000		0.00	0.00	100.00	0.00
m12	1680		0.00	0.00	100.00	0.00
m16	1190	0.40	0.04	0.04	99.96	0.00
m20	841	1.35	0.14	0.18	99.83	0.00
m30	595	5.12	0.51	0.69	99.31	0.00
m40	400	20.49	2.05	2.74	97.26	0.00
m50	297	48.11	4.81	7.55	92.45	0.00
m70	210	95.79	9.58	17.13	82.87	194.53
m100	149	121.30	12.13	29.26	70.74	0.00
m140	105	123.55	12.36	41.61	58.39	0.00
m200	74	95.89	9.59	51.20	48.80	0.00
m270	53	82.73	8.27	59.47	40.53	0.00
m325	45	36.53	3.65	63.13	36.87	0.00
m400	37	10.93	1.09	64.22	35.78	0.00
-m400	0	357.81	35.78	100.00	0.00	0.00
<b>Total</b>		<b>1000.00</b>	<b>100.00</b>			194.53

MINERAL VETA POZO D RAMAL ZONA NORTE LABOR SN 200B						
Tiempo:	30	min.		P(80)		127.03 $\mu\text{m}$
Malla	$\mu\text{m}$	Peso	% Peso	Ac (+)	Ac (-)	F(80)
m10	2000		0.00	0.00	100.00	0.00
m12	1680		0.00	0.00	100.00	0.00
m16	1190		0.00	0.00	100.00	0.00
m20	841		0.00	0.00	100.00	0.00
m30	595	0.17	0.02	0.02	99.98	0.00
m40	400	1.13	0.11	0.13	99.87	0.00
m50	297	8.11	0.81	0.94	99.06	0.00
m70	210	37.21	3.72	4.66	95.34	0.00
m100	149	90.31	9.03	13.69	86.31	127.03
m140	105	132.35	13.24	26.93	73.07	0.00
m200	74	112.10	11.21	38.14	61.86	0.00
m270	53	104.22	10.42	48.56	51.44	0.00
m325	45	46.68	4.67	53.23	46.77	0.00
m400	37	11.80	1.18	54.41	45.59	0.00
-m400	0	455.92	45.59	100.00	0.00	0.00
<b>Total</b>		<b>1000.00</b>	<b>100.00</b>			127.03

MINERAL VETA LLACSACOCCHA ZONA NORTE NV 250 TJ 251						
Tiempo:	0	min.		F(80) 1323.53 µm		
Malla	µm	Peso	% Peso	Ac (+)	Ac (-)	F(80)
m10	2000	57.59	11.52	11.52	88.48	0.00
m12	1680	13.24	2.65	14.17	85.83	1323.53
m16	1190	41.53	8.31	22.47	77.53	0.00
m20	841	31.53	6.31	28.78	71.22	0.00
m30	595	31.10	6.22	35.00	65.00	0.00
m40	400	31.80	6.36	41.36	58.64	0.00
m50	297	27.51	5.50	46.86	53.14	0.00
m70	210	30.22	6.04	52.90	47.10	0.00
m100	149	30.50	6.10	59.00	41.00	0.00
m140	105	29.01	5.80	64.81	35.19	0.00
m200	74	26.56	5.31	70.12	29.88	0.00
m270	53	24.79	4.96	75.08	24.92	0.00
m325	45	10.61	2.12	77.20	22.80	0.00
m400	37	3.38	0.68	77.87	22.13	0.00
-m400	0	110.63	22.13	100.00	0.00	0.00
<b>Total</b>		<b>500.00</b>	<b>100.00</b>			<b>1323.53</b>

MINERAL VETA LLACSACOCCHA ZONA NORTE NV 250 TJ 251						
Tiempo:	10	min.		P(80) 179.43 µm		
Malla	µm	Peso	% Peso	Ac (+)	Ac (-)	P(80)
m10	2000		0.00	0.00	100.00	0.00
m12	1680	0.35	0.04	0.04	99.97	0.00
m16	1190	0.96	0.10	0.13	99.87	0.00
m20	841	2.39	0.24	0.37	99.63	0.00
m30	595	7.32	0.73	1.10	98.90	0.00
m40	400	21.87	2.19	3.29	96.71	0.00
m50	297	41.63	4.16	7.45	92.55	0.00
m70	210	76.63	7.66	15.12	84.89	179.43
m100	149	102.96	10.30	25.41	74.59	0.00
m140	105	113.63	11.36	36.77	63.23	0.00
m200	74	108.40	10.84	47.61	52.39	0.00
m270	53	101.26	10.13	57.74	42.26	0.00
m325	45	46.60	4.66	62.40	37.60	0.00
m400	37	10.80	1.08	63.48	36.52	0.00
-m400	0	365.20	36.52	100.00	0.00	0.00
<b>Total</b>		<b>1000.00</b>	<b>100.00</b>			<b>179.43</b>

MINERAL VETA LLACSACOCCHA ZONA NORTE NV 250 TJ 251						
Tiempo:	20	min.		P(80) 102.22 µm		
Malla	µm	Peso	% Peso	Ac (+)	Ac (-)	F(80)
m10	2000		0.00	0.00	100.00	0.00
m12	1680		0.00	0.00	100.00	0.00
m16	1190		0.00	0.00	100.00	0.00
m20	841		0.00	0.00	100.00	0.00
m30	595	0.28	0.03	0.03	99.97	0.00
m40	400	0.72	0.07	0.10	99.90	0.00
m50	297	4.34	0.43	0.53	99.47	0.00
m70	210	21.31	2.13	2.67	97.34	0.00
m100	149	58.88	5.89	8.55	91.45	0.00
m140	105	104.11	10.41	18.96	81.04	102.22
m200	74	125.05	12.51	31.47	68.53	0.00
m270	53	118.43	11.84	43.31	56.69	0.00
m325	45	53.06	5.31	48.62	51.38	0.00
m400	37	12.65	1.27	49.88	50.12	0.00
-m400	0	501.17	50.12	100.00	0.00	0.00
<b>Total</b>		<b>1000.00</b>	<b>100.00</b>			<b>102.22</b>

## ANEXO 05

### DETERMINACION DEL WORK INDEX COMPARATIVO CON CUARZO

CUARZO						
Tiempo:	0	min.		F(80)		1834.70 $\mu\text{m}$
Malla	$\mu\text{m}$	Peso	% Peso	Ac (+)	Ac (-)	F(80)
m8	2380	62.45	12.49	12.49	87.51	0.00
m10	2000	28.72	5.74	18.23	81.77	1834.70
m12	1680	17.65	3.53	21.76	78.24	0.00
m16	1190	49.79	9.96	31.72	68.28	0.00
m20	841	37.01	7.40	39.12	60.88	0.00
m30	595	33.59	6.72	45.84	54.16	0.00
m40	400	35.43	7.09	52.93	47.07	0.00
m50	297	27.85	5.57	58.50	41.50	0.00
m70	210	28.75	5.75	64.25	35.75	0.00
m100	149	26.82	5.36	69.61	30.39	0.00
m140	105	23.41	4.68	74.29	25.71	0.00
m200	74	20.43	4.09	78.38	21.62	0.00
m270	53	18.94	3.79	82.17	17.83	0.00
m325	45	8.58	1.72	83.88	16.12	0.00
m400	37	2.98	0.60	84.48	15.52	0.00
-m400	0	77.60	15.52	100.00	0.00	0.00
<b>Total</b>		<b>500.00</b>	<b>100.00</b>			<b>1834.70</b>

CUARZO						
Tiempo:	10	min.		P(80)		292.65 $\mu\text{m}$
Malla	$\mu\text{m}$	Peso	% Peso	Ac (+)	Ac (-)	P(80)
m8	2380	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
m10	2000	0.13	0.01	0.01	99.99	0.00
m12	1680	0.35	0.04	0.05	99.95	0.00
m16	1190	3.04	0.30	0.35	99.65	0.00
m20	841	10.28	1.03	1.38	98.62	0.00
m30	595	28.54	2.85	4.23	95.77	0.00
m40	400	63.69	6.37	10.60	89.40	0.00
m50	297	88.62	8.86	19.47	80.54	292.65
m70	210	116.64	11.66	31.13	68.87	0.00
m100	149	119.46	11.95	43.08	56.93	0.00
m140	105	113.54	11.35	54.43	45.57	0.00
m200	74	90.38	9.04	63.47	36.53	0.00
m270	53	74.75	7.48	70.94	29.06	0.00
m325	45	32.21	3.22	74.16	25.84	0.00
m400	37	9.36	0.94	75.10	24.90	0.00
-m400	0	249.01	24.90	100.00	0.00	0.00
<b>Total</b>		<b>1000.00</b>	<b>100.00</b>			<b>292.65</b>

MINERAL VETA POZO D RAMAL ZONA NORTE LABOR SN 200B						
Tiempo:	0	min.		F(80)		1851.74 $\mu\text{m}$
Malla	$\mu\text{m}$	Peso	% Peso	Ac (+)	Ac (-)	F(80)
m10	2000	90.45	18.09	18.09	81.91	1851.74
m12	1680	21.30	4.26	22.35	77.65	0.00
m16	1190	55.74	11.15	33.50	66.50	0.00
m20	841	40.19	8.04	41.54	58.46	0.00
m30	595	35.90	7.18	48.72	51.28	0.00
m40	400	34.11	6.82	55.54	44.46	0.00
m50	297	26.68	5.34	60.87	39.13	0.00
m70	210	25.85	5.17	66.04	33.96	0.00
m100	149	22.59	4.52	70.56	29.44	0.00
m140	105	18.75	3.75	74.31	25.69	0.00
m200	74	16.21	3.24	77.55	22.45	0.00
m270	53	15.12	3.02	80.58	19.42	0.00
m325	45	6.62	1.32	81.90	18.10	0.00
m400	37	2.41	0.48	82.38	17.62	0.00
-m400	0	88.08	17.62	100.00	0.00	0.00
<b>Total</b>		<b>500.00</b>	<b>100.00</b>			<b>1851.74</b>

MINERAL VETA POZO D RAMAL ZONA NORTE LABOR SN 200B						
Tiempo:	10	min.		P(80)		483.77 $\mu\text{m}$
Malla	$\mu\text{m}$	Peso	% Peso	Ac (+)	Ac (-)	P(80)
m10	2000	10.75	1.08	1.08	98.93	0.00
m12	1680	6.85	0.69	1.76	98.24	0.00
m16	1190	35.90	3.59	5.35	94.65	0.00
m20	841	44.43	4.44	9.79	90.21	0.00
m30	595	59.58	5.96	15.75	84.25	483.77
m40	400	79.64	7.96	23.72	76.29	0.00
m50	297	82.25	8.23	31.94	68.06	0.00
m70	210	94.40	9.44	41.38	58.62	0.00
m100	149	88.60	8.86	50.24	49.76	0.00
m140	105	79.10	7.91	58.15	41.85	0.00
m200	74	61.87	6.19	64.34	35.66	0.00
m270	53	55.26	5.53	69.86	30.14	0.00
m325	45	23.84	2.38	72.25	27.75	0.00
m400	37	6.12	0.61	72.86	27.14	0.00
-m400	0	271.41	27.14	100.00	0.00	0.00
<b>Total</b>		<b>1000.00</b>	<b>100.00</b>			<b>483.77</b>

DESCRIPCION	F(80)	P(80)
CUARZO	1834.70	292.65
MUESTRA	1851.74	483.77

$W_i = 21.48 \text{ Kw-hr/Tc}$   
 $W_i = 23.68 \text{ Kw-hr/Tm}$

CUARZO						
Tiempo:	0	min.		F(80) 1834.70 $\mu$ m		
Malla	$\mu$ m	Peso	% Peso	Ac (+)	Ac (-)	F(80)
m8	2380	62.45	12.49	12.49	87.51	0.00
m10	2000	28.72	5.74	18.23	81.77	1834.70
m12	1680	17.65	3.53	21.76	78.24	0.00
m16	1190	49.79	9.96	31.72	68.28	0.00
m20	841	37.01	7.40	39.12	60.88	0.00
m30	595	33.59	6.72	45.84	54.16	0.00
m40	400	35.43	7.09	52.93	47.07	0.00
m50	297	27.85	5.57	58.50	41.50	0.00
m70	210	28.75	5.75	64.25	35.75	0.00
m100	149	26.82	5.36	69.61	30.39	0.00
m140	105	23.41	4.68	74.29	25.71	0.00
m200	74	20.43	4.09	78.38	21.62	0.00
m270	53	18.94	3.79	82.17	17.83	0.00
m325	45	8.58	1.72	83.88	16.12	0.00
m400	37	2.98	0.60	84.48	15.52	0.00
-m400	0	77.60	15.52	100.00	0.00	0.00
Total		500.00	100.00			1834.70

CUARZO						
Tiempo:	10	min.		P(80) 292.65 $\mu$ m		
Malla	$\mu$ m	Peso	% Peso	Ac (+)	Ac (-)	P(80)
m8	2380	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
m10	2000	0.13	0.01	0.01	99.99	0.00
m12	1680	0.35	0.04	0.05	99.95	0.00
m16	1190	3.04	0.30	0.35	99.65	0.00
m20	841	10.28	1.03	1.38	98.62	0.00
m30	595	28.54	2.85	4.23	95.77	0.00
m40	400	63.69	6.37	10.60	89.40	0.00
m50	297	88.62	8.86	19.47	80.54	292.65
m70	210	116.64	11.66	31.13	68.87	0.00
m100	149	119.46	11.95	43.08	56.93	0.00
m140	105	113.54	11.35	54.43	45.57	0.00
m200	74	90.38	9.04	63.47	36.53	0.00
m270	53	74.75	7.48	70.94	29.06	0.00
m325	45	32.21	3.22	74.16	25.84	0.00
m400	37	9.36	0.94	75.10	24.90	0.00
-m400	0	249.01	24.90	100.00	0.00	0.00
Total		1000.00	100.00			292.65

MINERAL VETA LLACSACOCCHA ZONA NORTE NV 250 T1 251						
Tiempo:	0	min.		F(80) 1323.53 $\mu$ m		
Malla	$\mu$ m	Peso	% Peso	Ac (+)	Ac (-)	F(80)
m10	2000	57.59	11.52	11.52	88.48	0.00
m12	1680	13.24	2.65	14.17	85.83	1323.53
m16	1190	41.53	8.31	22.47	77.53	0.00
m20	841	31.53	6.31	28.78	71.22	0.00
m30	595	31.10	6.22	35.00	65.00	0.00
m40	400	31.80	6.36	41.36	58.64	0.00
m50	297	27.51	5.50	46.86	53.14	0.00
m70	210	30.22	6.04	52.90	47.10	0.00
m100	149	30.50	6.10	59.00	41.00	0.00
m140	105	29.01	5.80	64.81	35.19	0.00
m200	74	26.56	5.31	70.12	29.88	0.00
m270	53	24.79	4.96	75.08	24.92	0.00
m325	45	10.61	2.12	77.20	22.80	0.00
m400	37	3.38	0.68	77.87	22.13	0.00
-m400	0	110.63	22.13	100.00	0.00	0.00
Total		500.00	100.00			1323.53

MINERAL VETA LLACSACOCCHA ZONA NORTE NV 250 T1 251						
Tiempo:	10	min.		P(80) 179.43 $\mu$ m		
Malla	$\mu$ m	Peso	% Peso	Ac (+)	Ac (-)	P(80)
m10	2000		0.00	0.00	100.00	0.00
m12	1680	0.35	0.04	0.04	99.97	0.00
m16	1190	0.96	0.10	0.13	99.87	0.00
m20	841	2.39	0.24	0.37	99.63	0.00
m30	595	7.32	0.73	1.10	98.90	0.00
m40	400	21.87	2.19	3.29	96.71	0.00
m50	297	41.63	4.16	7.45	92.55	0.00
m70	210	76.63	7.66	15.12	84.89	179.43
m100	149	102.96	10.30	25.41	74.59	0.00
m140	105	113.63	11.36	36.77	63.23	0.00
m200	74	108.40	10.84	47.61	52.39	0.00
m270	53	101.26	10.13	57.74	42.26	0.00
m325	45	46.60	4.66	62.40	37.60	0.00
m400	37	10.80	1.08	63.48	36.52	0.00
-m400	0	365.20	36.52	100.00	0.00	0.00
Total		1000.00	100.00			179.43

DESCRIPCION	F(80)	P(80)
CUARZO	1834.70	292.65
MUESTRA	1323.53	179.43

$W_i = 10.12$  Kw-hr/Tc  
 $W_i = 11.16$  Kw-hr/Tm

## ANEXO 06

### BALANCE METALÚRGICO

#### 1.- Balance metalúrgico Veta pozo d ramal labor SN 200b

Producto	% Peso	Ag gr/Tn	Cu%	LEYES			Ag %	RECUPERACIONES			
				Pb%	Zn%	Fe%		Cu %	Pb%	Zn %	Fe %
<b>Cabeza</b>	<b>10,2</b>	<b>193,68</b>	<b>0,07</b>	<b>0,10</b>	<b>1,05</b>	<b>3,99</b>	<b>71,06</b>	<b>65,21</b>	<b>73,18</b>	<b>20,40</b>	<b>52,29</b>
Conc Bulk I	3,97	1913,04	0,59	1,15	1,52	31,72	40,50	36,22	43,30	5,74	27,45
Conc Bulk II	3,76	1227,91	0,40	0,68	2,46	23,94	24,60	23,23	24,23	8,80	19,60
Conc Bulk III	2,49	449,76	0,15	0,24	2,48	9,68	5,95	5,76	5,65	5,86	5,24
<b>Cabeza Zn</b>	<b>89,78</b>	<b>60,51</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<b>0,93</b>	<b>2,44</b>	<b>20,81</b>	<b>22,64</b>	<b>11,91</b>	<b>73,61</b>	<b>22,18</b>
Conc Zn I	1,19	769,63	0,22	0,17	31,72	8,59	4,88	4,05	1,92	35,93	2,23
Conc Zn II	3,73	506,94	0,19	0,15	9,06	13,13	10,08	10,96	5,31	32,17	10,68
Conc Zn III	6,17	177,69	0,08	0,08	0,94	6,90	5,84	7,63	4,68	5,52	9,28
Relave	78,68	19,40	0,01	0,02	0,08	1,49	8,13	12,15	14,91	5,99	25,53
<b>Cabeza Cal</b>	<b>100,00</b>	<b>187,70</b>	<b>0,06</b>	<b>0,11</b>	<b>1,05</b>	<b>4,59</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>



## ANEXO 07

### SÍMBOLOS MINERALÓGICOS UTILIZADOS EN MICROSCOPIA

Nombre	Abreviatura	Formula
Arsenopirita	Apy	FeAsS
Alabandita	ald	MnS
Bismuto	bismt	Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Calcopirita	cp	CuFeS <sub>2</sub>
Calcopirita tipo 2	cpPS	CuFeS <sub>2</sub> .CuS
Cobre secundario	Cu Sec	CuS <sub>n</sub>
Cobre grises	CuGRs	CuSbAs,S,Ag
Covelita	cv	CuS
Digenita	dg	Cu <sub>2</sub> S
Esfalerita	ef	ZnS
Esfalerita tipo 2	ef 2	ZnS – CuFeS <sub>2</sub>
Esfalerita tipo 3	ef 3	ZnS – FeS <sub>x</sub>
Esfalerita tipo 4	ef 4	ZnS – CuGRs
Galena	gn	PbS
Gangas	GGs	Variado
Hematita	he	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Magnetita	mt	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Pirita	py	FeS <sub>2</sub>
Pirita tipo 2	pySEC	FeS <sub>2</sub> .CuS <sub>n</sub>
Pirrotita	po	FeS <sub>x</sub>
Sulfosales de plomo	SSLPb	Variado

*Nota.* Tomado convención minera, Cesar Cánepa, 2005