

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA**

**METALÚRGICA**



**TESIS**

**Análisis microscópica cuantitativa para la recuperación de Zinc a nivel de laboratorio metalúrgico en la Compañía Minera Huarón – Pasco - 2019**

**Para optar el Título Profesional de:**

**Ingeniero Metalurgista**

**Autor: Bach. Anderson Ersilio RICRA LUIS**

**Asesor: Mg. Manuel Antonio HUAMÁN DE LA CRUZ**

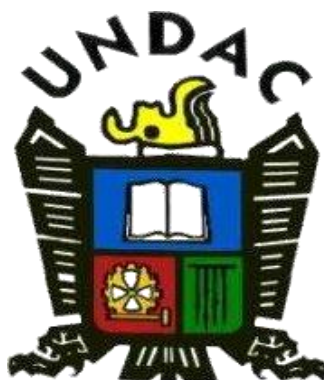
**Cerro de Pasco – Perú – 2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA**

**METALÚRGICA**



**TESIS**

**Análisis microscópica cuantitativa para la recuperación de Zinc a nivel de laboratorio metalúrgico en la Compañía Minera Huarón – Pasco - 2019**

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

---

**Mg. Eusebio ROQUE HUAMÁN**  
**PRESIDENTE**

---

**Mg. José Elí CASTILLO MONTALVÁN**  
**MIEMBRO**

---

**Mg. Ramiro SIUCE BONIFACIO**  
**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

A mis padres por brindar todo el apoyo durante mi formación profesional, por sus consejos, enseñanzas de respeto y responsabilidad, y sobre todo por ser el soporte en mi vida.

## **RECONOCIMIENTO**

Por medio de la presente investigación hago llegar mis sinceros agradecimientos a mis docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Metalúrgica, quienes aportaron en mi formación profesional.

A los trabajadores de la Compañía Minera Huarón, subsidiaria de Compañía de Pan American Silver, en especial aquellos que laboran en la Planta Concentradora; quienes al enterarse del desarrollo de la investigación aportaron opiniones valideras para hacer realidad la presente investigación.

A mis familiares, quienes veían con preocupación mi titulación, al enterarse que ya estaba elaborando mi tesis llenaron de alegría nuestro hogar.

## RESUMEN

Mediante el presente reporte se refiere al estudio mineragráfico realizado al concentrado de **Zinc** correspondiente al compósito.

En el estudio se observó que el principal mineral de zinc es la esfalerita normal sin inclusiones (**ef**), seguido de la esfalerita del tipo 5 (con inclusiones de sulfosales de plata en esfalerita normal) (**ef5**) y finalmente la esfalerita del tipo 2 (con inclusiones de calcopirita en esfalerita normal) (**ef2**); los valores de zinc representan 69,73 % en peso y de este % de peso se distribuyen:

1. como esfalerita normal el 92,50 %,
2. como esfalerita del tipo 2 el 3,14 % y
3. como esfalerita del tipo 5 el 4,36 %.

Los valores de plata indebidamente presentes en el concentrado de zinc son cobre gris (**CuGRs**) y sulfosales (**SFAg**) que en total suman 8,64 % en peso.

Es importante calcular el grado de liberación ponderado para las especies que acompañan a la esfalerita en los mixtos más frecuentes. En el ejemplo el resultado es 15,74 (ver tabla 1)=  $(28,99 \times 12,30 + 14,49 \times 16 + 47,83 \times 20,61)$ . El resultado indica que los mixtos del concentrado de zinc necesitan ser liberados por remolienda adicional por tener G.L. mayor a 10.

En general la muestra del concentrado de zinc presenta un gran porcentaje de partículas mixtos y asociados, lo que nos indica que hay una importante oportunidad para mejorar las recuperaciones de los elementos valiosos; adicionalmente resaltar la presencia de gangas finas de sulfosales de Ag y esfalerita; en menor proporción, siendo especies complicados de liberar por remolienda y probablemente es un indicador indirecto para mejorar la liberación.

**Palabras clave:** Análisis microscópico cuantitativa, Recuperación de zinc

## ABSTRACT

Through this report, it refers to the mineragraphic study carried out the Zinc concentrate corresponding of the investigation compound.

The study showed that the main zinc mineral is normal sphalerite without inclusions (ef), followed by sphalerite type 5 (with silver sulfosal inclusions in normal sphalerite) (ef5) and finally sphalerite type 2 (with inclusions of chalcopyrite in normal sphalerite (ef2): Zinc values represent 69,73 % by weight and of this % of weight are distributed:

1. As normal sphalerite 92,50%
2. As sphalerite of type 2 is of 3,14 % and
3. As sphalerite of type 5 is of 4,36 %

The silver values unduly present in the zinc concentrate are gray copper (CuGRs) and sulfosal (AFAg), which total 8,64 % by weight.

It is important to calculate the degree of weighted release of the species that accompany sphalerite in the most frequent mixed. In the example the result is 15,74 (see table N° 1) =  $(28,99 \times 12,30 + 14,49 \times 16 + 47,83 \times 20,61)$ . The result indicates that mixed zinc concentrate needs to be released by additional tipping because of having G.L. greater than 10.

In general, the sample of zinc concentrate has a large percentage of mixed and associated particles, which indicates that there is an important opportunity to improve the recovery of valuable elements; additionally highlight the presence of fine bargains of Ag and sphalerite sulfosalts; to a lesser extent, being complicated species to release by trenching and is probably an indirect indicator to improve release.

**Keywords:** Quantitative microscopic analysis, Zinc recovery.

## INTRODUCCIÓN

Para Pan American Silver minería sostenible es minimizar los impactos ambientales y proteger el eco sistema dentro y alrededor de sus operaciones, es garantizar un lugar de trabajo seguro y saludable para los empleados y los contratistas. Así mismo trabajar corporativamente con los empleados, los contratistas, las comunidades y los gobiernos locales para crear beneficios económicos de largo plazo. Además, crear mejores condiciones posibles para que la comunidad se desarrolle luego de que la mina cierre.

Una buena empresa premia a sus accionistas. Una gran empresa cuida de sus empleados, sus contratistas, el medio ambiente, las comunidades y los países donde trabaja. Es una empresa orgullosa de los logros de sus ingenieros ya que ellos se encargan de ser cada día mejor los geólogos identificando nuevas vetas, los mineros cada día explotan más mineral cuidando los equipos, maquinarias y en especial al ser humano, los químicos y metalurgistas haciendo trabajos de investigación en el laboratorio para minimizar los contenidos de metales pesados en la relavera. Es decir, el esfuerzo colectivo de todos los que trabajan en Pan American Silver posibilita que mantengamos nuestra excelente reputación de gran empresa minera de plata, plomo, cobre y zinc y ser líder en sostenibilidad.

El presente proyecto de investigación presentada como tesis se sostiene en los siguientes capítulos:

En el capítulo I se trata de dar a conocer el problema de investigación, con la determinación y formulación de problema de investigación planteándose al problema principal, problemas específicos, así como también los objetivos entre ellos el general y específicos, la justificación de la investigación, la limitación de la investigación.

En el capítulo II damos a conocer los antecedentes del estudio, bases teóricas - científicas, definición de términos básicos, el planteamiento de la hipótesis general como las hipótesis específicas, identificación de las variables dependiente e independiente y por último la definición operacional de variables e indicadores.

En el capítulo III se considera la metodología y técnicas de investigación considerando el tipo, método y diseño de investigación, la población, muestra y la técnica de investigación.

El capítulo IV, refiere a la descripción del trabajo de campo, presentación, análisis e interpretación de resultados, prueba de hipótesis y discusión de resultados.



## INDICE

DEDICATORIA

RECONOCIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

## CAPÍTULO I

### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

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

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes de estudio.....	6
2.2	Bases teóricas científicas .....	7
	2.2.1 Mineralogía.....	7
	2.2.2 Desarrollo histórico de la mineralogía.....	9
	2.2.3 Concepto de mineralogía .....	10
	2.2.4 Microscopio óptico .....	11

2.2.5	Partes del microscopio óptico y sus funciones .....	12
2.2.6	Sistema de iluminación.....	13
2.2.7	Microscopio óptico compuesto.....	14
2.2.8	Principales elementos de un microscopio básico .....	14
2.2.9	Poder separador, objetivos de inmersión y aumento útil.....	14
2.2.10	Microscopio estereoscópico .....	16
2.2.11	Conectar una cámara digital a un microscopio óptico.....	19
2.2.12	Aplicaciones del microscopio óptico.....	21
2.2.13	Análisis minerográfico en la metalurgia.....	22
2.2.14	Minerales opacos .....	24
2.2.15	Propiedades de los minerales con nicoles paralelos .....	24
2.2.16	Propiedades de los minerales con nicoles cruzados .....	27
2.2.17	Microscopia óptica .....	29
2.2.18	Sistema de iluminación.....	30
2.2.19	Microscopia electrónica de barrido .....	32
2.3	Definición de términos básicos.....	35
2.4	Formulación de hipótesis .....	37
2.4.1	Hipótesis general .....	37
2.4.2	Hipótesis específicos .....	37
2.5	Identificación de variables .....	37
2.5.1	Variable dependiente .....	37
2.5.2	Variable Independiente.....	37
2.6	Definición operacional de variables e indicadores .....	38

### **CAPÍTULO III**

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

3.1	Tipo de investigación .....	39
3.2	Métodos de investigación.....	39

3.3	Diseño de investigación .....	40
3.4	Población y muestra .....	40
3.4.1	Población .....	40
3.4.2	Muestra .....	40
3.5	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	40
3.6	Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	42
3.6.1	Propiedades ópticas de los minerales opacos .....	42
3.7	Tratamiento estadístico .....	44
3.8	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación .....	44
3.9	Orientación ética .....	45

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1	Descripción del trabajo de campo .....	46
4.1.1	Descripción de la Compañía minera Huarón.....	46
4.1.2	Características sociopolíticas.....	47
4.1.3	Productos .....	48
4.1.4	Operaciones en Compañía Minera Huarón .....	52
4.2	Presentación, análisis e interpretación de resultados .....	53
4.2.1	Procedimiento .....	53
4.2.2	El estudio .....	53
4.2.3	Caracterización mineralógica .....	54
4.3	Prueba de hipótesis.....	57
4.3.1	Fotografías del concentrado de zinc .....	58
4.4	Discusión de resultados.....	61
4.4.1	Análisis microscópico cuantitativo.....	61
4.4.2	Balance metalúrgico antes y después de la investigación .....	69

### **CONCLUSIONES**

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXO

Matriz de consistencia

Instrumentos de recolección de datos

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

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

El abastecimiento adecuado de materias primas (minerales) a la planta concentradora, la creciente demanda mundial de metales y la tarea es cada vez más difícil de descubrir nuevos depósitos minerales, hacen perentorio el empleo de nuevas técnicas de investigación geológica, para poder aprovechar con mayor eficiencia nuestros recursos minerales.

El análisis químico de una mena, aparte de indicar la cantidad de elementos presentes, no proporciona información sobre las características principales de cada uno de los minerales que constituye la mena.

El análisis mineralógico de los minerales se da por sus propiedades físicas que presentan cada uno de los elementos, que nos ayuda a identificar en grande al mineral.

El análisis minerográfico, es una técnica dedicada a la identificación de los minerales y al conocimiento detallado de sus propiedades físicas y químicas.

Por lo expuesto anteriormente y consciente de la importancia del análisis minerográfico para el desarrollo racional de nuestra minería se ha elaborado el siguiente trabajo con la finalidad de exponer en forma breve y didáctica, el apoyo y las ventajas de un estudio minerográfico detallado en la solución de los diferentes problemas que se presentan durante las fases de producción de un yacimiento mineral.

## **1.2 Delimitación de la investigación**

La investigación desarrollada nos da la información necesaria del análisis microscópico cuantitativo para la recuperación de zinc, tomando en cuenta que el zinc tiene un costo apropiado en el mercado y se ha observado que una parte del zinc se va al relave, en el análisis químico se observa presencia de zinc en la relavera, pero no se tiene en ciencia cierta de qué forma fue trasladado. Cuando se explota yacimientos de minerales polimetálicos casi siempre contiene sulfuros, óxidos, sulfosales, carbonatos, y cuarzo o sílice que la matriz minera. Debemos de considerar las variables independiente y dependiente para delimitar nuestra investigación y de esa manera no hacer investigaciones que no nos ayuda.

## **1.3 Formulación del problema**

Pan American Silver propietaria de las unidades Huaron y Morococha mantendrían sus niveles de producción este año. En 2018 los rendimientos productivos de ambas unidades no presentarían cambios drásticos, pues la operación minera Huaron (Pasco) obtendrá entre 3,6-3,8 millones de onzas de plata y 1,0 mil onzas de oro,

mientras que Morococha (Junín) extraerá entre 2,5-2,7 millones de onzas de plata y 2,2-2,3 mil onzas de oro. Estos fueron los pronósticos de la empresa Pan American Silver, mediante un comunicado.

En el referido documento, también se observa que en 2017 Huarón alcanzó 3,7 millones de onzas de plata y 1,1 mil onzas de oro; asimismo, Morococha anotó 2,6 millones de onzas de plata y 3,5 mil onzas de oro. Vale aclarar que los resultados son preliminares.

Así, Pan American precisó que la principal tendencia para sus unidades operativas en Perú serán mantener las tasas de producción, definir iniciativas para mejorar la productividad e instalaciones auxiliares, ampliar el depósito relavera de Huarón, y aumentar la eficiencia de Morococha, mientras se estudia la reubicación de su planta.

Cabe destacar que el rendimiento anual de Pan American Silver en todas sus unidades ubicadas en distintas partes del mundo (Perú, Argentina, Bolivia y México) logró 25 millones de onzas de plata y 160 mil onzas de oro, ubicándose dentro de los parámetros estimados a principios de 2017.

A nivel global, la empresa proyectó que en el presente año extraerá entre 25-26,5 millones de onzas de plata y entre 175-185 mil onzas de oro. Para el 2019 las cifras ascenderían a 27,7-29,7 millones oz Ag y 183-193 mil oz Au, mientras que en 2020 se situarían entre 30,5-33 millones oz Ag y 165-179 mil oz Au.

Estos datos obtenidos en la empresa nos conllevan a decir que, si se va a cumplir con la producción, entonces está abierta la investigación para mejorar la recuperación de zinc.

### **1.3.1 Problema principal**

¿Por qué hacer el análisis microscópica cuantitativa para la recuperación de Zinc a nivel de laboratorio metalúrgico en la Compañía Minera Huarón?

### **1.3.2 Problemas específicos**

- a) ¿Cómo identificar los elementos por análisis químico para la recuperación del zinc?
- b) ¿Cómo identificar los elementos con microscopio que están presentes en la muestra de minerales para la recuperación del zinc?

## **1.4 Formulación de objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Analizar con el microscópica cuantitativa para recuperar el Zinc a nivel de laboratorio metalúrgico en la Compañía Minera Huarón.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- a) Identificar los elementos por análisis químico para recuperar el zinc.
- b) Identificar los elementos con microscopio que están presentes en la muestra de minerales para recuperar el zinc.

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

La presente investigación está enmarcada en el análisis microscópico cuantitativo para la recuperación de Zinc a nivel de laboratorio metalúrgico en la Compañía Minera Huarón. Hoy en día, las tecnologías que está a disposición se puede



contrastar con otros equipos para poder determinar con exactitud la presencia del zinc en la relavera.

## **1.6 Limitaciones de la investigación**

Hace ocho años era impensable la extracción y tratamiento de minerales con leyes menores al 3,0 %, ya que resultaba económicamente inviable. Sin, embargo, hoy en día, la escasez del recurso minero y el aumento en la demanda, ha motivado al tratamiento de depósitos con contenidos no mayores a 0, 2%, y que son factibles económicamente sólo si son explotados a gran escala, lo cual, a su vez, requiere un mayor uso de agua y genera una mayor cantidad de relaves como desecho. En nuestro país, hay región árida y de poca disponibilidad de agua, en la mayor parte de las plantas de concentración de minerales polimetálicos el suministro de agua limita en muchos casos las operaciones y/o restringe la ampliación de éstas. En el presente estudio, se pretende recuperar el zinc mediante un análisis con el microscopio cuantitativamente y de esa manera minimizar la presencia del zinc en el relave.

La investigación a realizarse nos conlleva a analizar microscópicamente en forma cuantitativa para la recuperación del zinc, esta investigación es planificada debido a la alta presencia del zinc en el relave, teniendo en cuenta que la bibliografía es escasa en el mundo de la minería, así como también se llevará a cabo en un lapso de 6 meses de estudio.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

En la presente investigación se determinará con el microscopio óptico y en forma cuantitativa al zinc para la recuperación en el tratamiento por flotación y minimizar su contenido de zinc en el relave.

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

En la tesis sustentada en la Universidad Nacional San Agustín el bachiller Maizé Valeriano Quispe, realiza la investigación intitulada: “estudio minerográfico y determinación microscópica del grado de liberación de los minerales sulfurados de cobre”. Determina que Constantemente, en las plantas de tratamiento mineral se evalúan la eficiencia del proceso únicamente en base a resultados de análisis químicos de los elementos más importantes, sin embargo, la información acerca de la mineralogía, es indispensable también.

El grado de liberación es una expresión cuantitativa de la magnitud en que la molienda es capaz de obtener granos minerales “libres”; su determinación solo es posible mediante la utilización de estudios microscópicos, y dado que es un parámetro de importancia decisiva tal determinación debe basarse en una metodología técnica bien fundamentada.

En el presente trabajo se describe detalladamente la metodología desarrollada, para la identificación de minerales presentes y caracterizar las particularidades geométricas de sus intercrecimientos en los minerales sulfurados de cobre.

## **2.2 Bases teóricas científicas**

Para plantear el marco teórico debemos de manifestar lo que entendemos sobre las pruebas que se realizan a un determinado mineral y de esa manera poder plantearnos el sistema de evaluación.

### **2.2.1 Mineralogía**

Es la rama de la geología que estudia las propiedades físicas y químicas de los minerales que se encuentran en el planeta en sus diferentes estados de agregación. Por mineral se entiende una materia de origen inorgánico, que presenta una composición química definida además de una estructura cristalográfica y que suele presentarse en estado sólido y cristalino a la temperatura media de la Tierra, aunque algunos, como el agua y el mercurio, se presentan en estado líquido.

El estudio de los minerales lo podemos dividir en 5 grandes grupos:

**Mineralogía general:** Estudia la estructura, cristalografía, y las propiedades de los minerales.

**Mineralogía determinativa:** Aplica las propiedades fisicoquímicas y estructurales a la determinación de las especies minerales.

**Mineralogénesis:** Estudia las condiciones de formación de los minerales, de qué manera se presentan los yacimientos en la naturaleza y las técnicas de explotación.

**Mineralogía descriptiva:** Estudia los minerales y los clasifica sistemáticamente según su estructura y composición.

**Mineralogía económica:** Desarrolla las aplicaciones de la materia mineral, su utilidad económica, industrial, gemología. etc.

Por tanto, un mineral por ejemplo el carbono, puede cristalizar en diferentes estructuras, véase cristalografía, mediante el sistema cúbico; en este caso se lo denomina diamante o si cristaliza en el sistema hexagonal, conforma el grafito. Basta su apariencia para reconocer que son dos minerales diferentes, aunque es necesario un estudio más profundo para comprender que poseen la misma composición química.

También se encuentran varios minerales que pueden presentar dualidad en su comportamiento y a estos se los denomina *mineraloides*.

- Cristalografía.
- Mineralogía física.
- Mineralogía química.

- Mineralogía descriptiva.
- Mineralogía determinativa.
- Mineralogía óptica.

### **2.2.2 Desarrollo histórico de la mineralogía**

La mineralogía es la ciencia más antigua de las ciencias geológicas y una de las más antiguas de las ciencias naturales. En su evolución abundante conocimiento que el ser humano va adquiriendo. Los primeros documentos pertenecen a los árabes, pero sobretodo la antigua Grecia (Aristóteles, aspectos minerales, interpretación del origen y de la formación de las rocas).

En el imperio romano tenemos obras prácticas en vez de obras teóricas en las que encontramos muchos datos sobre yacimientos metálicos españoles, sobre su método de explotación y sobre procesos siderúrgicos; también estudia las gemas. En la edad media aparecen obras de minerales que hacen referencia a aspectos vulgares, no descriptivos. La civilización árabe aporta nombres, clasifican los minerales conocidos en metales, sulfuros, piedras y sales. El primer autor que hace referencia a la especie mineral y sus propiedades físicas como dureza y peso específico. En el siglo XVI es cuando la mineralogía sufre un avance importante debido al aumento de la actividad minera y por tanto al número de sustancias minerales útiles que había que examinar y estudiar. El nacimiento de la mineralogía como ciencia ocurre en 1556 cuando Bauer (Agrícola) escribe la obra “De Re Metálica”. A partir de Agrícola se crean las cátedras de mineralogía en las universidades y escuelas de minas. Durante el siglo XVIII cabe destacar dos aspectos importantes en la evolución de esta ciencia, uno estivo en las controversias sufridas entre los

autores que pretendían clasificar los minerales y el segundo aspecto de interés fue la controversia sufrida para explicar la formación o génesis de los minerales. A partir del XIX la mineralogía comienza un proceso de diferenciación y su evolución corre a lo largo de 4 direcciones diferentes, que son: la cristalografía nacida del interés por conocer la forma externa de los minerales; la mineralogenética que surge como consecuencia de querer dar una explicación de la formación de los minerales; la cristalquímica derivada del interés por el conocimiento interno y la composición química de los minerales; la cristalofísica que nace por el interés de conocer las propiedades físicas. Además, el siglo XIX se caracteriza por grandes avances dentro de la cristalografía, la cristalquímica y la cristalofísica (se descubre la escala de Moho, la correlación entre la forma y las propiedades ópticas, el isomorfismo y el polimorfismo, el microscopio polarizante). Durante este siglo la mineralogía queda dividida en varias materias que por sí solas constituyen un cuerpo de doctrina, son ciencias independientes: 1º mineralogía, 2º cristalografía (morfológica y estructural), 3º cristalofísica y 4º cristalquímica.

### **2.2.3 Concepto de mineralogía**

La palabra mineralogía significa literalmente la ciencia de los minerales, que son elementos o compuestos naturales que forman la parte sólida del universo. Se ocupa de: los minerales que constituyen las rocas, de las menas, de los agregados que forman parte de la corteza, de los meteoritos y de las muestras lunares o de otros planetas. Mineral es sinónimo de especie mineral, se entiende como aquella sustancia sólida, homogénea, inorgánica, formada

por el único concurso de las fuerzas de la naturaleza, con una composición química definida entre ciertos límites y con una estructura cristalina que a veces trasciende al exterior en forma de caras planas. La homogeneidad es una característica esencial para establecer el concepto de mineral y básica para diferenciarla de las rocas, en ellas no existe homogeneidad ni física ni química; al hablar de que sea un sólido inorgánico se excluyen automáticamente los materiales de naturaleza orgánica, sin embargo si los procesos geológicos están involucrados en la génesis de estos compuestos químicos entonces si se acepta como mineral; los compuestos tienen que tener estructura cristalina, esta condición no es realmente restrictiva porque si se aceptan como minerales algunos compuestos sin estructura. Definiciones de mineral: Kostov (1968) dice que es un constituyente de la corteza terrestre que aparece de forma natural, homogéneo, que posee una composición química y estructura definidas dentro de ciertos límites y que es estable en unas condiciones. La CNMMN (comisión de naciones sobre minerales y nombres de minerales), establece que un mineral es un elemento o compuesto químico que es normalmente cristalino y que se ha formado como resultado de un proceso geológico.

#### **2.2.4 Microscopio óptico**

Un microscopio óptico es un microscopio basado en lentes ópticas. También se le conoce como microscopio de luz (que utiliza luz o «fotones») o microscopio de campo claro. El desarrollo de este aparato suele asociarse con los trabajos de Anton Van Leeuwenhoek. Los microscopios de Leeuwenhoek constaban de una única lente pequeña y convexa, montada

sobre una plancha, con un mecanismo para sujetar el material que se iba a examinar (la muestra o espécimen). Este uso de una única lente convexa se conoce como microscopio simple, en el que se incluye la lupa, entre otros aparatos ópticos

### 2.2.5 Partes del microscopio óptico y sus funciones

1 \* **Ocular:** lente situada cerca del ojo del observador. Capta y amplía la imagen formada en los objetivos.

2 \* **Objetivo:** lente situada en el revólver. Amplía la imagen, es un elemento vital que permite ver a través de los oculares.

3 \* **Condensador:** lente que concentra los rayos luminosos sobre la preparación.

4 \* **Diafragma:** regula la cantidad de luz que llega al condensador.

5 \* **foco:** dirige los rayos luminosos hacia el condensador.

6 \* **Tubo:** es la cámara oscura que porta el ocular y los objetivos. Puede estar unida al brazo mediante una cremallera para permitir el enfoque.

7 \* **Revólver:** Es el sistema que porta los objetivos de diferentes aumentos, y que rota para poder utilizar uno u otro, alineándolos con el ocular.

8 \* **Tornillos macro y micrométrico:** Son tornillos de enfoque, mueven la platina o el tubo hacia arriba y hacia abajo. El macrométrico permite desplazamientos amplios para un enfoque inicial y el micrométrico desplazamiento muy corto, para el enfoque más preciso. Pueden llevar



incorporado un mando de bloqueo que fija la platina o el tubo a una determinada altura.

9 \***Platina:** Es una plataforma horizontal con un orificio central, sobre el que se coloca la preparación, que permite el paso de los rayos procedentes de la fuente de iluminación situada por debajo.

10 \***Pinzas sujetadoras:** Dos pinzas sirven para retener el portaobjetos sobre la platina y un sistema de cremallera que permite mover la preparación. Puede estar fija o unida al brazo por una cremallera para permitir el enfoque.

11 \***Brazo:** Es la estructura que sujeta el tubo, la platina y los tornillos de enfoque asociados al tubo o a la platina. La unión con la base puede ser articulada o fija.

12 \* **Base o pie:** Es la parte inferior del microscopio que permite que éste se mantenga de pie.

### 2.2.6 Sistema de iluminación

La fuente de luz (1), con la ayuda de una lente (o sistema) (2), llamada colector, se representa en el plano del diafragma iris de abertura (5) del condensador (6). Este diafragma se instala en el plano focal anterior del condensador (6) y puede variar su abertura numérica. El diafragma iris (3) dispuesto junto al colector (2) es el diafragma de campo. La variación del diámetro del diafragma de campo permite obtener su imagen igual al campo visual lineal del microscopio. La abertura numérica del condensador (6) supera, generalmente la de la abertura del objetivo microscópico: es la

iluminación que permite ver mejor lo que queremos observar cómo las células o las membranas celulares entre otros.

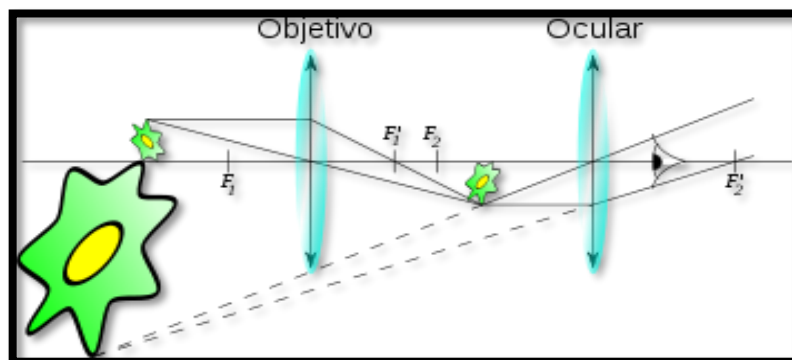
### 2.2.7 Microscopio óptico compuesto

Artículo principal: Microscopio compuesto.

Un microscopio compuesto es un microscopio óptico con más de un lente. Se utilizan especialmente para examinar objetos transparentes, o cortados en láminas tan finas que se transparentan.

### 2.2.8 Principales elementos de un microscopio básico

Figura N°2.1: Diagrama simple de la óptica de un microscopio



Fuente: Wikipedia

Los microscopios de este tipo suelen ser más complejos, con varias lentes en el objetivo como en el ocular. El objetivo de estas lentes es el de reducir la aberración cromática y la aberración esférica. En los microscopios modernos el espejo se sustituye por una lámpara que ofrece una iluminación estable y controlable.

### 2.2.9 Poder separador, objetivos de inmersión y aumento útil

**Poder separador**

De la teoría de la difracción sobre la formación de imágenes mediante un microscopio se obtiene que la distancia mínima entre dos puntos visibles por separado es:

$$\delta = \frac{\lambda}{2 * A_N}$$

Donde  $\lambda$  es la longitud de onda de la luz monocromática en la que se observa el objeto y A es la apertura del microscopio.

### **Objetivos de inmersión**

El medio óptico líquido que rellena el espacio entre el objeto y el objetivo se le denomina líquido de inmersión. El índice de refracción de este próximo al del vidrio (se utiliza agua, glicerina, aceites de cedro y de enebro, monobromonaftalina, entre otros).

Aunque todos los componentes que constituyen un microscopio son importantes, los objetivos son de suma importancia, puesto que la imagen, en definitiva, depende en gran medida de su calidad. Los mejores objetivos son aquellos que están corregidos para las aberraciones.

### **Las aberraciones**

Son alteraciones ópticas en la formación de la imagen debidas a las propias lentes del objetivo.

Aberraciones geométricas (efecto Keystone).

Aberraciones cromáticas.

### **Corrección de las aberraciones**

Para evitar las aberraciones geométricas se construyen los llamados objetivos planos o plasmáticos, lo cual suele estar indicado en el propio objetivo con la inscripción PLAN. Los objetivos que están corregidos para las aberraciones cromáticas se denominan acromáticos (corregidos para el rojo y el azul), semi apocromáticos (corregidos para el rojo y el azul y tienen una mayor apertura numérica) y finalmente los apocromáticos (que son de mayor calidad y están corregidos para el rojo, el azul y el verde).

### 2.2.10 Microscopio estereoscópico

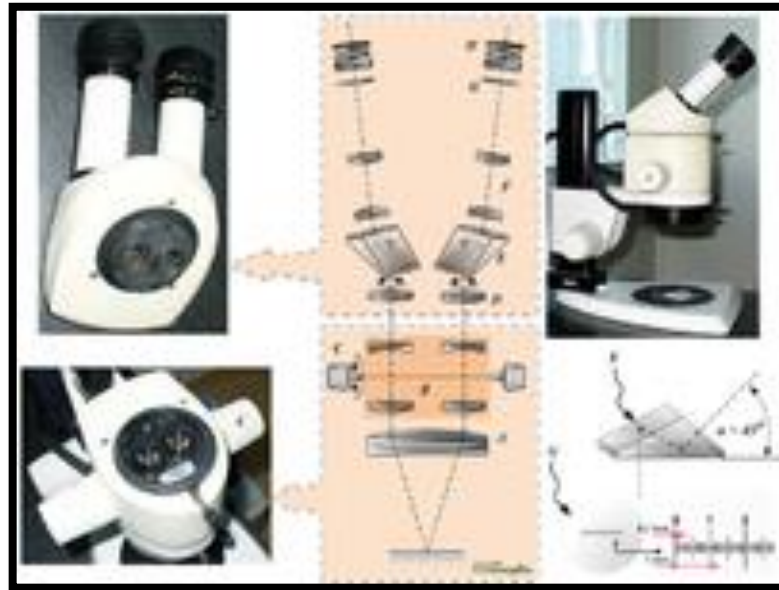
**Figura N°2.2: Microscopio estereoscópico**



**Fuente: Google**

Microscopio estereoscópico. En la platina se aprecia una concha de 4 cm de diámetro.

**Figura N°2.3: Visualización de los nicoles**



**Fuente: Google**

Microscopio estereoscópico. El diseño de este instrumento, también llamado «lupa binocular», es distinto al del diagrama de más arriba y su utilidad es diferente, pues se utiliza para ofrecer una imagen estereoscópica (3D) de la muestra. Para ello, y como ocurre en la visión binocular convencional, es necesario que los dos ojos observen la imagen con ángulos ligeramente distintos. Obviamente todos los microscopios estereoscópicos, por definición, deben ser binoculares (con un ocular para cada ojo), por lo que a veces se confunden ambos términos. Existen dos tipos de diseño, denominados respectivamente convergente (o Greenough) y de objetivo común (o Galileo).

El diseño convergente consiste en usar dos microscopios idénticos inclinados un cierto ángulo uno con respecto a otro y acoplados mecánicamente de tal forma que enfocan la imagen en el mismo punto y con el mismo aumento. Aunque es un diseño económico, potente y en el que las aberraciones resultan

muy fáciles de corregir, presenta algunas limitaciones en cuanto a modularidad (capacidad de modificar el sistema para poner accesorios) y la observación durante tiempos largos resulta fatigosa.

El diseño de objetivo común utiliza dos rutas ópticas paralelas (una para cada ojo) que se hacen converger en el mismo punto y con un cierto ángulo con un objetivo común a ambos microscopios. El diseño es más sofisticado que el convergente, con mejor modularidad y no genera fatiga en tiempos de observación largos. Sin embargo, es más costoso de fabricar y las aberraciones, al generarse la imagen a través de la periferia del objetivo común y en un ángulo que no coincide con el eje óptico del mismo, son más difíciles de corregir.

Los microscopios estereoscópicos suelen estar dotados, en cualquiera de sus variantes, de un sistema pancrático (*zoom*) o un sistema de cambiador de aumentos que permite observar la muestra en un rango de aumentos variable, siempre menor que el de un microscopio compuesto.

El microscopio estereoscópico es apropiado para observar objetos de tamaños relativamente grandes, por lo que no es necesario modificar los objetos a ver, (laminar) ni tampoco lo es que la luz pase a través de la muestra.

Este tipo de microscopios permite unas distancias que van desde un par de centímetros a las decenas de ellos desde la muestra al objetivo, lo que lo hace muy útil en botánica, mineralogía y en la industria microelectrónica, por ejemplo) como en medicina (microscopios quirúrgicos) e investigación, fundamentalmente en aplicaciones que requieren manipular el objeto visualizado (donde la visión estereoscópica es esencial).

Podríamos decir que un microscopio estereoscópico sirve para las disecciones de animales.

### 2.2.11 Conectar una cámara digital a un microscopio óptico

Figura N° 2.4: Adaptador digital LM para la Canon EOS 5



Fuente: Google

Un adaptador óptico mecánico es importante en fotografía digital. Dicho adaptador sirve de enlace entre la cámara y el microscopio. Es especialmente importante que la conexión mecánica sea firme, pues cualquier movimiento mínimo, es decir, vibraciones de la cámara, reduciría la calidad de la imagen notablemente. Adicionalmente, se requiere un adaptador óptico para el trayecto de luz con el que se logrará así que el sensor CCD/CMOS de la cámara proyecte una imagen de total nitidez e iluminación.

La fotomicrografía (fotografía realizada con la ayuda de un microscopio compuesto) es un campo muy especializado de la fotografía, para la que hay disponibles equipos de precio muy elevado, y no simples equipos de estudio.

Con un microscopio de calidad adecuada, como los que se encuentran en la mayoría de los laboratorios científicos, se pueden realizar fotomicrografías de una calidad razonable, utilizando una cámara de uso general, de objetivo fijo o intercambiable.

### **Métodos Básicos**

Hay dos métodos básicos de tomar fotografías por medio del microscopio. En el primer método el objetivo de la cámara realiza una función parecida a la del cristalino del ojo y proyecta sobre el sensor una imagen real de la imagen virtual que se ve por el ocular del microscopio. Este método es el único adecuado para utilización de cámaras con objetivo fijo, esto es, no intercambiable.

El segundo método, adecuado para cámaras con objetivo intercambiable, implica retirar el objetivo de la cámara y ajustar el microscopio de modo que el ocular forme una imagen directamente sobre el sensor.

La calidad de la óptica de un microscopio (objetivo y ocular) es fundamental en la determinación de la calidad de una imagen fotográfica. Los objetivos y oculares de microscopio se encuentran en diferentes calidades, determinadas por la precisión con que han sido corregidos de aberraciones. Los objetivos más económicos están corregidos de aberración esférica para un solo color, generalmente el amarillo verdoso, pero no de aberración cromática para la totalidad del espectro visible, sino solo para dos o tres colores, primarios. Estos objetivos se llaman acromáticos, y también muestran cierta cantidad de curvatura de campo; esto es, que la totalidad del campo de visión del objetivo no puede llevarse simultáneamente a foco fino.



Existen los acromáticos de campo plano, en los que la curvatura de campo ha sido casi totalmente corregida, se denominan plana cromáticos.

Los apocromáticos están corregidos de aberración esférica para dos colores y de aberración cromática para los tres colores primarios. Aun así, mostrarán curvatura de campo a menos que sean plana pocromáticos, los mejores objetivos de que se dispone. Los oculares también tienen diferentes calidades. Los más simples son los de campo ancho.

Los oculares compensadores se diseñan para compensar ciertas aberraciones cromáticas residuales del objetivo, y dan su mejor resultado cuando se utilizan con objetivos apocromáticos, aunque también pueden utilizarse con éxito con los acromáticos de mayor potencia. Existen los oculares foto, especiales para fotomicrografía, y cuando se utilizan con los objetivos plana pocromáticos dan la mejor calidad posible de fotografía.

#### **2.2.12 Aplicaciones del microscopio óptico**

Este instrumento ha sido de gran utilidad, sobre todo en los campos de la ciencia en donde la estructura y la organización microscópica es importante, incorporándose con éxito a investigaciones dentro del área de la química (en el estudio de cristales), la física (en la investigación de las propiedades físicas de los materiales), la geología (en el análisis de la composición mineralógica y textural de las rocas) y, por supuesto, en el campo de la biología (en el estudio de estructuras microscópicas de la materia viva), por citar algunas disciplinas de la ciencia.

Hasta ahora se da uso en el laboratorio de histología y anatomía patológica, donde la microscopía permite determinadas aplicaciones diagnósticas, entre ellas el diagnóstico de certeza del cáncer, numerosas estructuras cristalinas, pigmentos, lípidos, proteínas, depósitos óseos, depósitos de amiloide, etcétera.

### **2.2.13 Análisis minerográfico en la metalurgia**

La identificación de minerales puede ser una tarea complicada, si se considera que existen algo más de 2800 especies minerales conocidas hasta la fecha y que además estas especies han sido subdivididas en 10000 a 15000 variedades cada cual con un nombre específico. Esta formidable lista, incluye a un cierto número de mineral que ya han sido descartados como mineral definido; sin embargo, nuevos minerales se suman a la relación continuamente.

Una vez que el mineral ha sido identificado, se consulta la literatura respectiva para conocer su composición química, propiedades físicas y otros datos relevantes para el metalurgista; pero en algunos casos las propiedades importantes solo son determinar por el análisis minerográfico.

Las propiedades físicas de los minerales son de gran importancia para el metalurgista: Dureza, clivaje, brillo y fracturamiento afectan el comportamiento de las menas.

La forma de los granos de mineral es importante para su separación por medios físicos; la diferencia en la gravedad específica de los minerales es la base de la separación gravimétrica; el color y la reflectividad se usan como

control en el proceso de selección manual electrónica; las propiedades magnéticas determinan la separación diamagnética y paramagnética de minerales; la radioactividad es de primera importancia en los procedimientos de selección radioactiva; las propiedades de la superficie son importantes en la flotación; y la resistividad eléctrica de los minerales permite su recuperación electrostática.

La textura de una mena es de mucha importancia para el metalurgista debido a que el grado de liberación de los minerales durante la etapa molienda, depende del modo en que los diferentes minerales se encuentran asociados en la mena, el tamaño de cada grano de mineral, las características de los bordes de los mismos, clivaje, fracturas y estado físico de los minerales. Una información detallada sobre estas propiedades físicas es de mucho valor para evitar la sobre molienda y la formación de lamas, que podría hacer difícil o imposible la concentración de los minerales. Donde la molienda de la mena es deficiente, la ley del concentrado disminuirá debido a la presencia de los minerales de ganga adheridos a los minerales de mena.

En la etapa de desarrollo de un yacimiento mineral, el análisis minerográfico ayuda al metalurgista en la solución de problemas minerográficos relacionados con el tratamiento de minerales. El análisis minerográfico, es también de gran ayuda para mejorar el rendimiento de una planta metalúrgica en operación. Por el examen minerográfico de concentrados, productos intermedios y colas producidas por las plantas, el mineralogista puede proporcionar información referente al grado de pureza de los concentrados y

acerca de las causas que ocasionan la pérdida de minerales valiosos en los productos intermedios y en las colas.

#### **2.2.14 Minerales opacos**

- Un mineral opaco es aquél cuando la cantidad de luz absorbida es máxima; y la cantidad de luz transmitida es mínima.
- Las propiedades ópticas son aquellas que están relacionadas con la luz.  
Así tenemos:

Nicoles paralelos (\*)

- Color
- Reflectancia
- Pleocroísmo

Nicoles cruzados (\*\*)

- Anisotropía
- Macla
- Reflexiones internas

(\*) Nícoles paralelos: sin analizador

(\*\*) Nícoles cruzados: con analizador

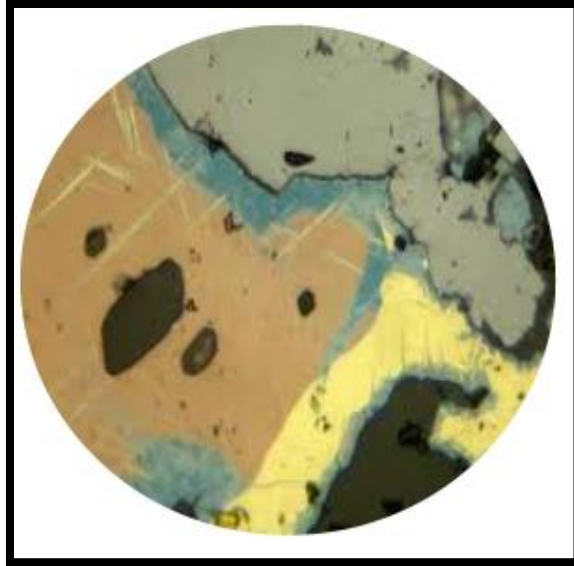
#### **2.2.15 Propiedades de los minerales con nicoles paralelos**

##### **a) Color:**

Se dividen en dos clases: coloreados y no coloreados.

- La mayoría de los minerales opacos bajo la luz reflejada, presentan un color que va del blanco al gris (no coloreados).

**Figura N°2.5: Color de la Bornita, Chalcopirita**



**Fuente: Ingemmet - laboratorio petro-mineralógico**

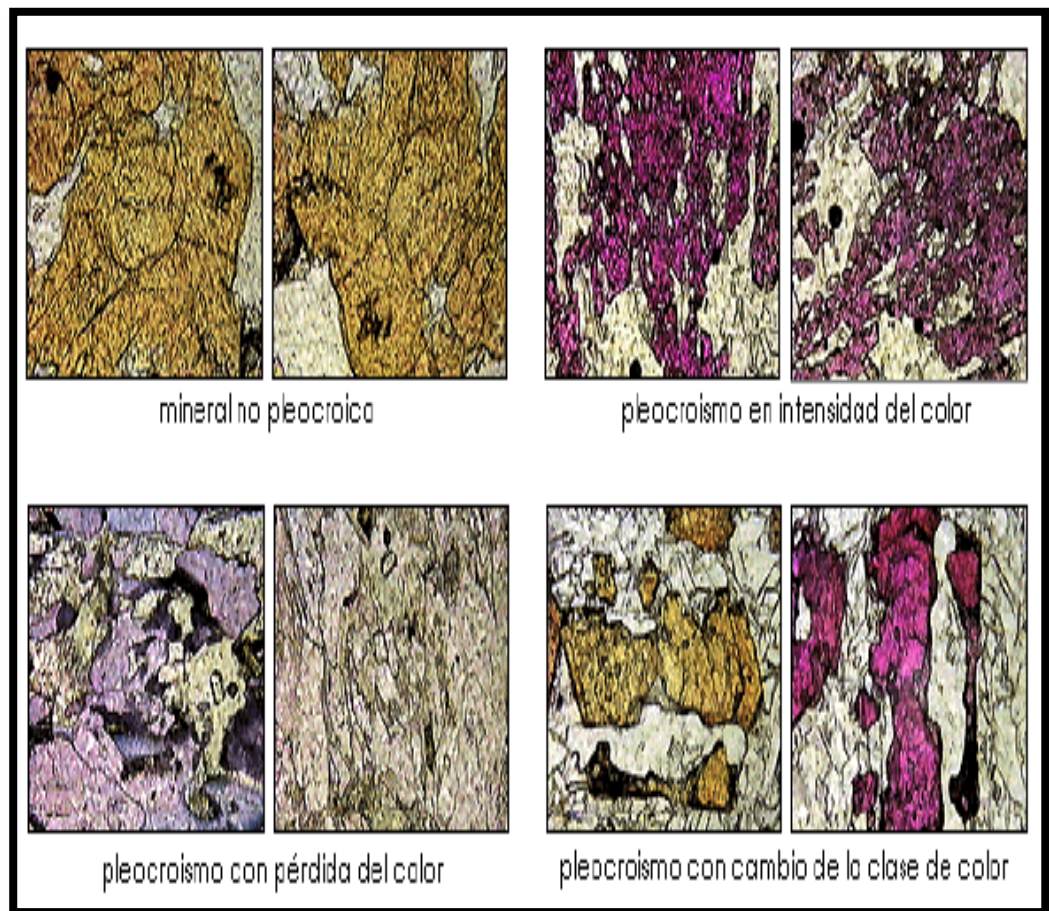
- El color de un mineral puede variar dependiendo de qué minerales lo rodean, así como del tipo de iluminación y el nivel del pulido.
- A pesar de ser una propiedad muy subjetiva, es una de las más importantes para la identificación de minerales opacos.

Muy a menudo, los autores no coinciden al definir el color de los diferentes minerales.

#### **b) Pleocroísmo:**

Se refiere al cambio de color, o de la intensidad de color, que presenta un mineral cuando se gira la platina del microscopio, debido a la absorción desigual de la luz por el mineral en diferentes orientaciones. Los minerales ferromagnesianos suelen ser pleocroico de la gran mayoría.

**Figura N°2.6: Pleocroísmo**



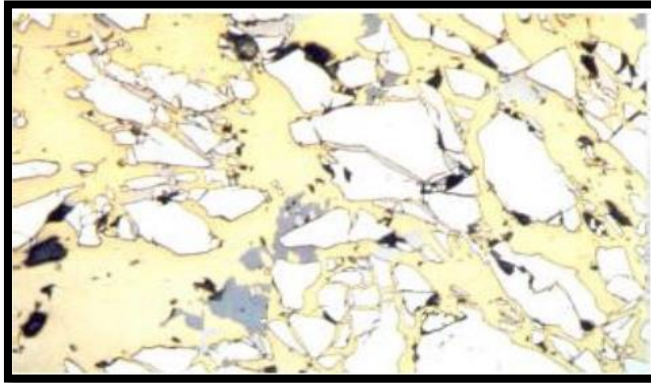
**Fuente: Mineralogía óptica**

**c) Reflectancia:**

- Porcentaje de luz incidente que es reflejada por esa superficie.
- Depende de la orientación cristalográfica de la sección que se observa (si el mineral es anisótropo) y de la intensidad de la iluminación.
- Se expresa en tres tipos: alta, media; y baja.
- En un mineral no coloreado, éste se apreciará de color blanco si su reflectancia es alta; y gris si es baja.

Los minerales de la ganga, por ser minerales transparentes, reflejan un porcentaje muy bajo de la luz que incide en ellos, por lo que aparecerán con colores grises muy oscuros.

**Figura N° 2.7: Microfotografía con nicoles paralelos de pirita (blanco) en chalcopirita (amarillo) con algo de esfalerita (gris)**



**Fuente: Descripción de los minerales**

## **2.2.16 Propiedades de los minerales con nicoles cruzados**

### **a) Anisotropía**

- Es la variación de color que presenta un mineral al girar la platina con nicoles cruzados.
- En un mineral opaco anisótropo, no se observan cuatro posiciones de extinción y otras cuatro de máxima iluminación, como ocurre en los minerales anisótropos transparentes, sino que cambia de color.
- De acuerdo a su comportamiento con luz polarizada, los minerales opacos pueden dividirse en: isótropos, débilmente anisótropos y anisótropos.

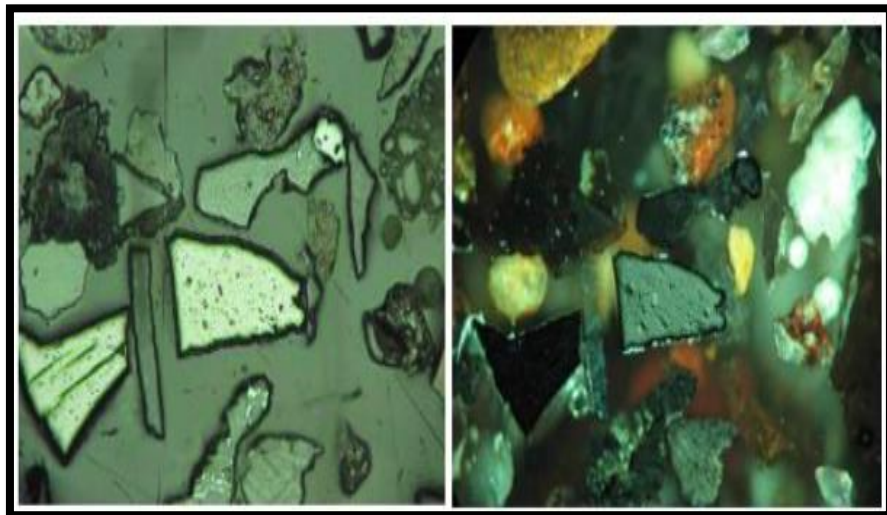
### **b) Reflexiones internas**

- Las presentan todos los minerales que no son completamente opacos.
- Se producen como consecuencia de la reflexión de la luz en planos internos de la muestra.

- La mayor parte de los minerales transparentes presentan esta propiedad. Sin embargo, sólo aparece en algunos minerales opacos, por lo que suele resultar muy útil para su identificación.
- Son generalmente blancas o de colores variados para los minerales transparentes de la ganga, y pardas, pardo-rojizas o rojas para los minerales opacos más comunes.

Las reflexiones internas se observan con mayor facilidad en los bordes de grano.

**Figura N°2.8: Reflexiones internas alrededor de la arsenopirita**



**Fuente: Laboratorio de microscopia**

**c) Maclas:**

- - En los cristales anisótricos, debido a la diferente orientación de los individuos que componen la macla, éstas se reconocen fácilmente.
- - Esta propiedad es muy útil en el reconocimiento de determinados minerales opacos.



### 2.2.17 Microscopia óptica

Figura N°2.9: Microscopio Leica DM4P, Vertical de polarización



Fuente: Microsystems Leica DM4P

El estudio microscópico utiliza esencialmente dos tecnologías: Microscopía Óptica (MO) y Microscopía Electrónica de Barrido (MEB); en la primera, como su nombre lo indica la identificación se basa esencialmente en la observación y eventual medición de las propiedades de la imagen formada por ondas electromagnéticas del espectro visible, mientras que en la segunda se utiliza el nivel de brillo de una imagen electrónica generada por electrones retro dispersos (rayos x) generados por los minerales del campo de observación. En la MO, la experiencia y el nivel de conocimientos mineragráficos del operador son determinantes y un experto puede efectuar

la identificación específica o genérica de la mayoría de los minerales significativos para el tratamiento metalúrgico, en tiempo relativamente corto y con suficiente exactitud.

La MEB requiere del apoyo de equipos analíticos de alta precisión (esencialmente sensores para registros espectrales de la radiación de rayos X producida) y “software” auxiliares, lo que ha dado lugar al desarrollo de tecnologías cada vez más sofisticadas como el sistema automatizado de análisis minerográfico QemSCAN o el sistema MLA; en ambos casos, la tecnología auxiliar se aplica simultáneamente con la observación, es decir en tiempo real. Es así que la identificación mineralógica efectuada mediante MEB apoyada en los sistemas de análisis automatizados como los mencionados es muchísimo más veloz que cuando se utiliza MO y esto es especialmente ventajoso cuando se trata de granos minerales extremadamente pequeñas donde la correcta determinación de sus propiedades ópticas se ve fuertemente afectada por las limitaciones instrumentales.

#### **2.2.18 Sistema de iluminación**

Es un conjunto de dispositivos cuya función es dirigir la luz hacia la muestra en las mejores condiciones de trabajo posibles. Está situado en la parte inferior del estativo. El sistema es móvil, de forma que se puede acercar o alejar de la platina, para un mejor control de la iluminación. El sistema de iluminación está compuesto por:

**Lámpara.** En los microscopios modernos se emplean lámparas halógenas, generalmente situadas en la parte posterior trasera del estativo.

**Diafragma de campo.** Es un diafragma que está colocado en la base del estativo. Permite controlar la cantidad de luz que llega al sistema de condensadores.

**Filtro azul.** El filtro de vidrio de color azul corrige la dominante amarilla de la luz de la lámpara.

**Polarizador.** Es un filtro polarizador que en la mayor parte de los modelos está colocado de forma que la dirección privilegiada de vibración de luz, está orientada E-O (izquierda-derecha). Está siempre interpuesto en el camino de la luz y puede girarse para ajustarlo en su posición correcta.

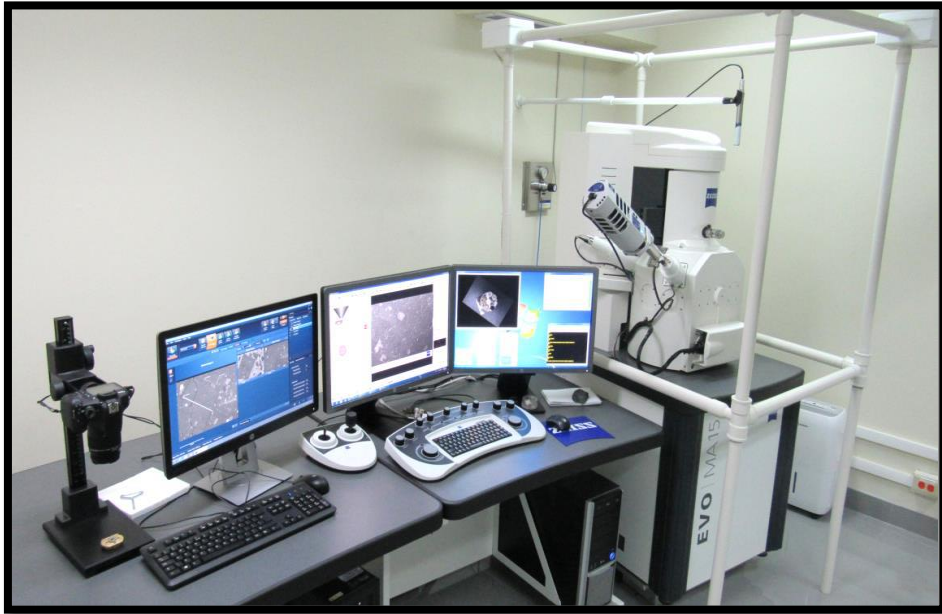
**Diafragma.** Sirve para controlar la cantidad de luz variando el diámetro del haz, de forma que al cerrarlo se da un mayor contraste a la imagen de la muestra.

**Lentes condensadoras inferiores fijas (inferiores).** Están colocadas sobre del polarizador y su función es concentrar la luz de la lámpara sobre la muestra.

**Lentes condensadoras superiores.** Está situado en la parte superior del sistema de iluminación. Se trata de un condensador muy potente que puede quitarse o colocarse a voluntad. Con esta lente insertada, la luz forma un haz de cónico (luz convergente o conoscópica) que se utiliza en los casos donde se necesita un refuerzo de la iluminación (con objetivos de mucho aumento) o bien para determinar los signos ópticos. La iluminación se debe de controlar de forma que no sea ni excesiva ni muy baja, ya que esto podría modificar los colores observados y causar problemas de cansancio en la vista.

## 2.2.19 Microscopia electrónica de barrido

Figura N° 2.10: Microscopio Electrónico de Barrido



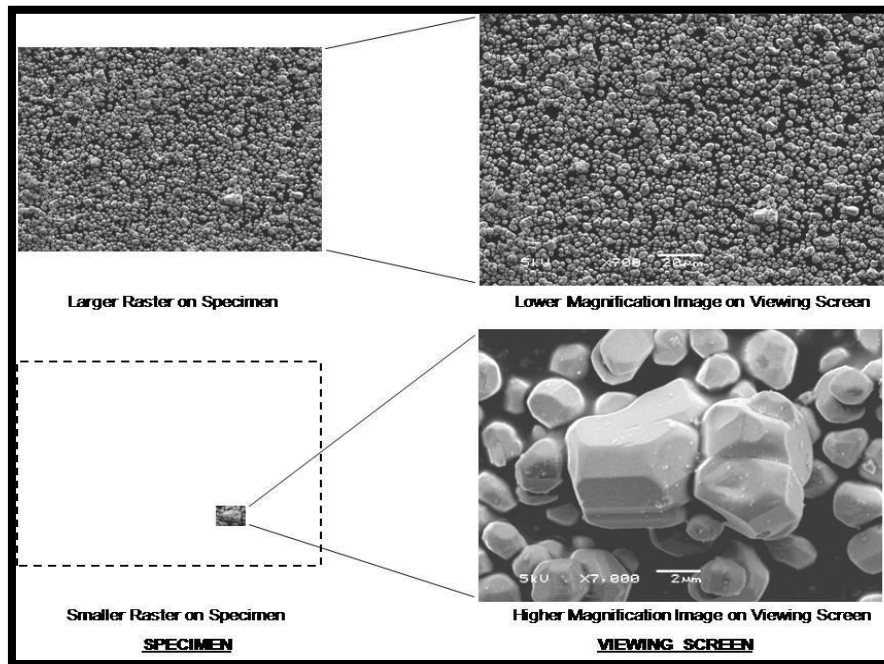
Fuente: INGEMMET – Laboratorios de Petromineralogía.

El microscopio electrónico de barrido (MEB o SEM, por Scanning Electron Microscope) es una técnica de microscopía electrónica capaz de producir imágenes de alta resolución de la superficie de una muestra utilizando las interacciones electrón-materia. Utiliza un haz de electrones en lugar de un haz de luz para formar una imagen.

La magnificación de una óptica es la relación entre el tamaño de la imagen (pantalla) y el tamaño del objeto (escaneo). A mayor tamaño de la pantalla la magnificación será menor, si el tamaño de la pantalla es pequeño la magnificación será mayor.

$$\text{Mag.} = \frac{\text{Tamaño de la pantalla}}{\text{Tamaño del escaneo}}$$

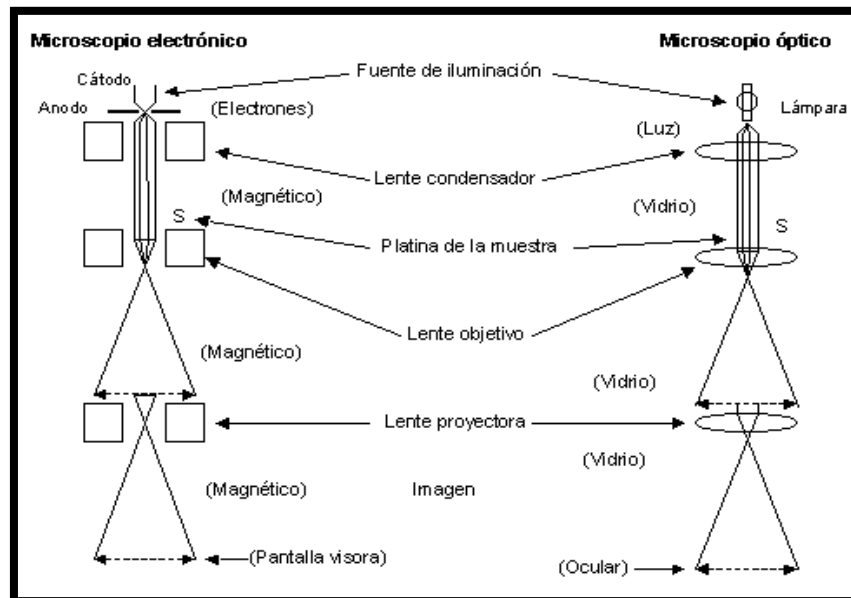
**Figura N°2.15: Magnificación de una muestra mineralizada**



**Fuente: Ingemmet laboratorios de petromineralogía.**

Las principales comparaciones entre el microscopio óptico y el electrónico de barrido son:

**Figura N°2.16: Comparación MO y MEB**



**Fuente: Ingemmet laboratorios de petromineralogía.**

**Tabla N°2.1**

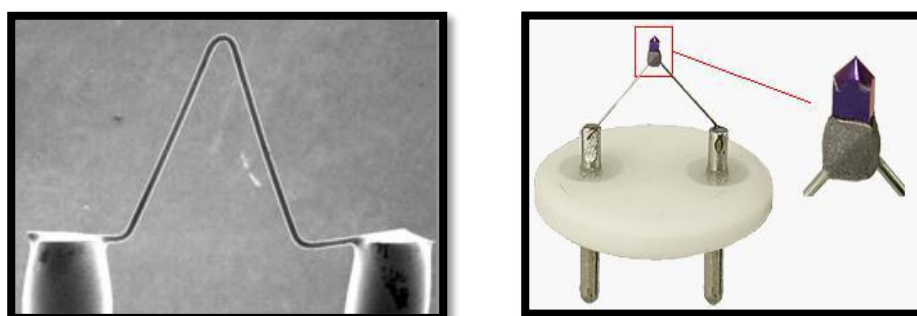
*Comparación MO versus MEB*

<b>Parámetros</b>	Microscopía óptica	Microscopía electrónica
<b>Magnificación</b>	1000X	1 000 000
<b>Resolución</b>	1 $\mu\text{m}$	2 nm
<b>Fuente de iluminación</b>	Lámpara halógeno o LED	Filamento de W o LaB6
<b>Preparación de muestras</b>	Si	Se puede colocar muestras preparadas y sin preparar

**Fuente:** INGEMMET Laboratorios de Petromineralogía.

Este microscopio electrónico de barrido Posee dos fuentes de electrones los cuales son: el Tungsteno ( $2427^{\circ}\text{C}$ ) y el Hexaboruro de lantano (LaB6) a  $1527^{\circ}\text{C}$ .

**Figura N°2.17: Tipos de Fuentes de electrones a) tungsteno - b) hexaboruro de lantano**



(a)

(b)

**Fuente:** INGEMMET Laboratorios de Petromineralogía.

### 2.3 Definición de términos básicos.

**Mena:** se utiliza en yacimientos minerales tanto por los mineralogistas como por los geólogos de las minas, aunque con diferentes matices: para el mineralogista la mena es aquel mineral que puede usarse para la extracción de metales, a veces lo utiliza en un sentido más amplio para designar un mineral útil y así abarca minerales de los que se puede extraer elementos con rendimiento económico; sin embargo, los geólogos de las minas utilizan el término para designar agregados minerales de los que se pueden extraer metales, o combinaciones de los mismos, con un rendimiento económico. La diferencia radica en que para un mineralogista una mena es un mineral separado de otro mineral.

**Ganga:** se utiliza para designar a todos los minerales de un yacimiento que no tienen valor y que suelen separarse de la mena en los procesos de concentración.

**Mineral.** Es aquella sustancia sólida, natural, homogénea, de origen inorgánico, de composición química definida.

**Minerales industriales:** son los que se utilizan como materia prima en la industria.

**Minerales sintéticos:** son producto de laboratorio.

**Minerales estratégicos:** los que se emplean para fabricar armas.

**Concentración.** El proceso por el cual el mineral se separa en concentrados de metal y material de desecho a través de procesos como el chancado, la molienda y la flotación. Los concentrados se envían a una fundición

**Concentrado.** Un producto intermedio fino y polvoriento del proceso de molienda formado por la separación de un metal valioso del desperdicio.

**Concentradora.** Las instalaciones en las que se procesa el mineral para separar los minerales de la roca madre.

**Depósito mineral.** Concentración natural de material valioso que puede ser extraído y vendido con una ganancia.

**Depósito mineral o material mineralizado.** Un cuerpo mineralizado subterráneo que ha sido interceptado por un número suficiente de huecos de perforación espaciados estrechamente y/o muestreo subterráneo para sustentar un tonelaje o ley de mineral suficientes como para garantizar la futura exploración o desarrollo. Los depósitos minerales o los materiales mineralizados no califican como una reserva de mineral minable comercial (las reservas probables o probadas), tal como se describe de acuerdo con las normas de la Comisión, hasta que se concluya un estudio de factibilidad integral económico, técnico y legal en base a los resultados de las pruebas.

**Flotación.** Proceso para concentrar materiales en base a la adhesión selectiva de ciertos minerales a las burbujas de aire en una mezcla de agua con mineral molido. Cuando se agregan los químicos correctos al baño de agua espumosa de mineral que ha sido molido a un polvo fino, los minerales flotan a la superficie.

**Muestra.** Una pequeña porción de roca o de un depósito mineral que se toma para poder determinar por ensayo el contenido de metales.

**Muestreo.** La selección de una parte fraccional pero representativa de un depósito mineral para el análisis.

**Mineralogía.** es la rama de la geología que estudia las propiedades físicas y químicas de los minerales que se encuentran en el planeta en sus diferentes estados



de agregación. Un mineral es un sólido inorgánico de origen natural, que presenta una composición química definida. Los minerales aportan al ser humano los elementos químicos imprescindibles para sus actividades industriales.

## **2.4 Formulación de hipótesis**

### **2.4.1 Hipótesis general**

Si analizamos con el microscópica cuantitativa podemos hacer la recuperación del Zinc a nivel de laboratorio metalúrgico en la Compañía Minera Huarón.

### **2.4.2 Hipótesis específicos**

- a) Si identificamos los elementos por análisis químico entonces podemos hacer la recuperación del zinc.
- b) Si identificar los elementos con microscopio que están presentes en la muestra de minerales entonces podemos hacer la recuperación del zinc.

## **2.5 Identificación de variables**

### **2.5.1 Variable dependiente**

Recuperación del Zinc a nivel de laboratorio metalúrgico en la Compañía Minera Huarón.

### **2.5.2 Variable Independiente**

Análisis microscópica cuantitativa

## 2.6 Definición operacional de variables e indicadores

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador
Análisis microscópica cuantitativa	Visualización de muestras en el microscopio polarizado	Partículas liberadas en el concentrado	Cuantificar las partículas liberadas de zinc	Horario
Recuperación del Zinc	Recuperación de zinc en el concentrado	Incremento de zinc en el concentrado	Balance metalúrgico	Control a cada hora

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Tipo de investigación

Teniendo en cuenta los Objetivos de la Investigación y la naturaleza del Problema planteado, para el desarrollo del presente estudio se empleó el Tipo de Investigación **cuasi experimental**, porque permite responder a los problemas planteados, para el diseño de sobreelevación del dique de relave, describiendo y explicando las causas - efectos, traducidos en resultados obtenidos de las pruebas experimentales.

#### 3.2 Método de investigación

El método será **aplicado** utilizando la metodología analítica y deductiva, en el análisis microscópica cuantitativa a nivel de laboratorio para la recuperación del zinc.

### **3.3 Diseño de la investigación**

El Diseño empleado en la presenta investigación es el de carácter **experimental**; metodología que permite establecer la relación existente entre la aplicación de la variable independiente en el proceso y el resultado obtenido, considerado como variable dependiente, teniendo en cuenta para ello el problema principal planteado, y que será desarrollado dentro del contexto de la investigación como descriptivo. Para cumplir con la Metodología y diseño de la investigación, se llevará a cabo mediante el análisis cuantitativo y cualitativo de la variable independiente y de aquellas que intervinieron circunstancialmente y que han afectado o favorecido en los resultados de la variable dependiente.

### **3.4 Población y muestra**

#### **3.4.1 Población**

Como población de estudio lo considero las reservas probadas y probables de la Compañía Minera Huarón

#### **3.4.2 Muestra**

Como muestra de estudio es la cantidad de mineral que va ser utilizado en el laboratorio para el análisis microscópicamente cuantitativa.

### **3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La microscopía óptica estudia las características estructurales de la constitución de los productos o probetas metalúrgicos con la ayuda del microscopio mineragráfico, para relacionarlos con sus propiedades físicas del mineral.

El examen microscópico proporciona información sobre la constitución del mineral, pudiéndose determinar características tales como forma, tamaño y distribución de los granos, inclusiones y microestructura metalográfica en general. La microestructura puede reflejar la historia completa del mineral.

La preparación defectuosa de las probetas puede arrancar inclusiones importantes, destruir los bordes de grano. El análisis minerográfico comprende las siguientes etapas:

- Seleccionar y corte de la muestra
- Montaje y preparación de la muestra
- Ataque de la muestra
- Análisis microscópica
- Obtención de microfotografías

La elección de la muestra o localización de la parte que va ser estudiada es decir debemos de recoger muestra de alimento de concentrado y relave. El tamaño de la probeta debe ser de una pulgada de diámetro por una pulgada de altura.

**Muestras.** Para el estudio de los minerales en el microscopio de luz reflejada se utilizan generalmente probetas pulidas que consisten en un trozo de roca o mineral embutido en una resina sintética. En ocasiones se utilizan láminas pulidas, algo más gruesas que las utilizadas en el microscopio de luz transmitida, con el fin de poder hacer simultáneamente el estudio de las fases transparentes y opacas. En cualquier caso, la superficie de la muestra debe estar perfectamente pulida para obtener la máxima reflectividad posible.

Al microscopio de luz reflejada, las fases transparentes van a aparecer de un color gris muy oscuro, debido a que reflejan solo una parte muy pequeña (<10%) de la luz que incide sobre su superficie.

Los minerales opacos van a presentar, en general, colores grises o blancos ya que reflejan un porcentaje mayor de la luz incidente (15,90%). Algunos minerales opacos pueden presentar colores distintos y definidos (azul, amarillo) pero normalmente solo vamos a observar distintos tonos que abarcan toda la gama entre el blanco y el gris.

### **3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

#### **3.6.1 Propiedades ópticas de los minerales opacos**

**Color.** La mayoría de los minerales opacos presentan un color en la gama de blanco a gris, lo que se considera como color no distinguible (galena, esfalerita, estibina etc.) otros por el contrario presentan colores bien definidos azul (covelina), amarillo (chalcopirita), rosa (niquelina). Hay que señalar que en la mayoría de los minerales el color puede variar en función de los minerales que lo rodean (así por ejemplo la pirita puede mostrar un color amarillo, si aparece en contacto con minerales de color no distinguible o blanca si está en contacto con chalcopirita) también es función de la iluminación, por lo que siempre se debe realizar esta observación del color en las mismas condiciones por último el color también depende de la calidad del pulido, siendo tanto más claro cuanto más pulido esté el mineral.

El color que presentan los minerales al microscopio de luz reflejada es una propiedad bastante subjetiva por lo que a menudo los distintos autores no coinciden al definir el color de los diferentes minerales.

**Reflectividad.** La reflectividad de una superficie pulida, en este caso de un mineral se define como el porcentaje de luz incidente que es reflejada por esa superficie. La reflectividad de un mineral opaco depende de la orientación cristalográfica de la sección que estamos observando (si el mineral es anisótropo) y de la intensidad de la luz incidente (por ello hay que estimar la reflectividad de los distintos minerales utilizando siempre la misma intensidad). La reflectividad puede medirse cuantitativamente utilizando un fotómetro acoplado al microscopio, aunque generalmente se hace una estimación cualitativa, expresando la reflectividad como alta, media o baja. Se considera reflectividad alta cuando el mineral refleja más del 50% de la luz que recibe (pirita) media entre de 25% y el 50% (calcopirita, galena), y baja si es inferior al 25% (esfalerita). En un mineral con color no distinguible si la reflectividad es alta se verá blanco brillante y gris si la reflectividad es baja (tanto más oscuro cuanto menor sea la reflectividad). Los minerales de la greda por tratarse normalmente de minerales transparentes. Reflejan un porcentaje muy bajo de la luz que incide en ellos, por lo que aparecen con colores grises muy oscuros.

**Birreflectividad y pleocroísmo de reflexión.** Cuando se observa un mineral con luz plana polarizada y se gira la platina del microscopio pueden producirse cambios en la reflectividad del mineral o en su color.

La variación en la reflectividad se denomina birrefletividad. La variación en el color (o en el tinte de gris azulado a gris) se denomina pleocroismo de reflexión. A veces se habla indistintamente de pleocroismo o birrefletividad englobando ambos fenómenos. Este fenómeno es análogo al pleocroismo de los minerales transparentes, aunque es mucho menos acentuado que en aquellos. Los minerales isótropos (y las secciones basales de los minerales uniaxiales) tienen un único valor de la reflectividad por lo que nunca van a presentar ninguna de estas propiedades.

### **3.7 Tratamiento estadístico**

Por la naturaleza del trabajo de investigación se ha omitido el tratamiento estadístico, ya que se está empleando el microscopio y el análisis químico metalúrgico para determinar nuestros resultados que después de ello para la prueba de hipótesis se harán balances metalúrgicos para saber en cuánto se ha incrementado la recuperación de zinc.

### **3.8 Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación**

- Selección de instrumentos de investigación

La presente selección de los instrumentos de investigación se realizó en función a los factores experimentales de procesamiento de mineral del concentrado de zinc, tema de estudio.

- Validación

La validación de la investigación, están dadas por el análisis químico y la caracterización del mineral, que se otorga a cada muestra a experimentar en laboratorio.



- Confiabilidad

La confiabilidad de los resultados, se basa en la experiencia del personal del laboratorio químico y metalúrgico y la correcta toma de muestras, realizadas con el mayor cuidado posible por todos los que realizamos este trabajo.

### **3.9 Orientación ética**

La Compañía Minera Huarón, ha permitido realizar la presente investigación para incrementar la recuperación de zinc y evitar que sea trasladado al relave, para ello se hizo uso del laboratorio minero-metalúrgico se ha comprado microscopio de barrido marca Leyca. Que nos está dando buenos resultados.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

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

Huarón está ubicada en el distrito de Huayllay, provincia y región de Pasco, en la vertiente de los ándes, zona central del país, a 4534 m.s.n.m.

Las vías de acceso son:

- La carretera central: Lima – La Oroya – Junín – Villa de Pasco (desvío a Huayllay).
- La carreta Lima – Canta – La Viuda – Huarón – Huayllay.
- La carretera central: Lima – La Oroya – Junín – Cerro de Pasco – Huayllay.

##### **4.1.1 Descripción de la Compañía minera Huarón**

Compañía Minera Huarón S.A., es una sociedad anónima que viene operando en la Unidad Minera Huarón en la misma zona en que la empresa francesa

denominada Peñarroya las ejerció desde 1912 hasta 1987, año en que fue vendida a Mauricio Hochschild & Cía. Ltda. S.A.C. con fecha 6 de marzo de 2000, los entonces principales accionistas de Compañía Minera Huarón S.A. Mauricio Hochschild & Cía. Ltda. S.A.C. Cementos Pacasmayo S.A.A. y Minera Arcata S.A. S.A., suscribieron un contrato de transferencia de acciones y derechos en Compañía Minera Huarón S.A. a favor de Pan American Silver Corp., desde entonces la mayor accionista de la sociedad.

**Figura N°4.1:** Vista panorámica de la Planta Concentradora Huarón



**Fuente:** Elaboración propia

#### **4.1.2 Características sociopolíticas**

El distrito de Huayllay se remonta a la época de la independencia; según el censo del 2005 cuenta con una población de 9592 habitantes en una superficie de 1026,87 kilómetros cuadrados. La minería es la actividad principal de esta localidad, seguido de la ganadería. Su potencial minero es sostenido por los yacimientos de plata, zinc, cobre y otros minerales de menor valor. La actividad agrícola está restringida por el medio geográfico, ya sea por

solicitud y el clima (su temperatura oscila entre 13,8 °C y -8 °C), por ello la agricultura no es una actividad exclusiva, aunque un cultivo que sí está repuntando los últimos años es el de la maca. Por su parte, la ganadería de Huayllay es extensiva e intensiva, debido a que el ganado es criado campo abierto, alimentándose de pastos naturales (ichu). Algunos poseen ganado camélidos sudamericanos (llamas, alpacas, etc.) y muy pocos ganados vacunos, a ello se agrega a la crianza de cuyes, ganado caprino, porcino y equino. En tanto, la producción pecuaria es individual y empresarial a través de la cría de ganado ovino.

Asimismo. La veta de arcilla en gran cantidad y calidad ha permitido que la cerámica se desarrolle con destreza u aprecio. Estos productos artísticos se trasladan a otros lugares para su comercialización. También tiene competencia en este rubro la confección de productos textiles a base de hilos y civiles como mantas, frazadas, alfombras, alforjas, fajas y ponchos. De otro lado, el turismo está cobrando repunte en esta parte del país pues aquí se encuentran el Santuario Nacional Bosque de Piedras de Huayllay, considerado el bosque geológico más grande y alto del mundo, que es visitado por miles de turistas nacionales y extranjeros. En el mes de setiembre el gobierno regional organiza el festival ecoturístico de comunidades rurales y turistas Ruraltur Huayllay donde se presenta bailes folklóricos, caminatas y campeonatos de deporte de aventura.

#### **4.1.3 Productos**

**Plata.** La plata es un metal de acuñar muy dúctil y maleable, presenta un brillo blanco metálico susceptible al pulimento. Se encuentra en la naturaleza

formando parte de distintos minerales (generalmente en forma de sulfuro) o como plata libre. Es muy escasa en la naturaleza, de la que representa una parte en 10 millones de corteza terrestre. La mayor parte de su producción se obtiene como subproducto del tratamiento de las minas de cobre, zinc, plomo y oro. La pureza de la plata de mejor grado contiene al menos 99,9 % de plata pudiéndose alcanzar purezas del 99,999%. Actualmente el mayor productor mundial de plata es el Perú, país que produjo 1181,3 millones de onzas de plata en el año 2008 desplazando a México que mantenía un liderazgo en producción por los 2 siglos. Tiene una de las más altas conductividades eléctricas de todos los metales, incluso superior a la del cobre (el productor por excelencia) pero su mayor precio ha impedido que se utilice de forma masiva en aplicaciones eléctricas. De la producción mundial de plata, aproximadamente el 70% se usa con fines monetarios, buena parte de este metal se emplea en orfebrería, y en menores cantidades en la industria fotográfica, química y eléctrica.

**Plomo.** Es un metal suave, de color azul-grisáceo, suave, denso y dúctil. El plomo rara vez se encuentra en su estado elemental, se presenta comúnmente como sulfuro de plomo en la galena. También se encuentra plomo en varios metales de uranio y de torio, ya que proviene directamente de la desintegración radiactiva (decaimiento radioactivo). Los minerales comerciales pueden contener tan poco plomo como el 3%, pero lo más común es un contenido de poco más o menos del 10%. Los minerales se concentran hasta alcanzar un contenido de plomo de 40% o más antes de fundirse o ceder ante la presencia de fuentes de calor externo. El uso más amplio del

plomo, como tal, se encuentra en la fabricación de acumuladores, otras aplicaciones importantes son la fabricación de tetraetilo de plomo, forros para cables, elementos de construcción, pigmentos, soldadura suave, municiones, plomadas para pesca y también en la fabricación de soldaditos de juguete hasta para hacer tubos órganos musicales. Durante mucho tiempo se ha empleado el plomo como pantalla protectora para máquinas de rayos X. en virtud de las aplicaciones cada vez más amplias de la energía atómica, se han vuelto cada vez más importantes las aplicaciones del plomo como blindaje contra la radiación.

**Cobre.** Fue uno de los primeros metales en ser utilizado por el ser humano en la prehistoria. Aunque su uso perdió importancia relativa con el desarrollo de la siderurgia, el cobre y sus aleaciones siguieron siendo empleados para hacer objetos tan diversos como monedas, campanas y cañones. A partir del siglo XIX, concretamente con la invención del generador eléctrico en 1831 por Faraday, el cobre se convirtió de nuevo en un metal estratégico, al ser la materia prima principal de cables e instalaciones eléctricas. Se trata de un metal de transición de color rojizo y brillo metálico, se caracteriza por ser un buen conductor de electricidad. Gracias a su alta conductividad eléctrica, ductilidad y maleabilidad, se ha convertido en el material más utilizado para fabricar cables eléctricos y otros componentes eléctricos y electrónicos. El cobre forma parte de una cantidad muy elevada de aleaciones que generalmente presentan mejores propiedades mecánicas, aunque tienen una conductividad eléctrica menor. Las más importantes son conocidas con el nombre de bronce y latones. Por otra parte, el cobre es un metal duradero porque se puede reciclar un número casi ilimitado de veces sin que pierda sus

propiedades mecánicas. El cobre es el tercer metal más utilizado en el mundo, por detrás del acero y el aluminio. La producción mundial de cobre refinado se estimó en 15,8 Mt en el 2006, con un déficit de 10,7% frente a la demanda mundial proyectada de 17,7 Mt.

**Zinc.** es un metal de color blanco azulado que arde en aire con llama verde azulada. El zinc es el 23° elemento más abundante en la corteza terrestre. Las minas más ricas contienen cerca de un 10% de hierro y entre el 40 y 50% de zinc. Las reservas mundiales demostradas cuya explotación es económica ascienden a casi 220 millones de toneladas, repartiéndose más de la mitad a partes iguales entre EE. UU., Australia, China y Kazajistán. Las reservas conocidas (incluyendo aquellas cuya explotación no es hoy día económica) rozan los 2000 millones de toneladas. La producción minera mundial fue en el 2003, según datos de la agencia de prospecciones geológicas estadounidense (US Geological Survey) de 8,5 millones de toneladas, liderada por China con el 20% del total y Australia con el 19%. Se estima que cerca de un tercio del zinc consumido es reciclado (secundario). El metal presenta una gran resistencia a la deformación plástica en frío que disminuye en caliente, lo que obliga a laminarlo por encima de los 100 °C. la principal aplicación del zinc (cerca del 50% del consumo anual) es el galvanizado del acero para protegerlo de la corrosión, protección efectiva incluso cuando se agrieta el recubrimiento ya que el zinc actúa como ánodo de sacrificio. Otros usos incluyen:

- Baterías de Zn-AgO usadas en la industria aeroespacial para misiles y cápsulas especiales por su óptimo rendimiento por unidad de peso y baterías Zinc-aire para computadoras portátiles.
- Piezas de fundición inyectada en la industria de automoción.
- Metalurgia de los metales preciosos y eliminación de la plata del plomo.

#### **4.1.4 Operaciones en Compañía Minera Huarón**

Compañía Minera Huarón S.A. es una sociedad anónima que viene operando la Unidad Minera Huarón en la misma zona en que la empresa francesa denominada Peñarroya las ejerció desde 1912 hasta 1987, año en que fue vendida a Mauricio Hochschild & Cia. Ltda. S.A.C. con fecha 6 de marzo de 2000, los entonces principales accionistas de Compañía Minera Huarón S.A., Mauricio Hochschild & Cia. Ltda. S.A.C., Cementos Pacasmayo S.A.A. y Minera Arcata S.A., suscribieron un contrato de transferencia de acciones y derechos en Compañía Minera Huarón S.A. a favor de Pan American Silver Corp., desde entonces la mayor accionista de la sociedad. El 15 de diciembre de 2012 se cambia la razón social a Pan American Silver Huarón S.A. El trabajo de investigación presentado como tesis se ha desarrollado en la Planta Concentradora de la Sociedad Minera El Brocal ubicado en el distrito de Tinyahuarco Provincia y Región de Pasco. En las áreas de chancado, molienda y flotación. Implementando las herramientas necesarias del sistema de gestión ambiental y de esa manera evitar los accidentes de trabajo. Las normas internacionales conocidos como ISO y nuestras normas como Decreto supremo 005 hacen que sean aplicables y el personal sea obrero u profesionales puedan dar pleno cumplimiento. El compromiso de los



trabajadores al momento de saber de qué se está empezando a elaborar el plan de investigación han decidido apoyar en forma incondicional y así fue, dieron mayor interés en las inducciones y pidieron que sus esposas asistan para que también sepan de que se trata.

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

### **4.2.1 Procedimiento**

Se tomó 500 gramos de muestra del composito mensual previamente homogenizada el concentrado de Zinc para realizar las mallas valoradas, también se tomó un aproximado de 50 gr de muestra de Zinc para su respectiva preparación de briqueta.

Los 500 g se procedió a deslamar con la malla N° +400 (38 micrones) el retenido de la malla y la -400 se llevó a secado luego se envió al laboratorio químico para su respectivo ensaye. También se procedió a deslamar los 50 g tomados con la malla N° +400 (38 micrones) luego se hizo secar la muestra de la malla N°+400 y se elaboró una briqueta con una cantidad de 12 gramos de muestra, 15 cc de resina y 20 gotas de peróxido finalmente se llevó a la sección de pulida.

Obtenida la sección pulida se realizó el estudio bajo el microscopio a luz reflejada.

### **4.2.2 El estudio**

**Identificación de la muestra.** El análisis químico de la muestra compósito de enero se puede ver en la siguiente tabla:

**Tabla N°4.1**

*Compósito mineral de Zinc*

N°	Ag g/T	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	As %	Sb %	Mn %	Bi %
Conc. Zn	337,2	1,53	0,97	46,34	8,65	0,22	1,47	0,02	0,09

**Fuente:** Elaboración propia

De los datos de ensaye químico del cuadro anterior se desprende el siguiente comentario respecto al concentrado de Zinc:

- El contenido de cobre en el concentrado de zinc es regular considerando una cabeza respecto al mineral mixto.
- El ensaye del contenido de plomo es bajo en el concentrado de zinc considerando una cabeza respecto al mineral mixto.
- El ensaye de la plata en el concentrado de zinc es de 337.2 gr/Tn es alto, siendo una oportunidad importante de mejora para minimizarlo en el concentrado de zinc.

#### **4.2.3 Caracterización mineralógica**

Microscopia cualitativa del concentrado de Zinc

El estudio metalúrgico con microscopia óptica cualitativa del alimento y productos de flotación de la planta concentradora de Huarón, en el procesamiento de minerales polimetálicos de Pb, - Cu – Ag y Zn, siempre ha tenido la intención de obtener calidades y recuperaciones en la cual, la microscopía óptica cualitativa nos ayuda a implementar nuevas alternativas operacionales como la necesidad de una buena molienda de 50,0% a 55,0% -200 mallas, debido a la alta asociación de Cu/Zn, Zn/Fe. El análisis bajo el

microscopio a luz reflejada determina la presencia de las siguientes especies mineralógicas:

**Tabla N°4.2**

*Microscopía cualitativa del mineral de Zinc*

Especies Mineralógicas	Abreviaturas	Fórmula Química	Peso Específico
<b>Especies Mayores</b>			
Esfalerita Normal	ef	ZnS	4,2
Esfalerita del tipo 2	ef2	ZnS-CuFeS <sub>2</sub>	4,2
Esfalerita del tipo 5	ef5	SFAg-CuFeS <sub>2</sub>	4,2
Cobres grises	CuGRs	Variado	4,8
Pirita	Py	FeS <sub>2</sub>	5
Pirita en esfalerita	Py/ef		4,5
Pirita en ganga	ef/GGs		4,5
<b>Especies Menores</b>			
Chalcopyrita	Cpy	CuFeS <sub>2</sub>	4,2
Ganga	GGs	Variado	2,7
Mixto	– Ggs/ef		
Ganga/Esfalerita			
Mixto – Pirita/Esfalerita	Py/ef		
Sulfosal de plata en pirita			
Sulfosal de plata en ganga			
Sulfosal de plata	SFAg	CuAsSb-Ag	4,2

Mixto	– Py/Cpy		
pirita/Chalcopyrita			
Mixto – pirita/sulfosal de plata	Py/SFAG		
Chalcopyrita en pirita	Cpy/py		
Mixto	- Cpy/SFAG		
Chalcopyrita/sulfosal			
Triple mixto	Py/Cpy/SFAG		
<hr/>			
Especies Escasos			
<hr/>			
Galena	gn	PbS	7,2
Mixto	– ef/Cpy		
Esfalerita/Chalcopyrita			
Mixto	– ef/SFAG		
Esfalerita/Sulfosal			
Mixto – Ganga/Sulfosal	GGs/SFAG		
Mixto	– GGs/Cpy		
Ganga/Chalcopyrita			
Mixto	Py/ef2		4,2
Mixto	Py/ef5		4,2
Triple mixto	Py/GGs/ef		
Triple mixto	Py/GGs/SFAG		
Triple mixto	Py/GGs/Cpy		

Una descripción resumida del concentrado de Zinc es el siguiente:

- Mineral de cobre presente es calcopirita el cual se encuentra libres y mixtos con diferentes especies mineralógicas.
- Mineral de zinc presente es la Esfalerita Normal, Esfalerita del tipo 2 (finas de calcopirita con inclusiones en esfalerita normal) y Esfalerita del tipo 5 (finas de sulfosales de plata con inclusiones en esfalerita Normal) los cuales se observan libres y ocasionalmente en mixtos con ganga.
- Mineral de plata son sulfosales que se encuentran libres con diferentes especies mineralógicas.
- Los contenidos de cobres grises son portadores de plata y también contienen arsénico y antimonio, pero resalta el alto contenido de plata.
- Mineral de plomo presente en la galena el cual se encuentran libres en mínimas cantidades.
- Mineral de sulfuro de hierro se observa principalmente pirita el cual se encuentra libres y mixtos con las diferentes especies presentes en el concentrado de Zinc.
- Presencia de ganga se encuentran libres y adicionalmente con inclusiones de esfalerita y sulfosales de plata.

### **4.3 Prueba de hipótesis**

La presente investigación se refiere al estudio mineragráfico realizado a la muestra de mineral sulfurado de zinc y sulfosal de plata, obtenidas del composito del concentrado de Zinc, para poder identificar las especies mineralógicas presentes.

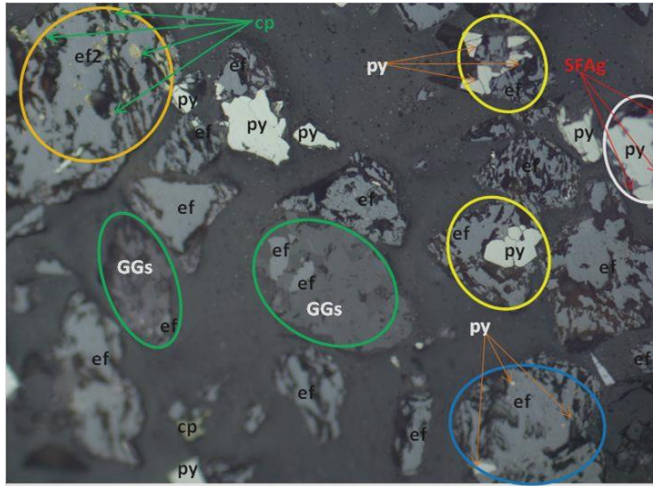
Para este trabajo se realizó un composito, luego se procedió a elaborar la briqueta con la muestra de la malla + 400.

Donde se pudo observar lo siguiente:

- En general en las imágenes de la muestra se aprecian presencia de gran cantidad de mixtos de esfalerita con sulfosales de plata, incrustaciones de calcopirita en la esfalerita siendo este el motivo del desplazamiento de cobre al concentrado de zinc, también se observan mixtos de pirita - esfalerita, y gran cantidad de esfalerita libre.
- La presencia principal del mineral de zinc, está como esfalerita que en las imágenes las apreciamos en mayor cantidad libre y en mixtos con calcopirita, sulfosales de plata y ganga.
- En general en las imágenes de la muestra se aprecian presencia de gran cantidad de mixtos de esfalerita con pirita, esfalerita con ganga, galena con calcopirita, galena con esfalerita, esfalerita con sulfosales de plata (cobre gris), presentes en amarres, mixtos e inclusiones estos últimos difíciles de liberar.
- La presencia principal del mineral de zinc, está como esfalerita, el cobre como calcopirita, la pirita, la plata en sulfosales (cobre gris), que en este caso las tenemos en mixtos con la esfalerita.
- Se concluye que a 65% malla -200 existe la falta liberación de los valores plata –zinc – plomo – cobre.

#### **4.3.1 Fotografías del concentrado de zinc**

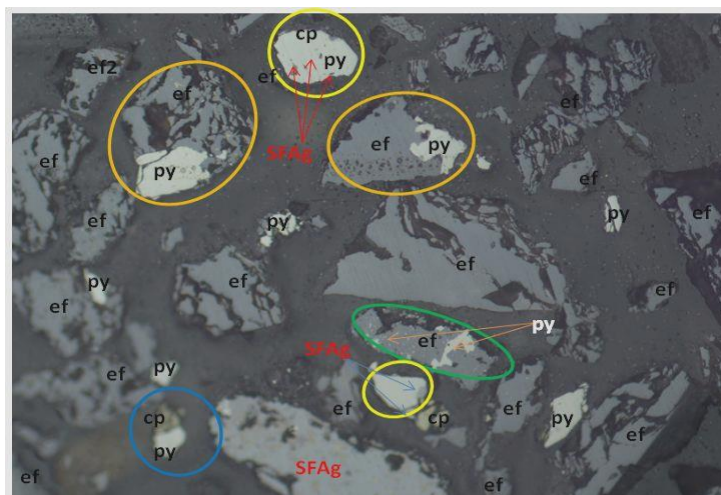
**Fotografía N°4.2: Vista de la superficie de la probeta de opacos malla -200**



Fuente: Elaboración propia

En la imagen se observa dentro de los círculos amarillos partículas mixtas de esfalerita-pirita (**ef/py**), dentro del círculo azul partículas finas de hierro con disminuciones en esfalerita, dentro del círculo verde mixto de esfalerita-ganga (**ef/GGs**), dentro del círculo blanco inclusiones de sulfosal de plata en pirita (**SFAg-py**) y dentro del círculo anaranjado partícula de esfalerita del tipo 2 (finas de calcopirita con disminuciones en esfalerita) (**ef2**). Completando la vista se observa partículas libres de esfalerita normal (**ef**), calcopirita (**cp**), pirita (**py**) y partículas insolubles (**GGs**).

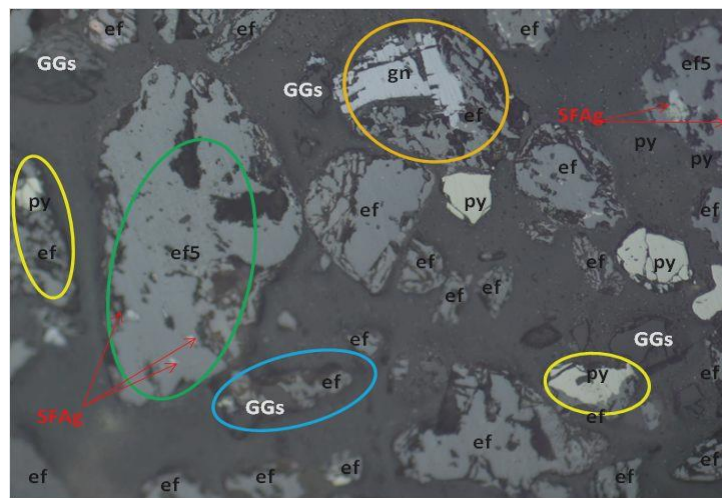
Fotografía N°4.3: Vista de la superficie de la probeta de opacos



Fuente: Elaboración propia

En la imagen se observa dentro de los círculos anaranjados partículas mixtas de esfalerita-pirita (**ef/py**), dentro del círculo verde partículas finas de hierro incrustado en esfalerita, dentro de los círculos amarillos inclusiones de sulfosales de plata en pirita (**SFAg-py**) y dentro del círculo azul mixto de calcopirita-pirita (**cp/py**). Completando la vista se observa partículas libres de esfalerita normal (**ef**), calcopirita (**cp**), sulfosales de plata (**SFAg**), pirita (**py**) y partículas insolubles (GGs).

**Fotografía N°4.4: Vista de la superficie de la probeta de opacos**



**Fuente: Elaboración propia**

En la imagen se observa dentro de los círculos amarillos partículas mixtas de esfalerita-pirita (**ef/py**), dentro de los círculos verdes partículas de esfalerita del tipo 5 (finas de sulfosales de plata con disminuciones en esfalerita) (**ef5**), dentro del círculo celeste mixto de esfalerita-ganga (**ef/GGs**) y dentro del círculo anaranjado partícula de mixto de galena-esfalerita (**gn/ef**). Completando la vista se observa partículas libres de esfalerita normal (**ef**), pirita (**py**) y partículas insolubles (GGs).



## 4.4 Discusión de resultados

### 4.4.1 Análisis microscópico cuantitativo

Los siguientes aspectos generales son aplicables para el estudio de los minerales opacos de todas las muestras.

Los resultados cuantitativos (volumen %) son presentados en una tabla de compendio que incluye las fracciones estudiadas. En dicha tabla se consigna, separadamente los porcentajes de abundancia (volumen %) de las especies minerales presentes, tanto bajo la forma de **partículas libres** (en las que una especie mineral constituye más del 90% del área de la partícula), como bajo la forma de **partículas mixtas** (constituidas por la asociación de dos o más especies mineralógicas y donde cada una de esta ocupa no menos del 10 % del área total). Una presentación similar o aunque algo más simplificado, se ha aplicado en el caso de los resultados cuantitativos en sección delgada. Como es conocido, los porcentajes de volumen pueden ser fácilmente convertidos en porcentaje de peso, utilizando las densidades de cada una de las especies de mineral correspondiente.

Adicionalmente el estudio microscópico cuantitativo permite la caracterización morfológica de cada partícula mixta, mediante la determinación simultánea de los porcentajes del área y de periferia ocupados por cada especie de mineral participante; con tales datos se ha calculado el grado de liberación parcial promedio, correspondiente a cada especie de mineral en cada tipo de partícula mixta (de esta manera, el grado de liberación parcial resulta un indicador de la aptitud de reacción de cada una de las especies de minerales que aparecen asociadas). Los grados de

liberación parcial de las partículas mixtas y de las partículas libres (cuyo grado de liberación parcial se consideran lógicamente como 100) ponderados por los porcentajes de abundancia respectivos, permite calcular el grado de liberación total (G.L) para cada especie de mineral, calculo que se efectúa malla por malla (el G.L. resulta así una expresión cuantificada de como varia la liberación de una especie mineral de una malla a otra, en función del tamaño de grano).

Durante el conteo estadístico de partículas minerales bajo el microscopio, todas aquellas ópticamente transparentes han sido agrupadas bajo la denominación gangas. El presente estudio se debe caracterizar que hay especies de partículas mixtas, diseminación de sulfosales y esfaleritas en pirita y ganga. En la tabla siguiente expresa el estudio de microscopia cuantitativa con el sistema de grado de liberación.

**Tabla N°4.3:**

*Estudio de microscopia cuantitativa con el sistema de grado de liberación*

NOMBRE	N. Part	% Vol	ef	cp	ef2	ef5	SFAG	gn	py	GGs	ef-GGs	py-ef	SFAG-py	SFAG-GGs	cp-py	SFAG-cp
ef	754	62.89	62.89													
			100.00													
cp	15	1.25		1.25												
				100.00												
ef2	38	3.17			3.17											
					100.00											
ef5	27	2.25				2.25										
						100.00										
SFAG	17	1.42					1.42									
							100.00									
gn	5	0.42						0.42								
								100.00								
py	100	8.34							8.34							
									100.00							
GGs	24	2.00								2.00						
										100.00						
ef-GGs	28	2.34									2.34					
											100.00					
py-ef	30	2.50										2.50				
												100.00				
SFAG-py	39	3.25											3.25			
													100.00			
SFAG-GGs	26	2.17												2.17		
														100.00		
cp-py	4	0.33													0.33	
															100.00	
SFAG-cp	9	0.75														0.75
																100.00
PARCIAL	1116	93.08	62.89	1.25	3.17	2.25	1.42	0.42	8.34	2.00	2.34	2.50	3.25	2.17	0.33	0.75
			ef	cp	ef2	ef5	SFAG	gn	py	GGs	ef-GGs	py-ef	SFAG-py	SFAG-GGs	cp-py	SFAG-cp
PARTICULAS MIXTAS																
GGs/ef	20	1.67	0.68							0.99						
			12.30							33.80						
py/ef	33	2.75	1.23						1.53							
			20.61						31.21							
py/gn	1	0.08						0.07	0.02							
								12.00	42.00							
py/SFAG	10	0.83					0.38		0.45							
							22.10		37.10							
py/cp	6	0.50		0.25					0.25							
				27.33					34.00							
ef/cp	1	0.08	0.05	0.03												
			42.00	12.00												
ef/SFAG	1	0.08	0.04				0.04									
			25.00				25.00									
GGs/SFAG	1	0.08					0.04			0.04						
							20.00			30.00						
GGs/cp	2	0.17		0.08						0.09						
				16.00						36.00						
py/ef2	1	0.08			0.04				0.04							
					25.00				25.00							
py/ef5	2	0.17				0.07			0.10							
						14.00			39.00							
py/GGs/ef	1	0.08	3.34						0.02	0.03						
			8.00						4.00	24.00						
py/GGs/SFAG	1	0.08					0.03		0.01	0.05						
							6.00		1.00	42.00						
cp/SFAG	1	0.08		0.05			0.03									
				42.00			12.00									
py/ef/cp	1	0.08		0.03					0.04	0.01						
				12.00					25.00	2.00						
py/cp/SFAG	1	0.08		0.03			0.03		0.03							
				12.00			11.00		14.50							
% Volumen	1199	100.00	68.22	1.72	3.21	2.32	1.97	0.48	10.82	3.22	2.34	2.50	3.25	2.17	0.33	0.75
Peso Especifico			4.2	4.2	4.2	4.2	4.8	7.2	5	2.7	4.2	4.5	4.5	4.5	4.5	6
% Peso	100.00		64.50	1.62	3.04	2.19	2.13	0.78	12.18	1.96	2.21	2.53	3.30	2.20	0.34	1.01
GRADO DE LIBERACION			93.36	78.43	99.03	97.53	71.9	86.21	83.28	76.14	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
			ef	cp	ef2	ef5	SFAG	gn	py	GGs	ef-GGs	py-ef	SFAG-py	SFAG-GGs	cp-py	SFAG-cp

Fuente: Elaboración propia

De la tabla N°4.3, el resultado del análisis microscópico cuantitativo permite hacer la discusión de resultados:

## Grado de liberación

La tabla N°4.4, es un resumen del grado de liberación de las distintas especies mineralógicas:

**Tabla N° 4.4**

*Grado de liberación*

<b>Especies</b>	<b>Grado de liberación</b>
ef	93,36
Cpy	78,43
ef2	99,03
ef5	97,53
SFAg	71,88
gn	86,21
Py	83,28
GGs	76,14
ef-GGs	100,00
Py-ef	100,00
SFAg-Py	100,00
SFAg-GGs	100,00
Cpy-Py	100,00
SFAg-Cpy	100,00

**Fuente:** Elaboración propia

De acuerdo al concepto consistente en el Grado de Liberación 70 es un compósito de partículas (libres y mixtas) consideradas típicamente liberadas y aptas para flotación se establece lo siguientes:

- ✓ La característica del concentrado de zinc es que las especies están en su gran mayoría libres todos superan el valor de 70%\*, por lo tanto, este concentrado significa que es flotable.
- ✓ Los sulfuros de zinc presentes en este concentrado son la esfalerita normal (ef), esfalerita del tipo 2 (ef2) y esfalerita del tipo 5 (ef5) en su mayoría están libres alcanzando el grado de liberación mayor a 70.
- ✓ Los sulfuros de plomo (galena) presentes en el concentrado de zinc en su mayoría se encuentran libres.
- ✓ Los minerales de plata presentes fueron observados como sulfosales también presentes con un grado de liberación de (G.L. 71,88%).
- ✓ En el caso de minerales de cobre como la calcopirita alcanzan un grado de liberación (G.L. 78,43%).
- ✓ Los sulfuros de hierro presentes en el concentrado de Zinc, también se encuentran mixtos con diferentes especies mineralógicas.
- ✓ Las partículas no valiosas en su mayoría también se encuentran libres con grado de liberación de (G.L. 76,14%).

#### **Porcentaje en volumen a % en peso**

**Tabla N°4.5**

*Conversión de volumen a peso*

<b>Especies</b>	<b>Conversión de volumen a peso</b>			
	<b>% Volumen</b>	<b>P.e.</b>	<b>Factor</b>	<b>% Peso</b>
ef	68,22	4,2	286,50	64,50

Cpy	1,72	4,2	7,22	1,62
ef2	3,21	4,2	13,49	3,04
ef5	2,32	4,2	9,74	2,19
SFAg	1,97	4,8	9,47	2,13
gn	0,48	7,2	6,48	0,78
Py	10,82	5,0	54,11	12,18
GGs	3,22	2,7	8,69	1,96
ef-GGs	2,34	4,2	9,81	2,21
Py-ef	2,50	4,5	11,26	2,53
SFAg-Py	3,25	4,5	14,64	3,30
SFAg-GGs	2,17	4,5	9,76	2,20
Cpy-Py	0,33	4,5	1,50	0,34
SFAg-Cpy	0,75	6,0	4,50	1,01
<b>Total</b>	<b>100,00</b>		<b>444,16</b>	<b>100,00</b>

**Fuente:** Elaboración propia

Respecto del contenido en peso de cada especie mineralógica de la muestra del concentrado de zinc se puede comentar los siguientes:

- ✓ Los porcentajes en volumen multiplicados por sus correspondientes pesos específicos y divididos entre 100 determinan el peso específico de la cabeza en estudio.
- ✓ Los valores de zinc son esfalerita normal de inclusiones, (inclusiones de sulfosal de plata en esfalerita normal) (ef5) y (inclusiones de calcopirita en esfalerita normal) (ef2) todos suman  $64,50+3,04+2,19 = 69,73$  % en peso, entonces de los valores de zinc presentes en el concentrado  $64,50*100/69,73 = 92,50$  % son esfalerita normal, 4,36 % ef5 y el 3,14 % es ef2.
- ✓ Los valores de plata indebidamente presentes en el concentrado de zinc son cobre gris (CuGRs) y sulfosales (SFAg) que en total suman 2,13 % en peso.
- ✓ Los sulfuros de hierro presentes en el concentrado de zinc son pirita, pirrotita y arsenopirita, ambas representan 12,18 % en peso de la muestra total del concentrado de zinc.
- ✓ El contenido de plomo en el concentrado de zinc está representado por 0,78 % en peso de galena.
- ✓ Los insolubles o gangas son del orden de 1,96 % en peso.

### **Asociaciones más importantes**

Es importante analizar si la presencia de los mixtos frecuentes en el concentrado de zinc tiene opción de mejorar la liberación. Para eso el grado de liberación en el mixto deberá ser mayor a 10.

En el cuadro siguiente se ha seleccionado cuatro mixtos que en porcentaje en volumen representan  $5,75*100/6,84 = 84,15$  % de los mixtos totales.

**Tabla N°4.6***Presentación de los mixtos*

% Peso	% Volumen	% Relativo	Grado de liberación de Mixto			
			ef	Py	SFAg	GGs
GGs/ef	1,67	28,99	12,30	--	--	33,80
Py/SFAg	0,83	14,49	--	--	16,00	36,00
Ef/Py	2,75	47,83	20,61	31,21	--	--
Py/Cpy	0,50	8,70		34,00	27,33	--
<b>TOTAL</b>	<b>5,75</b>	<b>100,00</b>	<b>32,91</b>	<b>65,21</b>	<b>43,33</b>	<b>69,80</b>

**Fuente:** Elaboración propia

Del cuadro de los mixtos se puede comentar lo siguientes:

- El mixto más frecuente observado es (**ef/py**) constituye casi la mitad (relativamente 47,83%) que los otros mixtos dobles, el grado de liberación en ambos casos es mayor que 10 lo que nos indica que no se trata de amarres muy íntimos y por el contrario la liberación se puede mejorar con remolienda adicional.
- Es posible mejorar la remolienda ya que el GL de esfalerita en este mixto (**GGs/ef**) es de 28,99 %, mayor a GL 10.
- En el caso de los mixtos observados de (**py/SFAg**) (relativamente 14,49 %) el grado de liberación en ambos casos es mayor a 10 lo que nos indica que no se trata de amarres muy íntimos y por el contrario la liberación se puede mejorar con remolienda adicional.



- Es importante calcular el grado de liberación ponderado para las especies que acompañan a la esfalerita en los mixtos más frecuentes. En el ejemplo el resultado es  $15,74 = (28,99 \times 12,30 + 14,49 \times 16 + 47,83 \times 20,61)$ . El resultado indica que los mixtos del concentrado de zinc necesitan ser liberados por remolienda adicional por tener G.L. mayor a 10.
- En general, el promedio de liberación de la esfalerita en los mixtos más importantes es mayor a 10 (G.L. 25,01), significando que es posible lograr una mejor liberación de esfalerita para que la flotación sea más selectiva e influya directamente en la recuperación y grado de esfalerita en el concentrado de zinc.

#### **4.4.2 Balance metalúrgico antes y después de la investigación**

Teniendo en cuenta la gran importancia que tiene los balances al proporcionar datos que dan cuenta de la operación de la planta y cada componente de su proceso, a través de la evaluación del balance se puede verificar cuando uno de los componentes no está operando eficientemente o su control no es adecuado, en los casos que se dan como antecedentes de los balances que no cumplen eficientemente los objetivos básicos necesarios para la planta, como son el método convencional de masa y el método matricial.

El balance debe de permitir estudiar el comportamiento de la planta en una amplia gama de condiciones de operación y en cualquier situación que implique una evolución del estado de la planta permitiendo, por ejemplo, evaluación de falla de equipos, cambios en las condiciones de operación de la planta, evaluación de estrategias de control y optimización.

Después de haber analizado el comportamiento del zinc microscópicamente es necesario realizar el balance metalúrgico para observar el comportamiento del zinc cada día después de ir ajustando el tiempo de molienda y observando a través del microscopio el grado de liberación de las partículas. En las siguientes tablas haremos el análisis correspondiente

**Tabla N°4.7**

*Balance metalúrgico antes de la investigación*

Producto	TMS	L E Y E S			CONTENIDOS			DISTRIBUCIÓN (%)			Ratio
		Ag onz/TM	% Pb	% Zn	Ag	Pb	Zn	Ag	Pb	Zn	
<b>CABEZA</b>	<b>116,712</b>	8,55	3,48	2,78	997,89	4,06	3,24	100,00	100,00	100,00	
<b>CONC. PB</b>	9,793	<b>83,89</b>	<b>36,75</b>	1,97	821,57	3,60	0,19	<b>90,36</b>	<b>88,61</b>	5,95	<b>11,92</b>
<b>CONC. ZN</b>	4,614	3,48	1,82	<b>58,82</b>	16,06	0,08	2,71	1,77	2,07	<b>83,65</b>	<b>25,29</b>
<b>RELAVE</b>	102,304	0,70	0,37	0,33	71,61	0,38	0,34	7,88	9,32	10,41	
<b>Cab. CALC.</b>		<b>7,79</b>			909,24	4,06	3,24				

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla N°4.7, se observa que el zinc tiene un 58,82 % con un contenido metálico de 2,71 y una recuperación de 83,65 % y su ratio es de 25,29. Mientras que el plomo presenta un 36,75 como ley y su contenido metálico es de 3,60 y una recuperación de 88,61%. La presencia de ambos en el relave es 9,32% de plomo y 10,41% de zinc es muy alto, lo que significa que existe partículas mal liberadas o mixtas.

**Tabla N°4.8***Balance metalúrgico después de la investigación*

Producto	TMS	Ag onz/TM	L E Y E S		CONTENIDOS			DISTRIBUCIÓN (%)			Ratio
			% Pb	% Zn	Ag	Pb	Zn	Ag	Pb	Zn	
<b>CABEZA</b>	<b>491563</b>	8.47	3.28	2.99	4,165.18	16.12	14.72	100.00	100.00	100.00	
<b>CONC. PB</b>	31.862	<b>119.60</b>	<b>46.15</b>	1.90	3,810.84	14.70	0.61	<b>91.49</b>	<b>91.19</b>	4.11	<b>15.43</b>
<b>CONC. ZN</b>	24.219	2.44	0.86	<b>54.94</b>	59.16	0.21	13.31	<b>1.42</b>	1.29	<b>90.42</b>	<b>20.30</b>
<b>RELAVE</b>	435.482	0.68	0.28	0.18	295.17	1.21	0.80	7.09	7.52	5.47	

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla N°4.8, la recuperación del plomo es de 91,19% y del Zinc es de 90,42% se ha mejorado notablemente con la tabla anterior

**Tabla N°4.9***Balance metalúrgico después de la investigación*

<b>Producto</b>	<b>TMS</b>	<b>Ag onz/TM</b>	<b>L E Y E S</b>		<b>CONTENIDOS</b>			<b>DISTRIBUCION (%)</b>			<b>Ratio</b>
			<b>% Pb</b>	<b>% Zn</b>	<b>Ag</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Ag</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	
<b>CABEZA</b>	<b>402.014</b>	8.13	2.78	2.71	3,266.78	11.17	10.89	100.00	100.00	100.00	
<b>CONC. PB</b>	25.757	<b>114.05</b>	<b>40.46</b>	1.59	2,937.74	10.42	0.41	<b>95.04</b>	<b>93.26</b>	3.76	<b>15.61</b>
<b>CONC. ZN</b>	20.458	1.40	0.29	<b>49.22</b>	28.72	0.06	10.07	<b>0.93</b>	0.53	<b>92.48</b>	<b>19.65</b>
<b>RELAVE</b>	355.799	0.35	0.20	0.12	124.53	0.69	0.41	4.03	6.21	3.76	
<b>Cab. CALC.</b>		<b>7.69</b>			3,090.98	11.17	10.89				

**Fuente:** Elaboración propia

La Tabla N°4.9, muestra que el plomo tiene 93,26% y el zinc 92,48% de recuperación, en el relave bajo considerablemente; lo que significa que la evaluación de molienda controlada mediante la microscopía es una herramienta muy valiosa para el metalurgista.

## CONCLUSIONES

1. Las partículas valiosas están mayormente libres se observa en especial en el concentrado de zinc esfalerita de los tres tipos esfalerita normal, esfalerita del tipo2 (**ef2**) y esfalerita del tipo5 (**ef5**).
2. También se observaron partículas libres de galena (**gn**), calcopirita (**cp**), inclusiones de esfalerita en ganga (**ef-GGs**), de pirita en esfalerita (**py-ef**), de sulfosales de plata en pirita (**SFAg-Ag**), de sulfosales en ganga (**SFAg-GGs**) y mixtos de sulfosales de plata con calcopirita; todas estas partículas en menores cantidades.
3. Se observa que los sulfuros de hierros están presentes en mayor cantidad que podría ser pirita, pirrotita y arsenopirita, haciendo una comparación: el mes enero tiene el %V = 14,08 y %Peso = 15,85 y el mes de febrero él %V = 10,82 y %Peso = 12,18 lo mismo se refleja en la calidad del concentrado con 44,81 % y 46,34 % respectivamente.
4. Según el ensaye químico en el concentrado de Zinc; 337,2% de plata en el concentrado de Zinc es un valor por encima del budget considerando la ley total de zinc con la calidad de 46,34% Zinc. Igualmente, 8,65% de hierro también es alto si se considera que la ley en el concentrado de zinc es de 6% Fe. Un sistema de remolienda sería favorable, ya que se conoce que los minerales de zinc y hierro cuando están en menores tamaños son mejor deprimidos que cuando están gruesos en un circuito de flotación de Zinc.
5. Las esfaleritas tipo 2 y 5 que son difíciles de liberar por remolienda sólo representan 5,23 % en peso del total de esfaleritas del concentrado de zinc, nivel que no se considera como causa influyente para el grado de concentrado de zinc. En cambio, existen casos serios que alcanzan hasta 20% de estos desplazamientos en otros minerales tratados por flotación.

6. En el circuito bulk será posible lograr siempre que la molienda primaria esté en el nivel de 61% -malla 200 a por lo menos 59%-malla 200 y el control de remolienda; en el circuito zinc, se debería lograr con una remolienda no menos de 65% –malla 200. Con estas dos condiciones la metalurgia del zinc tendría una mejor cinética y selectividad, manteniendo una recuperación en el tiempo en rangos de 76 a 78%, con medio punto adicional de grado. De acuerdo al análisis es probable que con remolienda la recuperación de zinc va ser mayor a 78%.
7. Aplicaremos a nuestro análisis el siguiente ejercicio realizar la microscopia cuantitativa considerando cada fracción dentro del perfil granulométrico del concentrado para lo cual ejecutaremos este ejercicio para darle más consistencia a nuestra propuesta.

## RECOMENDACIONES

2. El trabajo de investigación nos ha conllevado a tener muchas interrogantes como, por ejemplo, al ser visto cada elemento en forma individual y mixtos se diferencian por sus colores característicos por lo tanto la microscopía es una herramienta muy importante para el metalurgista para deslindar responsabilidades al momento de evaluar los concentrados versus relaves.
3. Se debe de continuar con este tipo de análisis microscópica cada vez que se tiene baja recuperación para saber en qué situación se encuentra el mineral en problema.
4. La Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, en especial la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Metalúrgica, debe de adquirir microscopios para que el docente enseñe la presencia de cada elemento en el concentrado y relave.
5. Se debe de revisar la bibliografía de MSc. José Manzaneda Cabala, cuando se trata de microscopía de minerales quien hace mención a Dr. César Cánepa autor de la microscopía de los minerales.



## BIBLIOGRAFÍA

1. American Cyanamid Company, (1986) “Manual de Productos Químicos” para Minería” Impreso en México. Traducido por Ma. Elena Saucedo Loya, A. Giráldez y J.A.Gutierrez abril 1988.
2. ASTUCURI T. Venancio, (1999) "Introducción a la Flotación de Minerales" - Lima-Perú -.
3. AZAÑERO ORTIZ Ángel, (2010) “Curso de Concentración y Flotación de Minerales”, EAP Ing. Metalúrgica, UNMSM, Lima, Perú.
4. EGAS SAENZ Angel, (1985), "Evaluación de Plantas Concentradoras" 1º Edición, Lima – Perú.
6. MANZANEDA CABALA, José. (2000). “Procesamiento de minerales con Microscopía” Editorial UNI – Lima Perú.
6. QUÍMICA AMTEX S.A. (2006), “Presentación Grupo AMTEX” Simposium: Avances en Flotación de Minerales Polimetalicos, Lima –Perú.
7. QUIÑONES LAVADO, Lourdes Janet, (2010), “Mineralurgia Mineral Polimetálico Sulfurado de Pb, Cu, Y Zn” Informe Técnico.
8. SUTULOV ALEXANDER, (1963), "Flotación de Minerales". Universidad de Concepción - Instituto de Investigación Chile.

## **ANEXO**

**MATRIZ DE CONSISTENCIA**

“Análisis microscópica cuantitativa para la recuperación de zinc a nivel de laboratorio metalúrgico en la Compañía Minera Huarón – Pasco - 2019”

<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>METODOLOGÍA</b>
<b>Problema General</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis General</b>	<b>Variable Dependiente</b>	<b>Método de Investigación</b>
¿Por qué hacer el análisis microscópica cuantitativa para la recuperación de zinc a nivel de laboratorio metalúrgico en la Compañía Minera Huarón?	Analizar con el microscópica cuantitativa para recuperar el Zinc a nivel de laboratorio metalúrgico en la Compañía Minera Huarón.	Si analizamos con el microscópica cuantitativa podemos hacer la recuperación del Zinc a nivel de laboratorio metalúrgico en la Compañía Minera Huarón	Recuperación del Zinc a nivel de laboratorio metalúrgico en la Compañía Minera Huarón	Aplicada
<b>Problemas Específicos</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Hipótesis Específicas</b>	<b>Variable Independiente</b>	<b>Diseño de Investigación</b>
¿Cómo identificar los elementos por análisis químico para la recuperación del zinc?	Identificar los elementos por análisis químico para recuperar el zinc.	Si identificamos los elementos por análisis químico entonces podemos hacer la recuperación del zinc.	Análisis microscópica cuantitativa	descriptiva
¿Cómo identificar los elementos con microscopio que están presentes en la muestra de minerales para la recuperación del zinc?	Identificar los elementos con microscopio que están presentes en la muestra de minerales para recuperar el zinc.	Si identificamos los elementos con microscopio que están presentes en la muestra de minerales entonces podemos hacer la recuperación del zinc.	<b>Variables Intervinientes</b>	<b>Tipo de investigación</b>
			Variable independiente -Tipo de mineral -Mineral de esfalerita -Identificación microscópica Variable dependiente -Recuperación de zinc	Correlacional - explicativa

## **Instrumentos de recolección de datos**

- Los datos recogidos son objetivos, precisos y confiables, ya que se recogieron utilizando métodos estándares, las cuales para su interpretación se utilizaron técnicas estadísticas.
- El presente análisis estuvo basado en la recuperación del concentrado de zinc. Por lo que se recogieron datos para el presente estudio en sus diferentes etapas.

## **Equipo**

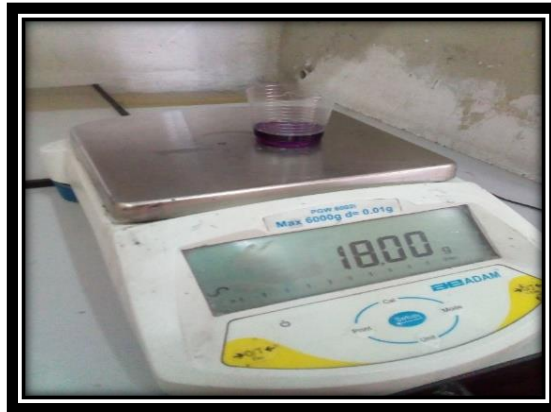
Laptop



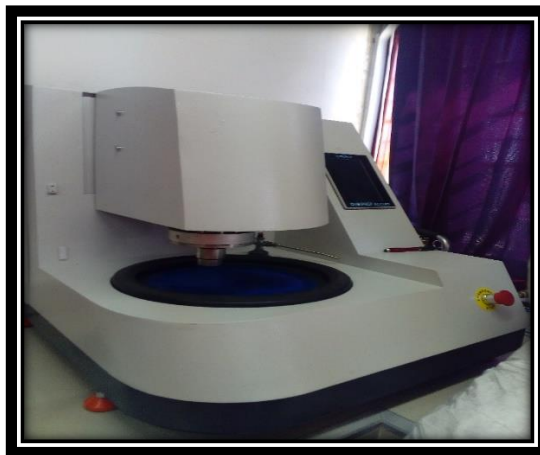
Microscopio



Balanza

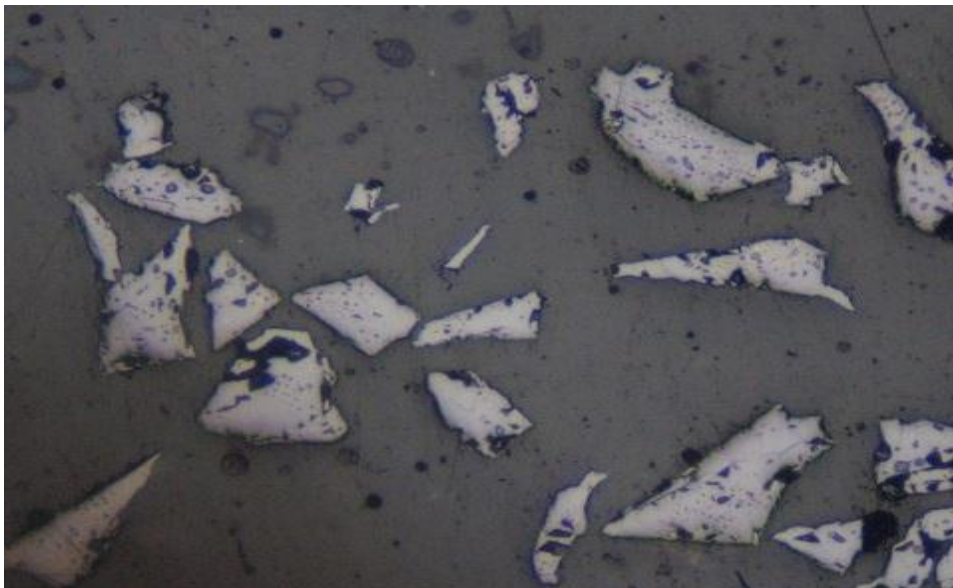


Pulidor de briqueta



**Concentrado de Zinc +400**

En la imagen se observa partículas de esfaleritas libres.



### Concentrado de Zinc +400

En la imagen en círculo rojo se observa un mixto esfalerita – galena, completando la vista partículas de esfaleritas libres.



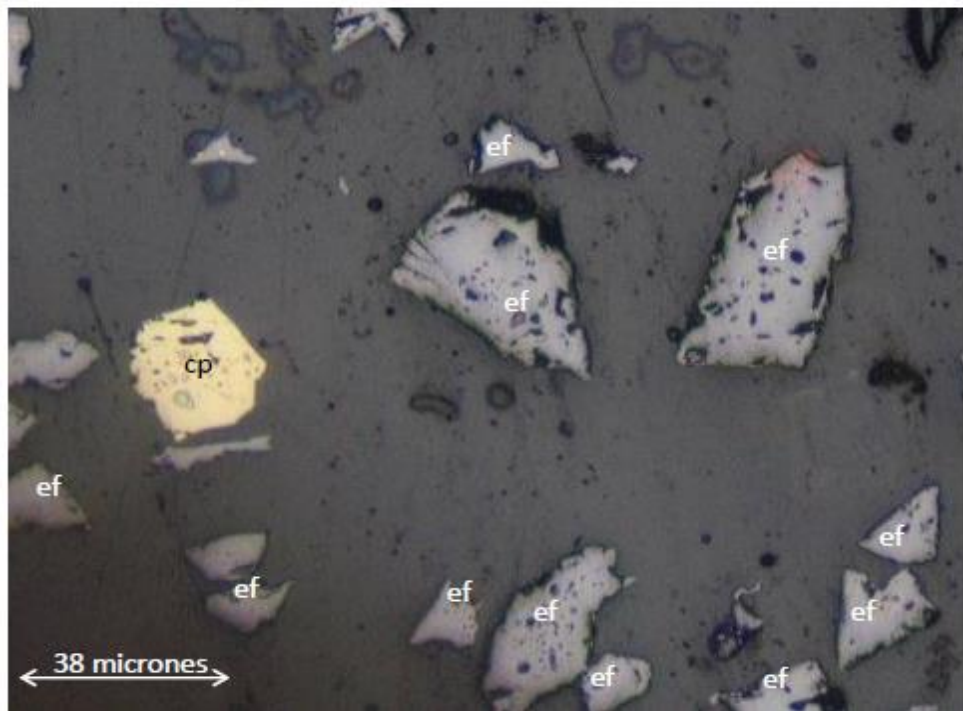
### Concentrado de Zinc +400

Encerrado en círculo amarillo se observa mixtos de esfalerita – cobre gris y en el círculo verde mixto de esfalerita – ganga también hay presencia de calcopirita, esfalerita y pirita libres.



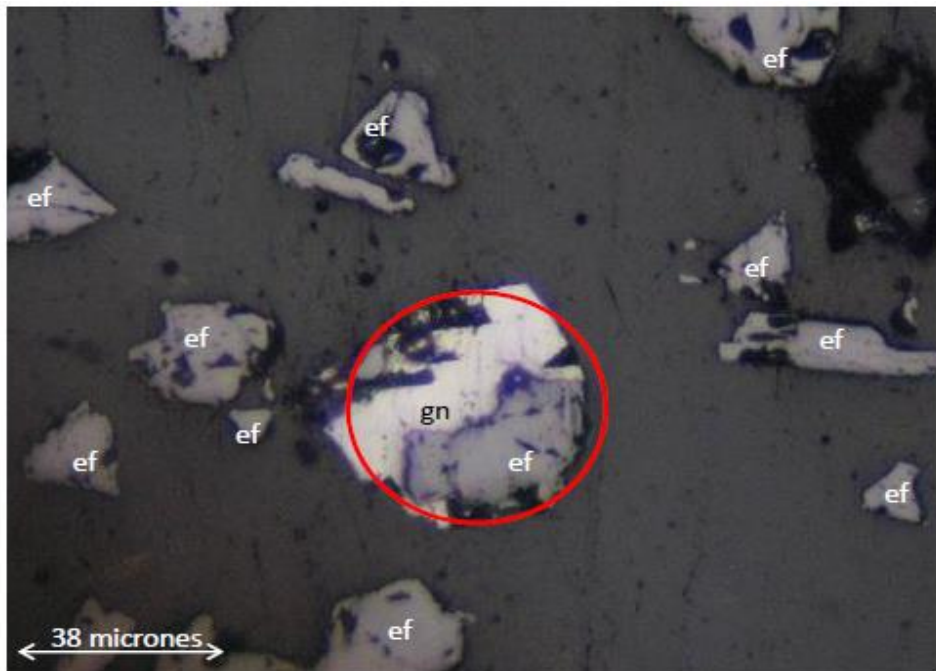
### Concentrado de Zinc +400

En la imagen se puede observar partículas de esfaleritas y calcopirita libres.



### Concentrado de Zinc +400

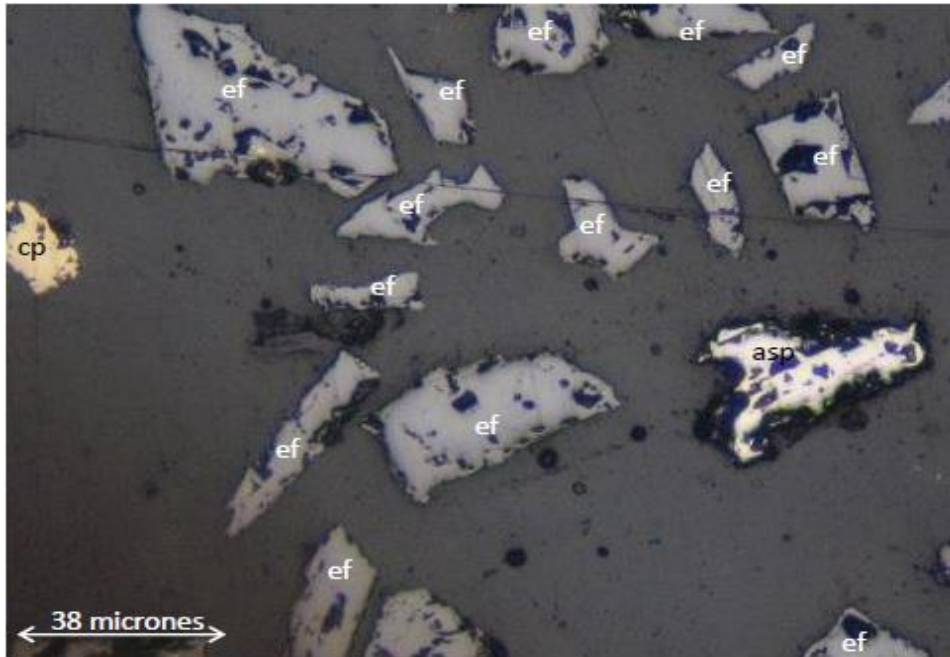
En el círculo rojo se observa mixto de esfalerita – galena, completando la imagen esfaleritas libres.





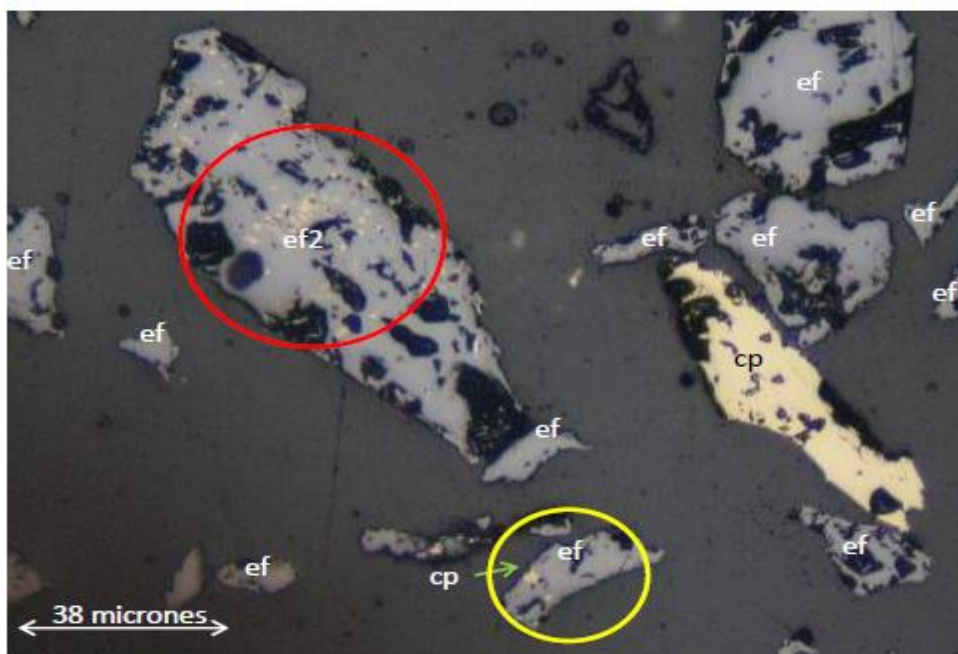
### Concentrado de Zinc +400

En la imagen se puede observar partículas de esfaleritas libres, completando la imagen calcopirita y arsenopirita liberadas.



### Concentrado de Zinc +400

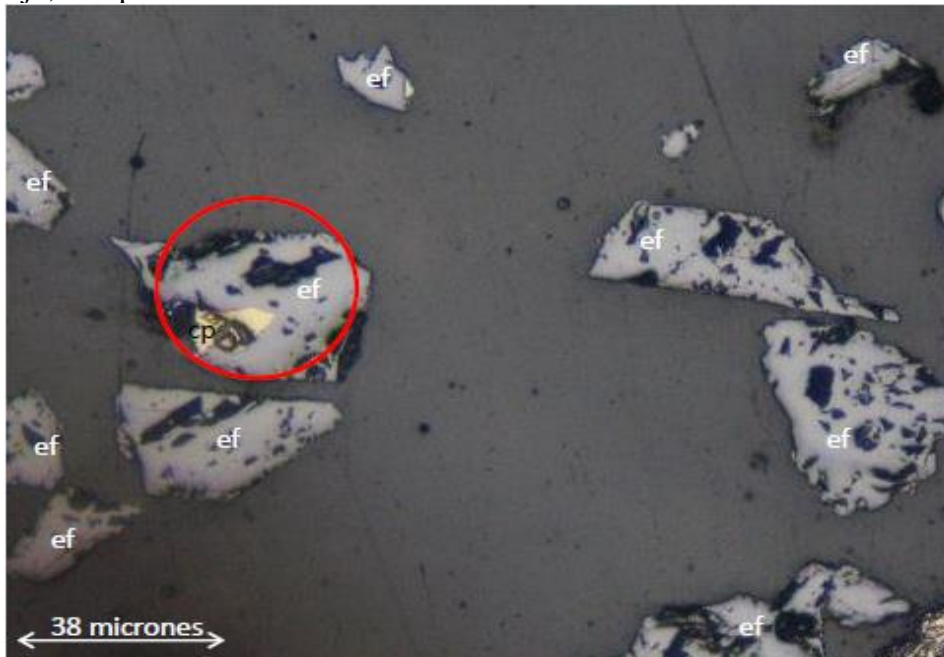
Encerrado en círculo rojo se observa partícula de esfalerita tipo 2, en círculo amarillo mixto de esfalerita – calcopirita completando la vista esfaleritas y calcopirita libres.





### Concentrado de Zinc +400

En la imagen se observa un mixto de esfalerita – calcopirita encerrado en círculo rojo, completando la vista esfaleritas libres.



### Concentrado de Zinc +400

Encerrado en círculo rojo presencia de un mixto de esfalerita – pirita, en círculo amarillo mixto de esfalerita - ganga y completando la imagen esfaleritas y piritas libres.

