

Universidad Nacional

"José Faustino Sánchez Carrión"

"Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica"

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica



Título:

**ANÁLISIS MICROSCÓPICO DE MINERALES PARA LA
IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES
MINERALÓGICOS**

TESIS

**"PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO METALURGICO"**

Autor:

MARIN COJAL KEITH RANDY

Asesor:

Dr. RUIZ SANCHEZ, BERARDO BEDER.

C.I.P. N° 26627

Huacho - Perú

2019

DEDICATORIA

Con cariño y aprecio a mis padres y hermanos, que a ellos les debo cuanto soy, por su incondicional y fiel apoyo para lograr nuestro objeto por ello cada una de las letras de este trabajo son por Ustedes.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme vivir día a día y haber hecho realidad mi Vocación Profesional.

Mi Agradecimiento a todos los docentes de la UNJFSC EAP, Ing. Metalúrgica por sus consejos y recomendaciones.

PENSAMIENTO

“El conocimiento se enorgullece de haber
aprendido tanto; la sabiduría siente la
humildad de no saber más.”

(William Cowper.)

ÍNDICE

Caratula.....	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
PENSAMIENTO	4
ÍNDICE.....	5
INDICE DE FIGURA.....	10
ÍNDICE DE TABLA	11
INDICE DE ANEXO.....	12
GLOSARIO DE ABREVIATURAS	13
RESUMEN	15
ABSTRACT.....	16
INTRODUCCIÓN	17
CAPITULO I	18
PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.....	18
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	18
1.2. Formulación del problema.	18
1.2.1. Problema general	18
1.2.2. Problema	19
1.3. Objetivos.....	19
1.3.1. Objetivos.....	19

1.3.2.	Objetivos	19
1.4.	Justificación de la investigación.	19
1.5.	Delimitación del estudio.	20
1.5.1.	Delimitación.....	20
1.5.2.	Delimitación.....	20
1.5.3.	Delimitación.....	20
1.6.	Viabilidad del estudio.	20
CAPITULO II.....		21
MARCO TEORICO.....		21
2.1.	Antecedentes de la investigación.	21
2.1.1.	Antecedentes nacionales.	21
2.1.2.	Antecedentes internacionales.....	25
2.1.3.	Otras investigaciones.	29
2.2.	Análisis Mineragráfico.....	34
2.2.1.	Minerales opacos y propiedades ópticas de los minerales.....	35
2.2.1.1.	Propiedad de los minerales con nicoles paralelos.	36
2.2.1.2.	Pleocroísmo	37
2.2.1.3.	Reflectancia	37
2.2.1.4.	Propiedad de los minerales con nicoles cruzados.....	37
a)	Anisotropía.....	38
b)	Reflexiones internas.....	38

c)	Maclas	39
2.2.2.	Microscopio.	39
2.2.3.	Tipos de microscopios.	39
2.2.4.	Microscopio electrónico de barrado y microscopio polarizado.	41
2.2.4.1.	Sistema de iluminación.....	42
2.2.4.2.	Técnica de microscopia electrónica de barrido	44
CAPITULO III.....		47
METODOLOGÍA.....		47
3.1.	Diseño metodológico.	47
3.1.1.	Tipo de Investigación.....	47
3.1.2.	Nivel de Investigación.	47
3.1.3.	Diseño de la Investigación.....	47
3.1.4.	Enfoque de la Investigación.....	48
3.2.	Población y muestra.....	48
3.2.1.	Población.....	48
3.2.2.	Muestra.	48
3.2.3.	Tamaño de Muestra.....	48
3.3.	Operacionalización de variables.	49
3.4.	Técnica e instrumento de recolección de datos.....	50
3.4.1.	Técnicas a emplear.....	50
3.4.2.	Descripción de los instrumentos.	50

3.5. Técnica para el procesamiento de la Información.	51
CAPITULO IV.....	52
RESULTADOS.....	52
4.1. Análisis de muestras.	52
4.2. Muestra de minerales.	52
4.2.1. Granulometría y composición química.....	52
4.2.2. Análisis microscópico.....	53
4.3. Muestra de concentrado de pirita cobalto.	59
4.3.1. Identificación mineralógica concentrado pirita cobalto.....	59
4.3.2. Distribución volumétrica y grados de liberación concentrado pirita cobalto.	62
4.4. Muestra de concentrado de pirrotita.	64
4.4.1. Identificación mineralógica de los minerales presentes en el concentrado de pirrotita.	64
Formula.....	65
Abreviatura	65
4.4.2. Distribución volumétrica y grados de liberación concentrado pirrotita.....	67
4.5. Muestra de concentrado de cobre R-I.	69
4.5.1. Identificación mineralógica de los minerales presentes en el concentrado de cobre R-I.	69
Formula.....	70
Abreviatura	70
4.5.2. Distribución volumétrica y grados de liberación concentrado de cobre R-I.	72

4.6. Muestra de relave final.....	75
4.6.1. Identificación mineralógica de los minerales presentes en el relave fina.....	75
Formula.....	76
Abreviatura	76
4.6.2. Distribución volumétrica y grados de liberación en el relave final.	77
CAPITULO V.....	79
DISCUSIÓN CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
5.1. Discusión.....	79
5.2. Conclusiones.	81
5.3. Recomendaciones.	82
BIBLIOGRAFÍA	83
ANEXO.....	87

INDICE DE FIGURA

Figura 1 Propiedades ópticas en relación con la luz	36
Figura 2 Clasificación de microscopio usando en el estudio de los minerales	40
Figura 3 Mineral fracción +48m 100 micras	53
Figura 4 Mineral fracción +1000m 100 micras	54
Figura 5 Mineral fracción +2000m 50 micras	54
Figura 6 Mineral fracción +4000m 50 micras	55
Figura 7 Mineral fracción -4000m 50 micras	55
Figura 8 Identificación de los minerales presentes a 500X de concentrado pirita cobalto foto1-3.....	59
Figura 9 Identificación de los minerales presentes a 500X de concentrado pirita cobalto foto 4-6	59
Figura 10 Identificación de los minerales presentes a 500X de concentrado pirita cobalto foto7-9.....	60
Figura 11 Identificación de los minerales presentes a 500X de concentrado pirrotita foto1.-3	64
Figura 12 Identificación de los minerales presentes a 500X de concentrado pirrotita foto 4-6	64
Figura 13 Identificación de los minerales presentes a 500X de concentrado de cobre R-I foto1-3.....	69
Figura 14 Identificación de los minerales presentes a 500X de concentrado de cobre R-I foto4-7.....	69
Figura 15 Identificación de los minerales presentes a 500X de relave final foto1-3.....	75
Figura 16 Identificación de los minerales presentes a 500X de relave final foto4-5.....	75
Figura 17 Distribución volumétrica de los minerales identificados en el relave general	77

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1 Tipo de microscopio	40
Tabla 2 Microscopio óptico vs microscopio electrónico	44
Tabla 3 Operaciones de las variables de estudio.	49
Tabla 4 Análisis de malla valorada de mineral	53
Tabla 5 volúmenes y grados de liberación de los minerales observados de muestra de cabeza	57
Tabla 6 Minerales presente en el concentrado de pirita cobalto	60
Tabla 7 volúmenes y grados de liberación de los minerales observados de muestra de concentrado de pirita y cobalto	61
Tabla 8 Distribución volumétrica de los minerales identificados concentrado pirita cobalto	62
Tabla 9 Minerales presente en el concentrado de pirrotita.....	65
Tabla 10 Volúmenes y grados de liberación de los minerales observados concentrado pirrotita.....	66
Tabla 11 Distribución volumétrica de los minerales identificados concentrado pirrotita	67
Tabla 12 Minerales presente en el concentrado de cobre R-I.....	70
Tabla 13 Volúmenes y grados de liberación de los minerales observados de concentrado de cobre R-I	71
Tabla 14 Distribución volumétrica de los minerales identificados concentrado cobre R-I....	72
Tabla 15 tipos geométricos de entrelazamientos de los minerales y sus posibilidades de liberación completa concentrado cobre R-I.	74
Tabla 16 Minerales presente en el relave final	76
Tabla 17 Volúmenes y grados de liberación de los minerales observados en el relave general	76

INDICE DE ANEXO

Anexo 1 Mina - Distrito de Huanuhuanu.....	88
Anexo 2 Matriz de consistencia general	89
Anexo 3 Matriz de consistencia especifico.....	90

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

<i>Mag.</i>	: Magnificación
%	: Porcentaje
%v	: Porcentaje en volumen
&	: I
μ	: Micras
Å	: Angstrom
ADI	: Análisis digital de imagen
apy	: Arsenopirita
cp	: Calcopirita
ef	Esfalerita
EMPA	: Microsonda electrónica
Etc.	: Etcétera
Fot.	: Foto
g/T0	: Gramos por toneladas
GGs	Ganga
kg	: Kilogramos
LA-ICP-MS	Laser-Ablation –Inductively Coupled Plasma–Mass Spectrometry
mc	: Marcasita
MEB	: Microscopio electrónico de barrido
Micro-PIXE	: Particle Induced X-Ray Emission
p.ej.	: Por ejemplo
po	: Pirrotita
py	: Pirita

R-I	Raughter I
rj	: Rejalgar
S.A.C	: Sociedad anónima cerrada
sfl	: Soflorita
SIMS	: Secondary Ion Mass Spectrometry

RESUMEN

El estudio nos permite evaluar el análisis microscópico de minerales, que nos permita la identificación de componentes mineralógicos presentes en la muestra, se aplicaron métodos de comparación cuantitativo mineralógico y volumétrico empleado, mediante microscopio de electrónico de barrido para identificar las características de los minerales en las muestras, la aplicación de la técnica de análisis digital de imagen como complemento del estudio mineralógico con lo cual se identifica los minerales presentes. Los minerales presentes tenemos pirrotita(po), carbonatos(c), calcopirita (cp), arsenopirita(apy), pirita(py), esfalerit(ef), sulfoarsenioro de Ni-Co y gangas (GGs), de los cuales el 90% de los minerales están libre y el 10% están asociados en porcentaje de volumen. El concentrado de pirita cobalto a 24 μ a un aumento de 500X los minerales están libre. Para el concentrado de pirrotita a 24 μ a un aumento de 500X todo el mineral están libre. El concentrado de cobre R-I, a 24 μ a un aumento de 500X el 99.33% están libre y entrelazada calcopirita/pirotita(0.22%), calcopirita/esfalerita(0.13%), pirrotita/arsenopirita(0.22%), calcopirita/rejalgal(0.09%). Respecto al relave está constituido por arsenopirita(apy) 30.39%, pirrotita(po) 0.62%, marcasita(mc) 2.26% y gangas (GGs) 66.74%, todo el mineral está libre a 24 μ a un aumento de 500X. Para una flotación adecuada se debe aplicar una molienda moderada (del orden de un 70% -200M). La utilización de esta técnica nos permite identificar y predecir a que malla de liberación los minerales están libre y su posible proceso de recuperación a una determinada liberación verificable.

Palabra clave: Microscopia de minerales, Análisis digital de imagen de minerales, Microscopia de grado de liberación de minerales.

ABSTRACT

The study allows us to evaluate the microscopic analysis of minerals, which allows us to identify mineralogical components present in the sample, quantitative mineralogical and volumetric comparison methods used, using a scanning electron microscope to identify the characteristics of the minerals in the samples. samples, the application of the technique of digital image analysis as a complement of the mineralogical study with which the present minerals are identified. The minerals present we have pyrrhotite (po), carbonates (c), chalcopyrite (cp), arsenopyrite (apy), pyrite (py), sphalerite (ef), Sulfoarsenico Ni-Co and bargains (GGs), of which 90 % of minerals are free and 10% are associated in percentage of volume. The cobalt pyrite concentrate at 24 μ at a magnification of 500X the minerals are free. For the pyrrhotite concentrate at 24 μ at a magnification of 500X all the ore is free. RI copper concentrate, at 24 μ at a magnification of 500X 99.33% are free and interlaced chalcopyrite / pyrite (0.22%), chalcopyrite / sphalerite (0.13%), pyrrhotite / arsenopyrite (0.22%), chalcopyrite / rejalgal (0.09%). Regarding the tailings is composed of arsenopyrite (apy) 30.39%, pyrrhotite (po) 0.62%, marcasite (mc) 2.26% and bargains (GGs) 66.74%, all ore is free to 24 μ at an increase of 500X. For a suitable flotation moderate grinding should be applied (in the order of 70% -200M). The use of this technique allows us to identify and predict to which release mesh the minerals are free and their possible recovery process to a certain verifiable release.

Key Word: Minerals of microscopy, Digital image analysis of minerals, Mineral release grade microscopy

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo cuyo objetivo es evaluar el análisis microscópico de minerales para la identificación de componentes mineralógicos, a sido planteado como apoyo a la recuperación de minerales con valor económico por flotación de la compañía minera caravelí S.A.C ubicado en el departamento de Arequipa distrito de Huanuahuano, a fin de minimizar los gastos de operacionales de molienda y la identificación de los minerales existente en los yacimientos de operación, permitiendo en que malla o tamaño los minerales pueden ser liberados.

Las muestras para el estudio proviene de las operaciones de avance de las vetas de la minera Caraveli que han sido procesado las cuales esta constituido de minerales de cabeza, concentrado de pirita cobalto, concentrado de pirrotita, concentrado de cobre R I y relave.

La información descrita acompañada de imágenes fotográficas, cuantificación volumetría de minerales existen que se encontrará en este trabajo de los yacimientos de operación, permitirá como fuente de información a los estudiantes de ingeniería metalúrgica y química, en los cursos de mineralogía, geometalurgia y otros cursos como complemento en los cursos de concentración y metalurgia extractiva.

En la empresa Caraveli SAC existen poco trabajo relacionado al estudio microscópica de los minerales a pesar que existen instituciones geológicas que realizan trabajo sobre minerales y rocas específicamente de tamaño de incrustaciones y el porcentaje de volumen existentes mediante microscopia electrónico de barrado, por que se puede mencionar que no existe trabajo de difusión semejante a lo que se lleva a cabo la presente investigación.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática .

Las actividades minero metalurgos en la actualidad necesitan identificar las composiciones de los minerales, tamaño de gramo, sus enlaces, etc, que permitan su posterior tratamiento, extracción y su concentración de menas de interés, esto a razón de que las reservas de los minerales de alta ley cada vez se van agotando y quedando minerales de baja ley y con compuestos complejos a tratar, por ello es necesario su estudio antes de ser tratada para permitir elegir el mecanismo de tratamiento de los minerales, procesos y los reactivos a usar.

Desde el punto de vista geológico, minero metalúrgico es necesario saber las características de los minerales que nos conllevan a elegir el camino adecuado para su tratamiento, por ello se necesita el estudio de análisis microscópico de los minerales de la empresa minera caraveli S.A.C ya que tiene inconvenientes en sus procesos.

Por ello se busca y se plantea el problema en busca de las respuestas para determinar su constituyente mineralógico, su volumen composicional y su tamaño de liberación para mejorar la concentración de cobre, como se describe en el problema general, para el presente estudio.

1.2. Formulación del problema.

1.2.1. Problema general.

¿Será posible realizar un análisis microscópico de minerales, que nos permita la identificación de componentes mineralógicos presentes en la muestra?

1.2.2. **Problema específico.**

¿En qué medida un adecuado grado de liberación de los minerales, nos podrá realizar el análisis modal adecuado?

¿En qué medida un adecuado aumento y calibración del equipo, nos podrá permitir tener una imagen visible adecuado para calcular el porcentaje de distribución volumétrica de las especies presentes en la muestra?

¿Será posible y adecuada una caracterización en el microscopio de la muestra, que nos permita identificar las especies de mineral presentes?

1.3. **Objetivos.**

1.3.1. **Objetivos Generales.**

Evaluar mediante el análisis microscópico a los minerales, para su identificación de componentes mineralógicos presentes en la muestra.

1.3.2. **Objetivos Específicos.**

Evaluar en qué medida el grado de liberación de los minerales, nos permitirá realizar un análisis modal adecuado.

Evaluar en que, medida un aumento y calibración del equipo, nos permitirá tener una imagen visible para calcular el porcentaje de distribución volumétrica de las especies presentes en la muestra.

Evaluar en qué medida la caracterización en el microscopio de la muestra, nos permitirá identificar las especies de mineral presentes.

1.4. **Justificación de la investigación .**

Desde el punto de vista de la investigación se podrá entender que el “análisis microscópico de minerales para la identificación de componentes mineralógicos”, nos

permitirá encontrar los parámetros de investigación, y tomar decisiones adecuadas en la recuperación de las especies de interés y su posterior aplicación al nivel industrial.

1.5. Delimitación del estudio.

1.5.1. Delimitación Territorial.

Departamento	: Arequipa
Provincia	: Caravelí
Distrito	: Huanuhuanu
Empresa	: Compañía Minera Caravelí S.A.C.

1.5.2. Delimitación Tiempo y Espacio.

La investigación se realizará en la empresa **Compañía Minera Caravelí S.A.C.**, durante el periodo de 2019.

1.5.3. Delimitación de Recursos.

Falta de disponibilidad de recursos económicos para llevar a cabo el trabajo de investigación.

1.6. Viabilidad del estudio.

Para realizar el presente trabajo de investigación es viable, por en cuanto se tiene los conocimientos teóricos, los medios técnicos, técnicas y los recursos económicos necesarios. Así mismo, está asegurado el acceso a lugares de las fuentes de la información requeridas; también se cuenta con la autorización correspondiente del jefe del laboratorio metalúrgico, a efectos de llevar a cabo el correspondiente trabajo de campo.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la investigación.

2.1.1. Antecedentes nacionales.

(Valeriano) en su trabajo sobre, estudio minerográfico y determinación microscópica del grado de liberación de los minerales sulfurados de cobre, concluye que,

El estudio minerográfico y la determinación microscópica del grado de liberación son herramientas importantes que nos permitirá tomar medidas de control en las operaciones unitarias alrededor del proceso de flotación (como es el caso de la sobre molienda para evitar la formación de lamas).

En el aspecto técnico el estudio minerográfico y la determinación microscópica del grado de liberación nos exige una preparación de briquetas pulidas de calidad para su posterior estudio y determinación del grado de liberación.

En la evaluación económica del estudio minerográfico y la determinación microscópica del grado de liberación se concluye que el estudio en la Microscopia Óptica es la más rentable frente al análisis por Microscopia Electrónica de Barrido y el Análisis Químico. (Valeriano, 2018, pág. 71).

Para (Ircañau) sobre, “Comportamiento de la mineralización de oro en el batolito de la costa, en la super unidad Santa Rosa, Chosica-Lima”, concluye que,

Para determinar el comportamiento del oro, este ha sido analizado en diferentes modos (óptica y barrido electrónico), mostrando lo errático que es, se le estudió en diferentes tipos de materiales hasta en el relave que obtienen

los mineros informales de la zona de Baja California (Chosica), sin embargo, este oro en sulfuros se halla en forma coloidal, en tanto en óxidos se halla como oro libre y electrum así como en el relave. Por este mismo estudio se ha detectado la presencia de Iodargirita (AgI), que es un mineral de plata, identificándosele en pequeñas partículas incluidas en goethita a nivel de trazas.

Para la determinación de la textura de las rocas en el área de estudio se debe agrupar en dos grupos: un primer grupo compuesto de rocas volcánicas con textura afanítica, en donde es perceptible los cristales de plagioclasa en una masa fundamental fina compuesta de ferromagnesianos. El segundo grupo que es el más importante, ya que allí se aloja la mineralización, está compuesta de todos los intrusivos expuestos en el área; dos tipos de texturas predominan: La holocristalina, característico de las dioritas, gabrodioritas, tonalitas, granitos y granodioritas. Estas rocas están compuestas exclusivamente por cristales en donde muchos de ellos tienen sus propios contornos (hipidiomórfica), lo que macroscópicamente le conocemos como roca granuda. Un segundo tipo de textura es la porfirítica: este tipo de textura se determinó en el pórfido granodiorítico hallado en la zona de San Antonio-Carossio, donde esta muestra tiene la particularidad de matriz grueso (hipidiomórfico granular). En cuanto a su mineralogía conocemos teóricamente, cuáles son sus componentes, difiriendo solo en el porcentaje volumétrico de cada tipo de roca. Sin embargo, considero que presta relevancia el hecho de la presencia de las hornblendas en estas rocas, ya que estas se hallan en la mayoría de las rocas del área en su forma cristalizada, siendo el caso de cristales de grandes tamaños, llama la atención que se hallan agrupadas formando rosetas y en

venas. Otros minerales que se hallan como accesorios son el apatito y el zircón.

Se ha determinado que la alteración hidrotermal, se halla restringido en mayor grado a la presencia de las estructuras mineralizadas (vetas, venillas), formando delgadas aureolas de alteración. La sericitización es la alteración predominante en las estructuras, seguida de una débil silicificación, lejos de las estructuras mineralizadas no se ha observado la silicificación, aunque la sericita está presente en algunas rocas muy débil que solo se ha podido determinar en estudio al microscopio. La alteración propilítica es la dominante en el área, sin embargo, es importante anotar que el grado de intensidad es débil a moderado, siendo esto muy puntual. En estudio petrográfico se ha observado que las cloritas reemplazan parcialmente a las biotitas.

Las estructuras mineralizadas halladas en el área de estudio corresponden a un sistema de vetas y venillas, que se han emplazado en las rocas de esta Superunidad. La asociación mineralógica se presenta en dos formas: Qz-Óxidos-Au y QzSif-Au. El cuarzo generalmente se halla en forma masiva y escaso en cristales (geodas), el lechoso predomina en relación al hialino; los óxidos que se encuentran asociados son: la goethita, la hematita y escaso la specularita. Como sulfuros predominantes encontramos a la pirita que se tiene en distintos hábitos desde la masiva, granular hasta en cristales euhedrales, también se hallan parcialmente o totalmente reemplazados a óxidos, un segundo sulfuro en importancia económica es la calcopirita que se halla de forma masiva, como minerales de alteración tenemos a la covelita y a la calcosina que se hallan como pátinas sobre la calcopirita, ya que esta la ha reemplazado ya sea total o parcialmente, es muy importante anotar la

presencia de la covelita ya que en el estudio de electrónica de barrido se ha determinado que posee oro en su composición.

Estas vetas y venillas emplazadas en la Superunidad Santa Rosa se hallan en las fracturas que trajo como consecuencia el tectonismo se dieron en el Perú. Estas vetas y venillas no se encuentran en toda el área de estudio (Superunidad Santa Rosa; Chosica-Lima), sino que se encuentra en dos zonas bien diferenciadas en cuanto a su mineralización. Estas dos zonas se les ha denominado: La Cantuta-9 de octubre y San Antonio Carossio. Siendo la primera zona más aurífera que cuprífera y la segunda zona es más cuprífera que aurífera. Las leyes resultaron alentadoras ya que en la zona de La Cantuta-9 de octubre se tiene mejores valores de oro en tanto en la zona de San Antonio los valores de cobre responden mejor.

De las estructuras mineralizadas (vetas y venillas), que totalizan cincuenta y nueve, de las cuales treinta y uno se hallan en la zona La Cantuta-9 de Octubre y veintiocho en la zona San Antonio, cuya potencia promedio es de 10 cm y con longitud promedio de 50 m; se determina que estas estructuras se enmarcan dentro de un modelo hidrotermal de relleno asociado a intrusivos, ya que sus características litológicas, alteración y los elementos que lo conforman hacen de este modelo un depósito hidrotermal asociado a intrusivos. **(Ircañaua, 2017, págs. 95-97).**

En su trabajo **(Gutierrez, 2017)** sobre, estudio del tratamiento de minerales sulfurados auríferos mediante procesos secuenciales de flotación, lixiviación alcalina, biolixiviación y cianuración para la recuperación de oro, llego a la conclusión.

Los minerales auríferos de carácter refractario requieren de un pre tratamiento para poder ser sometidos a pruebas de cianuración convencionales y así obtener resultados óptimos.

La mejor prueba de flotación seleccionada se obtuvo para una dosificación de reactivo Z-6 de 78,43 g/TM como variable independiente y una recuperación de 97,65% como variable dependiente con una calidad de concentrado de 14,2 g/TC.

El tiempo óptimo de lixiviación alcalina para el concentrado de la mejor prueba de flotación es de 12 horas con una recuperación de arsénico en solución de 13,74% El tiempo óptimo de biolixiviación para el concentrado de la mejor prueba de flotación es de 20 días, con una degradación de arsénico en solución de 92,86 % La degradación total de arsénico en solución es de 94,28 % correspondientes a los tratamientos de flotación, lixiviación alcalina y biolixiviación.

Alcanzando la mayor disolución de arsénico para el proceso de biolixiviación con una degradación total de 73,78%. El tiempo óptimo de cianuración es de 48 horas para una recuperación de 94,5 % con una calidad de concentrado de 7,8 mg/L.

La recuperación total de oro en los procesos de pre tratamiento – cianuración es de 92,28 % (Gutierrez, 2017).

2.1.2. Antecedentes internacionales.

Para (Maldonado) sobre, “Caracterización mineralógica de fases minerales metálicas en muestras de jales del distrito minero El Oro-Tlalpujahuá”, concluye que,

Los jales del distrito minero El Oro-Tlalpujahuá presentan contenidos de minerales opacos variables y menores del 5%. Las fases minerales opacas se presentan principalmente como partículas mixtas de tamaño variable entre 10 μ y 500 μ y como inclusiones de tamaño inferior a 50 μ en minerales transparentes como cuarzo y feldespatos. Las partículas monominerales son escasas. Las características texturales principales son el intercrecimiento entre fases minerales opacas y transparentes; el zoneamiento concéntrico; la inclusión de fases opacas en transparentes y viceversa; el remplazamiento a través de los bordes de las partículas y otros rasgos de remplazamiento por alteración. Los minerales identificados coinciden ampliamente con la paragénesis mineral reportada para el yacimiento, así como con la litología de la región. La mineralogía de los jales consiste en una serie de sulfuros, sulfoseleniuros, sulfosales, óxidos y oxihidróxidos, en los cuales ocurren elementos químicos como Fe, Cu, Pb, As, Au, Ag y Ti. El oro aparece diseminado en fases sulfurosas y excepcionalmente como una aleación rica en plata incluida en sulfuros y cuarzo. La plata ocurre como elemento esencial en la estructura química de sulfosales y sulfoseleniuros que en algunos casos se encuentran incluidos en cuarzo. La relación entre la presencia de algunas especies de minerales opacos y el contenido de elementos químicos como Ag, Au, Cu y As presenta también buena correspondencia. Sin embargo, para otros elementos metálicos como el Zn, no se encontraron especies minerales opacas que pudieran ser esencialmente portadoras de estos y, en algunos casos, los contenidos altos de Pb se presentan en niveles donde no se identificó galena. Lo anterior sugiere que dichos elementos podrían encontrarse asociados con otras fases no identificadas y/o transparentes o eventualmente en menor cantidad

adsorbidos en oxihidróxidos de Fe. Las fases minerales primarias consisten en óxidos de Fe y fases sulfurosas de origen hipogénico y supergénico; así como algunos óxidos de origen magmático como la ilmenita. Las fases minerales secundarias consisten en oxihidróxidos de Fe pobremente cristalinos que no fueron identificados con precisión, su presencia evidencia la existencia de reacciones químicas de óxido-reducción dentro de los depósitos de jales del distrito, principalmente en partículas de pirita y pirrotita. Es necesario llevar a cabo estudios mineralógicos enfocados a la identificación de fases minerales transparentes móviles en soluciones acuosas, ya que como se ha determinado en este trabajo existen elementos químicos de interés que podrían estar alojados en estos minerales. Los depósitos de jales del DMOT son un material heterogéneo, tanto en su porcentaje de contenido mineral como en su composición química-mineralógica. Existen variaciones mineralógicas espaciales verticales y horizontales que permiten definir zonas de abundancia relativa de algunas especies minerales opacas. Aunque en etapas previas del proyecto se ha determinado que los jales del distrito no son peligrosos, dichas variaciones pueden motivar reacciones químicas bastante localizadas y generar zonas de condiciones fisicoquímicas diferenciadas. **(Maldonado, 2008, págs. 78-79).**

En su investigación **(Puente)** sobre, “Identificación de oro “invisible” en piritas auríferas mediante la caracterización de zonaciones asociadas a arsénico en solución sólida”, concluye que,

Mediante la evaluación de la muestra G-01 de La Guitarra, se logró identificar a una pirita de formación ehedral proveniente de un yacimiento tipo Carlin, localizado en el cinturón volcánico trans- mexicano, como un potencial

portador de As y Au en solución sólida y/o en nanopartículas dentro de la matriz de dicho sulfuro. Debido probablemente a la movilización de Au y As por procesos secundarios a los de la mineralización, dejando como huella zonaciones de arsénico partiendo de un patrón concéntrico debido a procesos de recristalización.

Se logró obtener un concentrado de sulfuros de hierro el cual facilitó la etapa de caracterización de zonaciones y textura. Por otro lado, el comportamiento de la distribución de Au en las etapas del esquema de flotación, demostró un comportamiento similar a las distribuciones obtenidas de los diferentes elementos ensayados, los cuales componen los diferentes sulfuros beneficiados, descartando la posibilidad de estar asociados a los silicatos remanentes en las colas de flotación.

En la etapa de caracterización se relacionó la textura de las partículas de pirita con el contenido de Au y As, para lo cual ha sido propuesto que la formación de los yacimientos de pirita, el transporte de Au a la zona mineralizada, su inclusión dentro de la fase de pirita y su exsolución concéntrica, junto con el crecimiento de la partícula, son eventos separados por procesos cronológicamente distintos.

Se probó que el problema de recuperación de Au refractario en la muestra no es producto de oclusión del mineral dentro de alguna otra fase, puesto que las reducciones de tamaño de partícula a menos de $45\mu\text{m}$ promovieron solamente una recuperación menor al 20%, por lo cual se infiere que el Au dentro de las partículas se presenta de manera “invisible” como solución sólida o como nanoinclusión, lo cual fue confirmado con la recuperación del 67% en la muestra

perteneciente de la Guitarra y 70% en la muestra P01 (...) del total del Au en la etapa de lixiviación nítrica. **(Puente, 2018, pág. 93)**

2.1.3. Otras investigaciones.

Para **(Melgarejo, Proenza, Salvador, & Llovet)** en su trabajo sobre, “Técnicas de caracterización mineral y su aplicación en exploración y explotación minera”, concluyeron:

El estudio de las asociaciones minerales mediante técnicas cuantitativas aporta elementos valiosos para la valorización de los depósitos minerales, desde la fase de exploración a la de estudio de viabilidad del depósito.

En la fase de prospección estratégica (a nivel regional) las técnicas que pueden ser más útiles dependen del tipo de depósito. No obstante, como norma general, para la identificación de minerales en concentrados de batea puede ser muy útil la microscopía electrónica de barrido, especialmente en el modo de electrones retrodispersados y acompañada de microanálisis por dispersión de energías. Este método permitirá la localización e identificación rápida de partículas de minerales pesados en el concentrado. En este estadio la microsonda electrónica u otras técnicas de microanálisis cuantitativo (LA-ICP-MS, SIMS, Micro-PIXE u otras) sólo pueden ser viables en el caso de que el tipo de depósito que se trata de localizar presente un fuerte valor añadido, como es en la exploración de depósitos de diamante a partir de la composición de minerales indicadores.

Por lo común, el estudio del depósito en la fase táctica (ya a nivel local o del depósito) precisará de herramientas aplicadas a un espacio mucho más concreto y, por tanto, que deben ser precisas. En este estadio la difracción de polvo de rayos X cuantitativa puede ser una alternativa o un complemento a

otros métodos (PIMA, p. ej.) enfocados a caracterizar la distribución de las zonas de alteración hidrotermal o meteórica, o a caracterizar la mineralogía de suelos. Nuevamente la microscopía electrónica de barrido puede ser un complemento eficaz para identificar los minerales de interés económico.

En la fase de valoración del depósito pueden emplearse las dos técnicas citadas, pero en este estadio puede ser ya imperativo trabajar con técnicas cuantitativas más detalladas, incluyendo las microsondas electrónicas, iónicas o protónicas, así como la LA-ICP-MS. Debido a su elevado coste, es posible que las tres últimas técnicas sólo sean rentables en el caso de que el mineral explotable tenga un alto valor añadido. En el caso de la exploración de diamante, no obstante, estas técnicas son esenciales para poder definir el potencial diamantífero de una kimberlita.

Las técnicas mineralógicas reseñadas pueden ser, finalmente, aplicadas al diseño de la explotación del depósito, e incluso al control de seguimiento del mismo. En particular, el estudio de la textura de las menas (especialmente, el tamaño de grano y los tipos de intercrecimientos) es esencial en el diseño de la trituración de las mismas. Este aspecto puede ser estudiado con mucho provecho en microscopía electrónica de barrido con análisis de energías.

A efectos también de mecanismos de beneficio, así como de control del posible impacto medioambiental, el tipo de mena y su distribución han de ser caracterizados de manera segura y detallada, aspecto que puede ser realizado con ayuda del conjunto de las técnicas citadas. Así, la difracción de polvo cuantitativa puede ser una herramienta poderosa para controlar la distribución del mineral en el depósito. Ello implica, indirectamente, conocer la distribución de los elementos químicos mayores. Esta técnica no aporta el

mismo tipo de datos que el que ofrece un típico análisis geoquímico como los comúnmente usados por las empresas para la determinación de la ley de un elemento en el depósito (fluorescencia de rayos X, activación neutrónica, ICP-MS, etc.), pero presenta la ventaja de ofrecer en su lugar la ley de mineral en el mismo depósito. Ello tiene algunas ventajas importantes, pues un cierto elemento puede estar distribuido entre diversos minerales y si en alguno de los minerales no fuera económica la extracción del elemento el análisis químico clásico falsearía el planteamiento de las técnicas mineralotécnicas y metalúrgicas que deben ser empleadas, e incluso la viabilidad de la explotación. El mismo razonamiento puede ser aplicado para demostrar la validez de aplicar el SEM-EDS al diseño de la planta de beneficio de un depósito. En particular, los elementos preciosos y otros con alto valor añadido (U, Nb, Ta...) pueden ser explotables a leyes muy bajas, pero siempre que las menas tengan unas características mineralógicas favorables. En particular, debe conocerse con precisión cuál es la distribución del elemento o elementos beneficiables entre las diferentes especies minerales del depósito. Para ello pueden ser imprescindibles análisis con microsonda electrónica e incluso micro-PIXE, SIMS o LA-ICP-MS.

Para el diseño de los mecanismos de control medioambiental deben tenerse también en cuenta las características químicas y físicas de las menas, en particular, aquellas que puedan favorecer su alterabilidad. Además, es importante conocer la distribución de algunos elementos traza tóxicos (Cd, Cr, Bi, Se, Tl, etc.) entre los diferentes minerales del depósito, no en el conjunto del depósito (con los métodos químicos tradicionales). Nuevamente, también en este caso las técnicas de microanálisis puntual mineralógico (EMP, micro-

PIXE, SIMS, LA-ICP-MS) pueden ser extremadamente seguras y eficaces. **(Melgarejo, Proenza, Salvador, & Llovet, 2010, pág. 9).**

Para **(Jiménez & Velilla)** sobre, “óptica mineral: una herramienta informática para el estudio de los minerales en el microscopio petrográfico”, concluyen:

La escasa disponibilidad de tiempo o de instrumentación adecuada para la realización de ejercicios prácticos de mineralogía óptica en distintos niveles de enseñanza reclama el desarrollo de herramientas didácticas que permitan extender la docencia de esta materia. Internet ofrece la posibilidad de crear recursos informáticos fáciles de diseñar y de utilizar por un gran número de usuarios. En este taller se presenta una herramienta informática que facilita el aprendizaje de las propiedades ópticas y su empleo en la caracterización de minerales. Sin embargo, es necesario manifestar claramente que esta aplicación no pretende sustituir el uso de los microscopios petrográficos en los laboratorios de prácticas de Mineralogía. Como prueba de ello, “Óptica Mineral” contiene un conjunto de ejercicios destinados a transponer los conocimientos adquiridos a preparaciones reales observadas al microscopio petrográfico **(Jiménez & Velilla, 2004, pág. 61).**

Sobre, reconocimiento automatizado de menas metálicas mediante análisis digital de imagen: un apoyo al proceso mineralúrgico. I: ensayo metodológico **(Berrezueta & Castroviejo)**, Concluyen que,

La metodología presentada da respuesta a la necesidad de un proceso eficaz y de aplicación general, para el reconocimiento y cuantificación automatizados, por ADI, de las menas metálicas de interés industrial. Y muestra su viabilidad.

El sistema desarrollado se basa en rutinas automatizadas que combinan medidas multibanda sobre secciones pulidas de las menas, a través de cámara vídeo 3CCD sobre microscopio óptico de reflexión, con criterios de tipo mineralógico o metalogenético. La validez de la metodología planteada queda avalada, en primer lugar, por la reproducibilidad de los datos de segmentación. Es decir, la capacidad de obtener iguales valores de NG (rangos de segmentación) de una fase mineral, independientemente de cuándo y dónde haya sido tomada la imagen en color (R, G y B) correspondiente. La verificación del proceso de medida mediante cámara de vídeo 3 CCD se ha llevado a cabo utilizando valores de referencia de la reflectancia de los minerales objeto de estudio, internacionalmente acreditados. Un proceso riguroso de adquisición de imágenes es un eslabón crítico para todo el sistema. Implica la investigación y control de todos aquellos factores, físicos o electrónicos (porosidad, calidad del pulido, derivas, estabilidad, intensidad y calidad de la fuente luminosa, etc.), que de una u otra forma pueden producir variaciones en la respuesta NG de una misma escena. Se desprenden unos requisitos, sintetizados en el apartado de proceso experimental, imperativos para la puesta a punto del sistema automatizado. Una ventaja adicional de la metodología propuesta es que la digitalización de los datos, una vez garantizada su reproductibilidad, permite una gran versatilidad, ya que puede archivar la información para nuevas aplicaciones y tratamientos matemáticos no previstos inicialmente. De esta manera, se podrá atender al replanteamiento continuo de diversos procesos, por ejemplo, mineralúrgicos, y a la investigación de variadas soluciones alternativas, sin necesidad de una nueva adquisición de datos (una de las fases más delicadas y exigentes del

proceso), simplemente procesando la información de partida con arreglo a los nuevos criterios, para obtener las funciones o parámetros correspondientes (área, perímetro, tamaños de grano, superficie específica, grado de liberación de cada fase mineral, etc.), mediante la aplicación de los algoritmos oportunos. Es necesario el examen previo (cualitativo) de las muestras por un experto microscopista, para sentar los criterios de aplicación del método y formular en los términos adecuados los problemas a investigar (de análisis modal, granulométricos, morfológicos, texturales, etc.), según los planteamientos (mineralúrgicos, mineralógicos, ambientales, etc.) que interesen en cada caso. Es este experto el que decide la eventual introducción de posibles criterios identificativos de tipo mineralógico o metalogenético (paragénesis y asociaciones minerales) necesarios en aquellos casos en que puedan coexistir minerales con valores de reflectancia equivalentes. **(Berrezueta & Castroviejo, 2007, pág. 308).**

2.2. Análisis Minerográfico.

Es uno de los análisis que, “consiste en la identificación de los minerales de mena presentes en la muestra a través de sus propiedades físicas y realizando pruebas físicas como dureza, magnetismo, etc y/o pruebas químicas” **(INGEMMET, 2019).**

Citado en **(Valeriano)**, La identificación de minerales puede ser una tarea complicada, si se considera que existen algo más de 2500 especies minerales conocidas hasta la fecha y que además estas especies han sido subdivididas en 10,000 a 15,000 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 (Tables for the determination of common opaque minerals, Paul G. Spry and Brian L. Gedlinske), 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.

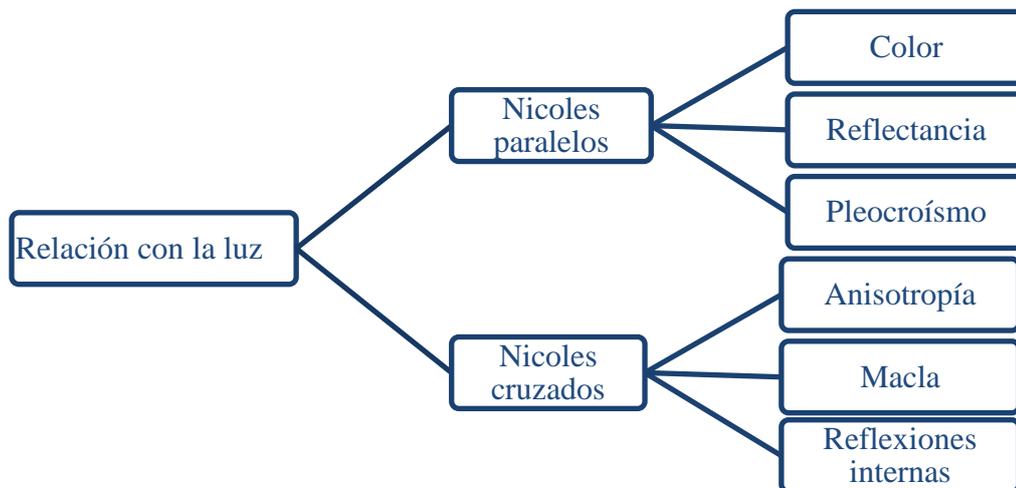
Las propiedades físicas de los minerales son de gran importancia para el metalurgista (especialmente en mineralurgia). Dureza, clivaje, brillo y fracturamiento afectan el comportamiento de las menas. **(Valeriano, 2018, págs. 7-8)**

2.2.1. Minerales opacos y propiedades ópticas de los minerales.

El estudio de los minerales opacos, “determina las características de los minerales para su identificación definiéndose, que un mineral opaco es aquél cuando la cantidad de luz absorbida es máxima; y la cantidad de luz transmitida es mínima” **(Chirif, 2010)**.

Por otra parte, las propiedades ópticas son aquellas que están relacionadas con la luz y estos están dividido en:

Figura 1 Propiedades ópticas en relación con la luz



Nota: Fuente diseñado en función a la información de (Chirif, 2010)

2.2.1.1. Propiedad de los minerales con nicoles paralelos.

En este caso nos permite ilustrar “las propiedades que se estudian con luz ortoscópica transmitida y nicoles paralelos son el color, el pleocroísmo, el relieve, el tamaño, la morfología y el clivaje” (Chirif, 2010, pág. 31).

a. Color.

Referente a las propiedades del “color de un mineral en lámina delgada no presenta tantas variaciones como se verían macroscópicamente; esto se debe a que con un espesor de 30 μ m el efecto de las impurezas es mínimo” (Chirif, 2010, pág. 31).

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). El color 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 (**Valeriano, 2018**).

2.2.1.2. **Pleocroísmo:**

La propiedad de pleocroísmo, “es la capacidad de algunos minerales de mostrar diferentes colores (o intensidad o tonalidad) cuando la luz es transmitida en direcciones diferentes, el grado de absorción depende del espesor de la muestra, el pleocroísmo en secciones delgadas de 30 mm de espesor será radicalmente diferente en muestras gruesas” (**Chirif, 2010**). En relación a su magnitud del cambio podemos calificar al pleocroísmo como fuerte.

Referente a la aplicación sobre el equipo, “es el 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” (**Valeriano, 2018**).

2.2.1.3. **Reflectancia.**

Es el, “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” (**Chirif, 2010**).

Por otra parte, “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” (**Berezueta & Dominguez, 2010**)

2.2.1.4. **Propiedad de los minerales con nicols cruzados.**

En el estudio de nicols cruzada se usa el microscopio donde se puede medir los índices de refracción y orientación del mineral por lo que,

Para **(Chirif)**, Al usar el microscopio con el analizador insertado (nícoles cruzados) podemos identificar las direcciones de los índices de refracción del mineral en la sección delgada, también, podemos identificar el índice mayor y menor y determinar la diferencia entre ellos. Se determina a través del estudio de las propiedades extinción, los colores de interferencia, la birrefringencia y la elongación. Finalmente, la información cristalográfica y óptica la reunimos en un gráfico al que llamamos diagrama de orientación **(Chirif, 2010, pág. 38)**.

a) Anisotropía

Se puede definir a “la anisotropía se refiere a la capacidad de ciertos minerales de dejar pasar luz entre nícoles cruzados. Los minerales que poseen esta propiedad son los minerales anisótropos en cortes diferentes al circular” **(Chirif, 2010, pág. 38)**.

De acuerdo a su comportamiento con luz polarizada, los minerales opacos pueden dividirse en: isótropos, débilmente anisótropos y anisótropos.

b) Reflexiones internas.

Se produce, “cuando la luz penetra en el interior de minerales translúcidos y se refleja en contactos, planos de clivaje, microfracturas o inclusiones, la superficie del grano se verá iluminada con un color relativamente característico para cada mineral” **(Chirif, 2010, pág. 66)**.

Las reflexiones internas de los minerales, “se producen por luz reflejada desde inclusiones, fracturas, etc. del mineral, cuando éste no es totalmente opaco o es transparente. Las presentan todos los minerales que no son completamente opacos” **(Sánchez, Luque del Villar, & Piña, 2011)**.

Referente a “el color de las reflexiones internas es relativamente característico para cada mineral; sin embargo, existen algunos minerales cuyo color o tonalidad de reflexiones internas varían con su composición, y otros presentan reflexiones internas muy similares entre sí” (Chirif, 2010, pág. 66).

c) **Maclas.**

Se puede definir que, “la macla es el agrupamiento regular de dos o más individuos de un mismo mineral con diferente orientación y según alguna ley de simetría (plano, eje o centro de macla)” (Chirif, 2010, pág. 45).

2.2.2. Microscopio.

Se define “el microscopio es un instrumento que permite observar objetos que son demasiado pequeños para ser vistos por la vista del ser humano” (Enciclopedia de conceptos, 2019). “La palabra microscopio proviene de la combinación de dos palabras griegas: micros (pequeño) y scopéo (mirar)” (mundomicroscopio, 2019), en suma, se refiere a la observación pequeña, o en menor grado (Enciclopedia de conceptos, 2019).

2.2.3. Tipos de microscopios.

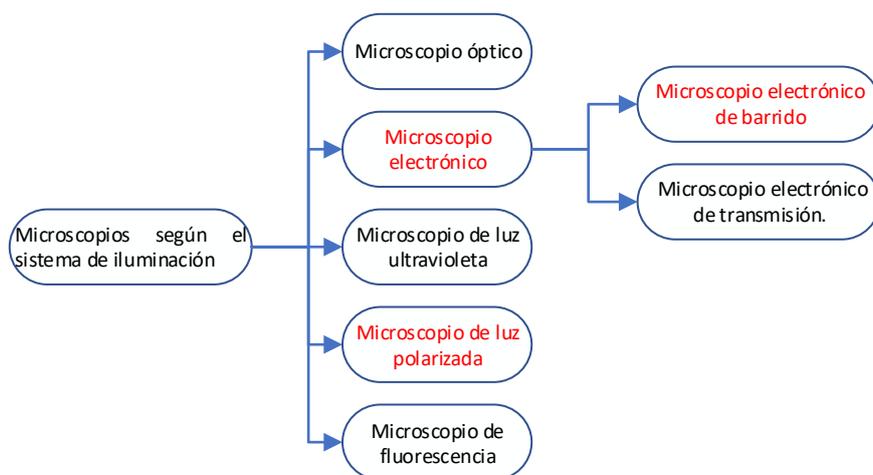
Dentro de la clasificación existen distintos tipos de microscopios y también muchos criterios para clasificarlos. Se puede ser una clasificación básica para identificar los tipos de microscopía más relevantes que existen.

Tabla 1 Tipo de microscopio

Clasificación	Tipos
Sistema de iluminación	• Microscopio óptico
	• Microscopio electrónico
	• Microscopio de luz ultravioleta
	• Microscopio de luz polarizada
	• Microscopio de fluorescencia
Número de lentes	• Microscopio simple
	• Microscopio compuesto
	• Microscopio monocular
Número de oculares	• Microscopio de luz transmitida
	• Microscopio de luz reflejada
Transmisión de luz	• Microscopios verticales.
	• Microscopios invertidos
	• Microscopio digital
Otros	• Microscopio confocal
	• Microscopio de campo oscuro
	• Microscopio de contraste de fases

Nota: Fuente mundo microscopio (mundomicroscopio, 2019)

Figura 2 Clasificación de microscopio usando en el estudio de los minerales



Nota: fuente diseñado en función a la información (mundomicroscopio, 2019)

2.2.4. Microscopio electrónico de barrido y microscopio polarizado.

El estudio microscópico de minerales se realiza con microscopio de luz polarizado y microscopía electrónica de barrido.

El microscopio polarizado para la identificación de los minerales es necesario que la luz emitida sea polarizada y esto se debe a que,

Se deriva del microscopio ordinario del cual se diferencia por tener dos dispositivos que polarizan la luz o polarizadores. El primero, llamado polarizador, está colocado entre la fuente de luz y la platina porta-objeto y puede rotar alrededor del eje óptico del microscopio; el segundo, llamado analizador, está ubicado entre el objetivo y el ocular del microscopio, no puede rotar, pero se lo puede “sacar” del sistema, es decir, desplazarlo para que no intervenga en las observaciones. Normalmente a los polarizadores se los llama nícoles, lo cual se debe al nombre del inventor de ciertos prismas de calcita utilizados para polarizar la luz. **(Rengel, 2007, pág. 31)**

Microscopio electrónico de barrido permite detectar los minerales su composición, tamaño forma mediante fotografías porque,

El microscopio electrónico de barrido permite la visualización de las muestras en 3D y el haz de electrones no atraviesa la muestra, por el contrario, incide sobre la superficie de la misma y los electrones secundarios son captados por un detector y la señal es enviada a una pantalla de televisión. La profundidad de campo obtenida por este microscopio es considerable; la imagen es constituida de zonas brillantes y zonas oscuras que dan un aspecto tridimensional. Sin embargo, solamente la superficie puede ser observada **(Narváez, 2019)**.

Por lo que, “las imágenes de un microscopio electrónico se obtienen mediante la detección, procesamiento y visualización de las señales resultantes de las interacciones entre un haz de electrones de alta energía con la materia”. (Ipohorski & Bozzano, 2013). “Estas interacciones pueden proporcionar información sobre topografía, composición y estructura cristalográfica”. (Ipohorski & Bozzano, 2013)

El funcionamiento de un microscopio electrónico de barrido tiene un complejo sistema que permite que,

En el microscopio electrónico de barrido (MEB), el haz electrónico, atraviesa la columna y llega a la muestra. Un generador de barrido es el responsable de producir el movimiento del haz, de manera que barra la muestra punto a punto. De la interacción entre los electrones incidentes con los átomos que componen la muestra se generan señales, las cuales pueden ser captadas con detectores específicos para cada una de ellas. El detector capta una señal y las convierte en una señal electrónica que es proyectada en una pantalla (CRT).

2.2.4.1. Sistema de iluminación

El sistema de iluminación de microscopio petrográfico, “Es un conjunto de dispositivos cuya función es dirigir la luz hacia la muestra en las mejores condiciones de trabajo. El sistema móvil, se puede acercar o alejar de la platina, para un mejor control de iluminación” (Equipos y laboratorio, 2019). 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 17 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 (**Equipos y laboratorio, 2019**).

2.2.4.2. Técnica de microscopía electrónica de barrido

El proceso de detección del microscopio electrónico de barrido (MEB/SEM, Scanning Electron Microscope), “es una técnica de microscopía electrónica capaz de producir imágenes de alta resolución de superficie de muestra utilizando interacciones electrón-materia, mediante haz de electrones en lugar de haz de luz para formar imagen” (**Nano futuro, 2019**).

Respecto a la “magnificación de una óptica es la relación entre el tamaño de la imagen(pantalla) y 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” (**Infaimon, 2019**).

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

Tabla 2 Microscopio óptico vs microscopio electrónico

Parámetros	Microscopía óptica	Microscopía electrónica
Iluminación	Haz de luz	Haz de electrones
Magnificación	10 x - 2000 x	100 x - 1.000.000 x
Longitud de onda	2000 Å - 7500 Å	0.037 Å - 0.086 Å
Resolución	2000 Å	1nm Auriga por ej
Lentes	Vidrio	Electromagnéticas
Medio	Atmósfera	Vacío
Fuente de iluminación	Lámpara halógena o LED	Filamento de W o LaB6
Preparación	de Si	Se puede colocar muestras

Muestras		preparadas o sin preparar
Focalización	Mecánica	Eléctrica
Contraste	Absorción – Reflexión	Scattering

Nota: Fuente (Sorrivas de Lozano, Morales, & Yañez, 2014)

Definiciones de conceptos.

- a. **Base o pie:** Es la pieza que se encuentra en la parte inferior del microscopio y sobre la cual se montan el resto de elementos.
- b. **Brazo:** El brazo constituye el esqueleto del microscopio.
- c. **Condensador:** El condensador es el elemento encargado de concentrar los rayos de luz provenientes del foco a la muestra.
- d. **Diafragma:** El diafragma es una pieza que permite regular la cantidad de luz incidente a la muestra. Normalmente se encuentra situado justo debajo la platina.
- e. **Foco o fuente de luz:** Este es un elemento esencial que genera un haz de luz dirigido hacia la muestra. En algunos casos el haz de luz es primero dirigido hacia un espejo que a su vez lo desvía hacia la muestra.
- f. **Mena:** Compuesto de elementos mineralizados de interés o valor para un propósito.
- g. **Objetivo:** El objetivo es el conjunto de lentes que se encuentran más cerca de la muestra y que producen la primera etapa de aumento.
- h. **Ocular:** Este es el elemento óptico que proporciona la segunda etapa de ampliación de imagen.
- i. **Pinzas:** Las pinzas tienen la función de mantener fija la preparación una vez esta se ha colocado sobre la platina.
- j. **Platina:** Esta es la superficie donde se coloca la muestra que se quiere observar.
- k. **Prisma óptico:** Algunos microscopios incluyen también prismas en su interior para corregir la dirección de la luz.

- l. **Revólver:** El revólver es una pieza giratoria donde se montan los objetivos.
- m. **Tornillo macrométrico:** Este tornillo permite ajustar la posición vertical de la muestra respecto el objetivo de forma rápida.
- n. **Tornillo micrométrico:** El tornillo micrométrico se utiliza para conseguir un enfoque más preciso de la muestra.
- o. **Tubo:** El tubo es una pieza estructural unida al brazo del telescopio que conecta el ocular con los objetivos.

2.3. Formulación de hipótesis.

De acuerdo a la problemática plantada y los objetivos se predice que el presente estudio tendrá como resultado a las siguientes hipótesis general y específico.

1.6.1. Hipótesis General.

Realizando el estudio por análisis microscópico de minerales se podrá identificar los componentes mineralógicos que contiene.

1.6.2. Hipótesis Específicas.

Realizando un adecuado grado de liberación de los minerales, se podrá realizar el análisis modal.

Realizando un adecuado aumento y calibración del equipo, se podrá tener una imagen visible para calcular el porcentaje de distribución volumétrica de las especies presentes en la muestra.

Realizando una adecuada caracterización en el microscopio de la muestra, se podrá identificar las especies de mineral presentes.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Diseño metodológico.

3.1.1. Tipo de Investigación.

El tipo de investigación no experimental transversal por que se caracteriza las muestras en función al objeto de estudio, en tanto que los objetivos de estos estudios son precisamente conocer el resultado de la investigador como mecanismo o técnica para probar sus hipótesis (**Bernal, 2010**).

- ✓ De acuerdo a su naturaleza: no experimental.
- ✓ acuerdo al propósito o utilización: aplicada.

Se realiza investigación aplicada, en este trabajo ya que se realiza análisis al nivel de laboratorio con un control mínimo a fin de encontrar las condiciones óptimas del estudio.

3.1.2. Nivel de Investigación.

Es una investigación nivel no experimental por que se aplicara métodos y técnicas para encontrar condiciones de la situación problemática, que da origen al estudio de investigación (**Carrasco, 2005**).

3.1.3. Diseño de la Investigación.

En el presente estudio se aplicará el diseño no experimental, ya que analizará las variables independientes, para observa su efecto sobre la variable dependiente con una situación de control (**Fernandez, 2014**).

3.1.4. **Enfoque de la Investigación.**

El enfoque del presente estudio es cuantitativo, porque el estudio son variables o fenómenos cuantificables o fácilmente mensurables. “Utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base a la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teoría” (Fernandez, 2014).

3.2. **Población y muestra.**

3.2.1. **Población.**

La población estura constituida por el mineral de la minera Caravelí S.A.

3.2.2. **Muestra.**

La muestra para el trabajo de investigación se extrae por estratificación de las vetas de la minera Caravelí SA.C.

3.2.3. **Tamaño de Muestra.**

El tamaño de muestra para el presente estudio es de aproximadamente de 20 kg, se secarán para cada prueba aproximadamente con 0.3 Kilos de mineral.

3.3. Operacionalización de variables.

Tabla 3 Operaciones de las variables de estudio.

Variable	Concepto	Dimensiones	Indicador
Independiente			
Análisis microscópico	- Consiste en análisis cualitativo y semicuantitativo. El análisis cualitativo es la relación de los minerales identificados en la muestra con su respectiva formula química, y el análisis semicuantitativo consta del porcentaje de dichos minerales contenidos en la muestra por medio de imágenes.	Parámetro	- Grado de liberación. - Aumento. - Caracterización
Dependiente			
Identificación de componente	- Es la caracterización de los minerales por su propiedad física y química. Composición, estructura, densidad, dureza. Mediante el microscopio petrográfico.	Calidad	- Análisis modal - Porcentaje de distribución volumétrica. - Identificar las especies de minerales
Intervinientes.			
		Control	- Tiempo - Temperatura. - Granulometría - Aumento de objeto.

Nota: Diseñado por el autor de acorde las variables de estudio.

3.4. Técnica e instrumento de recolección de datos.

3.4.1. Técnicas a emplear.

a. Observación sistemática Directa.

Se empleará esta técnica para observar el proceso de investigación en el momento que se está desarrollando.

b. Observación Sistemática Indirecta.

Mediante esta técnica se podrá analizar y estudiar los diversos documentos que contiene información sobre el tema de investigación.

c. Observación experimental.

Con esta técnica será posible conocer la forma como se desarrollan las actividades en el desarrollo experimental para extraer datos con el fin de procesar posteriormente.

d. Otras Técnicas.

Técnica de cuestionario.

3.4.2. Descripción de los instrumentos.

- a. Ficha de observación.
- b. Lista de cotejo.
- c. Escalas libreta de notas.
- d. Filmadora, cámara fotográfica y grabadora.

3.5. **Técnica para el procesamiento de la Información.**

Se usará el análisis estadístico y matemático, usando programas de cálculo como Excel, Minilat 16, Statgraphics, para luego mostrar la información, mediante tablas, registros, figuras, promedios, medianas, desviación estándar, ecuaciones por regresión y otros.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. Análisis de muestras.

El análisis realizado sobre la muestra, ha permitido determinar sus constituyentes mineralógicos, las distribuciones volumétricas de aquellos minerales que han intervenido en el análisis modal, sus respectivos grados de liberación y la interpretación de los grados de liberación de cada uno de los minerales.

4.2. Muestra de minerales.

4.2.1. Granulometría y composición química

En la Tabla N°4 se consigna los resultados de los análisis granulométrico y químico correspondientes, tal como nos han sido proporcionados por el cliente.

El procedimiento de cominución de la muestra consistió en una molienda en seco, hasta obtener una granulometría de 100% -35M; el material así obtenido fue separado granulométricamente utilizando los tamices de mallas 48, 65, 100, 150, 200, 325 y 400M. Los resultados del análisis granulométrico, como era de esperar, indican un material moderadamente “grueso”, con casi un 75% del peso total con tamaños >200M.

En cuanto a la composición química, la muestra presenta leyes significativas de Au y Cu y moderadas de Ag, los contenidos de Fe son elevados y se observa una moderada presencia de As (el Sb es extremadamente bajo). Las leyes de Au, Ag y As varían algo irregularmente en función del tamaño de grano; en cambio las leyes de Cu y Fe presentan una mayor regularidad, con un aumento prácticamente constante entre las fracciones +48 y +400M, seguido en la fracción -400M. Es importante señalar la elevada correlación lineal entre los pares de elementos Au-As y Ag-Cu, lo que permite inferir que dichos pares de elementos podría estar asociados a minerales portadores comunes.

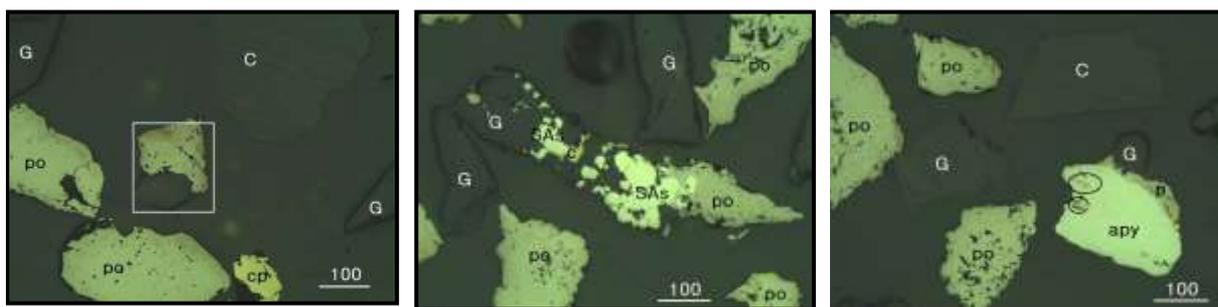
Tabla 4 Análisis de malla valorada de mineral

Mallas	% peso	Leyes					
		Au (g/T)	Ag (g/T)	As %	Cu %	Fe %	Sb %
+48	23.9	2.232	30.3	0.163	1.782	38.48	<0.003
+65	16.4	1.865	30.7	0.162	1.976	38.95	<0.003
+100	14.0	2.489	34.3	0.185	2.182	39.34	<0.003
+150	12.1	2.827	37.7	0.193	2.429	39.95	<0.003
+200	8.2	3.116	41.8	0.208	2.625	40.73	<0.003
+325	9.3	2.890	55.6	0.198	2.755	41.52	<0.003
+400	2.9	2.698	48.1	0.190	2.737	41.57	<0.003
-400	13.2	2.508	51.6	0.182	2.709	38.09	<0.003
Ley calc.	100.0	2.463	38.4	0.180	2.258	39.36	<0.003

4.2.2. Análisis microscópico.

En las tablas de resultados cuantitativos de cada una de las muestras 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 minerales y donde cada una de éstas ocupa no menos del 10% del área total).

Figura 3 Mineral fracción +48m 100 micras

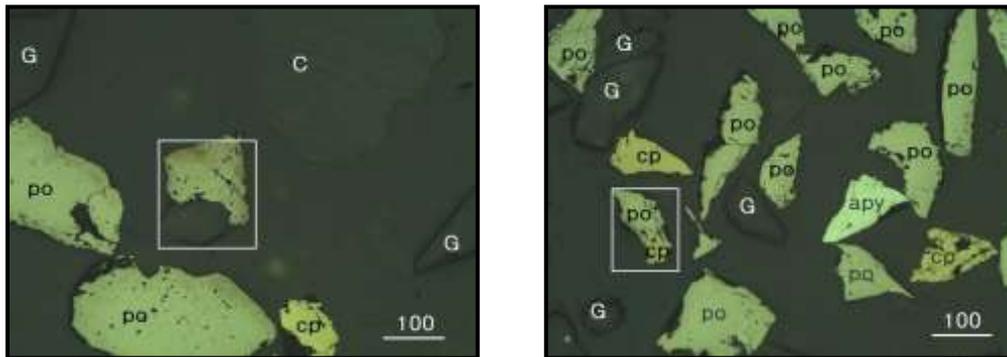


Fracción +48M.-Pirrotita y gangas (G), en parte compuestas de carbonatos (C), como partículas libres. Partícula mixta: arsenopirita/calcopirita (elipses negras) /pirrotita (p)/ gangas (G).

Fracción+48M.- Pirrotita y gangas (G) como partículas libres. En la parte central de la foto, partícula mixta: compuesta de calcopirita (c), sulfoarseniuros de Ni-Co (SAs), pirrotita y gangas (G)

Fracción +48M.-Pirrotita y gangas (G), en parte compuestas de carbonatos (C), como partículas libres. Partícula mixta: arsenopirita/calcopirita (elipses negras) /pirrotita (p)/ gangas (G).

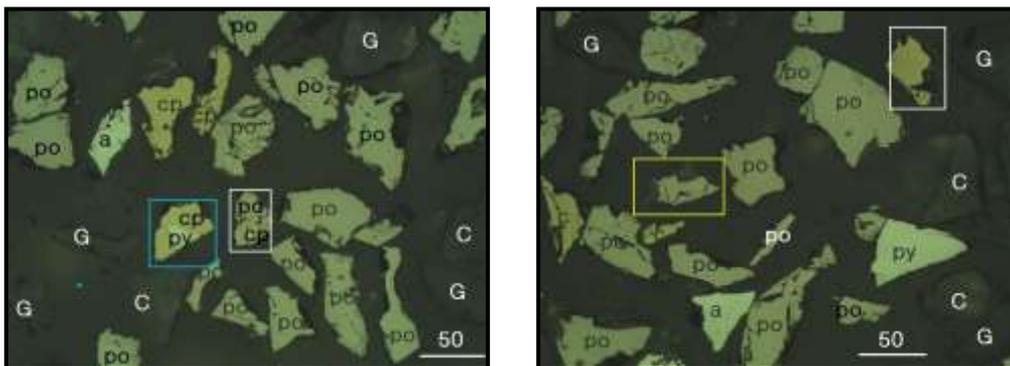
Figura 4 Mineral fracción +1000m 100 micras



Pirrotita, calcopirita y gangas (G) como partículas libres. Partículas mixtas: dentro del marco verde, arsenopirita(a)/calcopirita/pirrotita/gangas (G); dentro del marco blanco calcopirita/pirrotita.

Pirrotita, calcopirita, arsenopirita y gangas (G) como partículas libres. Partícula mixta: calcopirita/pirrotita (marco blanco).

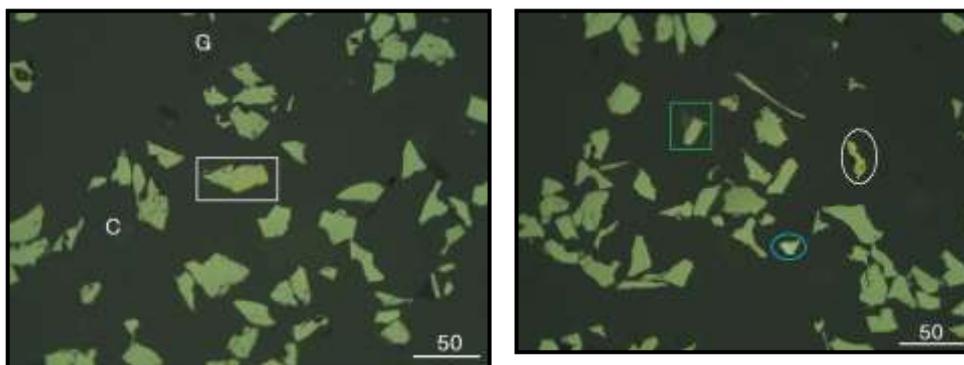
Figura 5 Mineral fracción +2000m 50 micras



Arsenopirita (a), calcopirita y gangas (G), en parte carbonatos (C) como partículas libres. Partículas mixtas calcopirita/pirita (marco azul) y calcopirita/pirrotita (marco blanco).

Pirrotita, arsenopirita (a), calcopirita (c), pirita y gangas (G), en parte carbonatos (C), como partículas libres. Partículas mixtas: calcopirita/gangas (marco blanco) y pirrotita/gangas (marco amarillo).

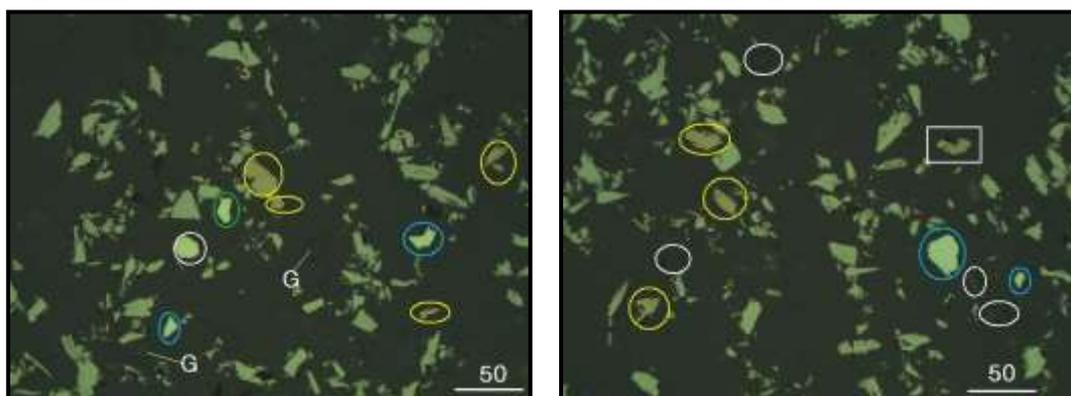
Figura 6 Mineral fracción +4000m 50 micras



Pirrotita abundante (granos color crema pálido) y gangas (G), en parte carbonatos (C) como partículas libres. Partícula mixta calcopirita/pirrotita (marco blanco)

Pirrotita abundante (granos color crema pálido), calcopirita (elipse blanca) y arsenopirita (elipse azul) como partículas libres Partícula mixta pirrotita/gangas (marco verde)

Figura 7 Mineral fracción -4000m 50 micras



Pirrotita abundante (granos crema pálidos), con menores cantidades de calcopirita (elipses amarillas), arsenopirita (elipses azules), pirita (elipse blanca) y sulfoarseniuros de Ni-Co? (elipse verde) como partículas libres. Obsérvese la incipiente formación de grumos compuestos de granos de pirrotita débilmente cohesionados

Pirrotita abundante (granos crema pálidos), con menores cantidades de calcopirita (elipses amarillas), arsenopirita (elipses azules) y gangas (elipses blancas) como partículas libres. Partícula mixta: calcopirita/gangas (marco azul).

En la fracción -400M, la liberación es excelente y sólo se observa muy escasos granos mixtos, especialmente los tipos: pirrotita/gangas y calcopirita/gangas. Dentro de las partículas libres, se observa un claro predominio de pirrotita, acompañada de escasa calcopirita, muy escasas arsenopirita y gangas y extremadamente escasas pirita y sulfoarseniuros de Ni-Co. En

toda la muestra, se observa como los granos de pirrotita tienden a formar grupos de escasa cohesión.

Los minerales metálicos observados son: arsenopirita, calcopirita, esfalerita, sulfoarseniuros de Ni-Co, pirrotita y piritita. Dentro de las gangas se observa una significativa presencia de carbonatos.

- La arsenopirita es bastante escasa; en parte se presenta como partículas libres, de variado tamaño; otras veces ocurre como granos relícticos penetrados y/o rodeados por pirrotita y/o calcopirita.
- La calcopirita es moderadamente abundante; se presenta en parte como partículas libres y en parte formando amarres con los otros sulfuros (especialmente con pirrotita y piritita) y/o con las gangas.
- La esfalerita es extremadamente escasa; usualmente ocurre como finos nidos asociados a calcopirita. . .
- Ocasionalmente, se observa la ocurrencia de un mineral blanco de reflectancia moderada a alta, mayormente isótropo, y de dureza menor que la pirrotita, ¿qué preliminarmente hemos identificado como un sulfoarseniuro de Ni-Co? Dicho mineral se presenta unas veces libre y otras veces amarrado con pirrotita y/o con calcopirita.
- La pirrotita es el sulfuro más abundante y se presenta en variedad de tamaños, la mayor parte como partículas libres y el resto formando amarres, especialmente con calcopirita o con arsenopirita y/o con las gangas.
- La piritita es escasa; en las fracciones gruesas se presenta generalmente asociada con los otros sulfuros y/o con las gangas, hacia las fracciones finas se presenta mayormente libre.
- Las fotos que siguen grafican las principales características mineralógicas observadas en las diversas fracciones granulométricas de esta muestra.

Tabla 5 volúmenes y grados de liberación de los minerales observados de muestra de cabeza

Partículas libres	Malla + 48 (23.9% peso)						Malla + 100 (14.0% peso)						Malla + 200 (8.2% peso)						Malla + 400 (2.9% peso)										
	Σ	apy	cp	SAsNi-Co	po	py	GGs	Σ	apy	cp	ef	SAsNi-Co	po	py	GGs	Σ	apy	cp	SAsNi-Co	po	py	GGs	Σ	apy	cp	SAsNi-Co	po	py	GGs
apy	0.00	0.00						0.10	0.10							0.25	0.25						0.15	0.15					
cp		(100.00)	3.25						(100.00)	6.10							(100.00)	6.50						(100.00)	0.55				
ef				0.00							(100.00)	0.00																	
SAsNi-Co					(100.00)					0.10			0.10					0.35			0.35					0.25			0.25
po	48.15				48.15			55.90					55.90			54.50				54.50			94.05				94.05		
py	0.60					0.60		0.95					0.95			1.15				1.15			0.55				0.55		
GGs	37.85						37.85	34.45					34.45			35.70				35.70			4.00				4.00		4.00
Total partic. Libres	89.85	0.00	3.25	0.00	48.15	0.60	37.85	97.60	0.10	6.10	0.00	0.10	55.90	0.95	34.45	98.45	0.25	6.50	0.35	54.50	1.15	35.70	99.55	0.15	0.55	0.25	94.05	0.55	4.00
Partículas mixtas																													
apypo	0.25	0.10			0.15																		0.15	0.10			0.05		
cpief		(5.00)			(56.00)			0.15		0.10	0.05													(79.25)			(0.25)		
cpipo	2.05		0.65		1.40			0.70		0.35			0.35			0.75		0.25		0.50			0.15		0.05		0.10		
cpipy	0.40		0.05		0.35			0.20		0.15			0.05			0.25		0.05		0.20									
cpGGs	2.25		0.30		1.95			0.60		0.15			0.45			0.20		0.05		0.15									
poGGs	2.45			0.80	1.65			0.20				0.10	0.10			0.20			0.10	0.10			0.15			0.10		0.05	
pyGGs	0.20				0.15	0.05																					0.10	0.05	
SAsNi-Coipo								0.15				0.05	0.10																
SAsNi-CoGGs	1.05			0.55	0.50			0.10				0.05	0.05																
apypcpo	0.25	0.05	0.05		0.15																								
cpipopy		(2.00)	(2.00)		(49.00)											0.15		0.05		0.05	0.05								
cpipoGGs	0.60		0.10		0.15	0.35		0.15		0.05			0.05	0.05															
cpipyGGs	0.65		0.20		0.25	0.20		0.15		0.05			0.05	0.05															
Total (vol %)	100.00	0.15	4.60	0.55	50.80	1.35	42.55	100.00	0.10	6.95	0.05	0.20	56.50	1.05	35.15	100.00	0.25	6.90	0.35	55.15	1.40	35.95	100.00	0.25	0.60	0.25	94.30	0.55	4.05
G. L. (%)		4.67	73.97	0.90	96.73	73.38	94.98		100.00	91.98	1.00	49.40	99.16	91.08	98.97		100.00	95.03	100.00	99.35	92.91	99.63		91.70	92.00	100.00	99.85	100.00	98.88
		0.15	4.60	0.55	50.80	1.35	42.55		0.10	6.95	0.05	0.20	56.50	1.05	35.15		0.25	6.90	0.35	55.15	1.40	35.95		0.25	0.60	0.25	94.30	0.55	4.05
		4.67	73.97	0.90	96.73	73.38	94.98		100.00	91.98	1.00	49.40	99.16	91.08	98.97		100.00	95.03	100.00	99.35	92.91	99.63		91.70	92.00	100.00	99.85	100.00	98.88

Los resultados obtenidos para las cuatro fracciones granulométricas estudiadas (que en conjunto representan algo más del 49% del peso total de la muestra), son presentados en la Tabla N°5.

En lo que se refiere a partículas libres, se observa un neto predominio de la pirrotita, junto con porcentajes significativos de gangas, moderados de calcopirita y muy modestos de arsenopirita, sulfoarseniuros de Ni-Co y pirita. La pirrotita aumenta casi de manera constante hacia las fracciones más finas, con un incremento notable en la fracción +400M, mientras que las gangas se comportan exactamente al revés. La calcopirita aumenta claramente entre las fracciones +48 y +200M, pero luego disminuye notoriamente en la +400M; la arsenopirita, la pirita y los sulfoarseniuros de Ni-Co varían leve e irregularmente desde las fracciones gruesas hacia las finas.

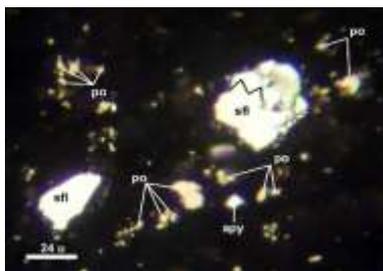
En cuanto a las partículas mixtas, se observa una moderada diversidad de tipos; la suma de ellas representa un importante 10.15% del volumen total de partículas en la fracción +48 pero luego disminuye drásticamente hacia las fracciones más finas y en la +400M la suma de ellas apenas significa un 0.45% del volumen total de partículas. Los amares más importantes y más refractarios a la liberación por molienda son los tipos calcopirita/pirrotita y pirrotita/gangas.

4.3. Muestra de concentrado de pirita cobalto.

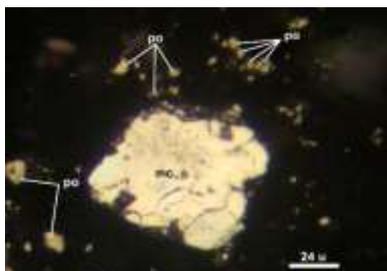
4.3.1. Identificación mineralógica concentrado pirita cobalto.

En el estudio microscópico del concentrado de pirita cobalto se muestra en la figura N°8 y se detalla en la tabla N°3 los minerales observados y los que han intervenido en el análisis modal:

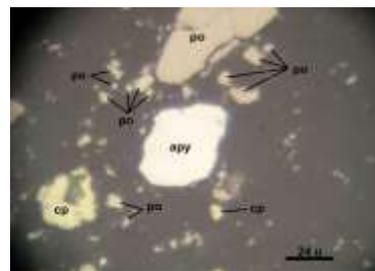
Figura 8 Identificación de los minerales presentes a 500X de concentrado pirita cobalto foto1-3



Fot. 1. Partículas libres de saflorita (sfl), de arsenopirita (apy) y de pirrotita (po). 500X.



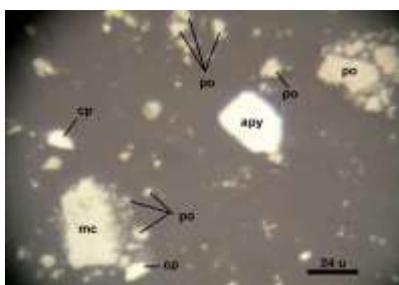
Fot. 2. Partículas libres de pirrotita (po) y de marcasita (mc). 500X.



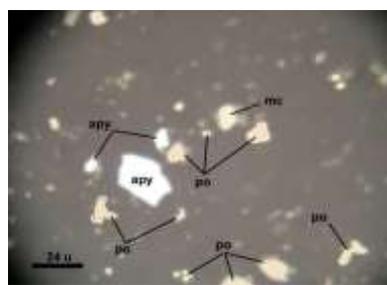
Fot. 3. Partículas libres de calcopirita (cp), de pirrotita (po) y de arsenopirita (apy). 500X.

En la figura N°9 a 24 micras y a 500X partículas libre en la foto 1 tenemos saflorita(sfl), arsenopirita (apy) y pirrotita(po); en la foto 2 se tiene pirrotita(po) y marcasita(mc); foto 3 calcopirita(cp), pirrotita(po), arsenopirita(apy).

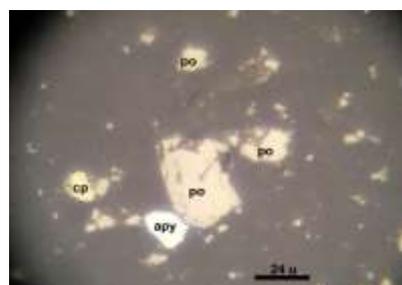
Figura 9 Identificación de los minerales presentes a 500X de concentrado pirita cobalto foto 4-6



Fot. 4. Partículas libres de pirrotita (po), de arsenopirita (apy) y de marcasita (mc). 500X.



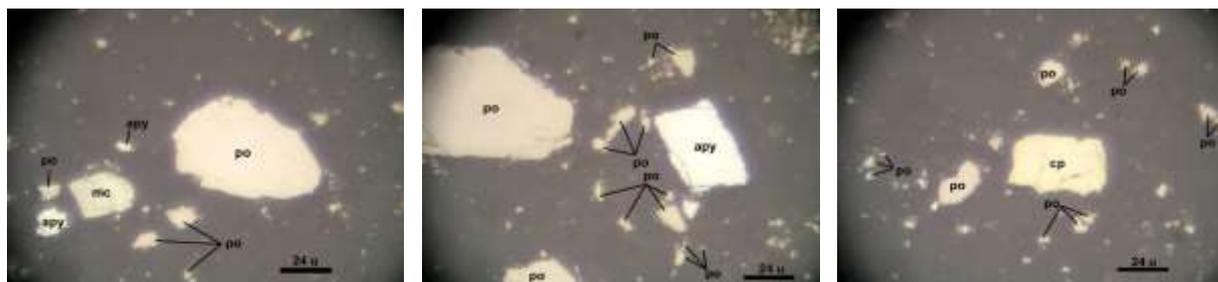
Fot. 5. Partículas libres de pirrotita (po), de arsenopirita (apy) y de marcasita (mc). 500X.



Fot. 6. Partículas libres de calcopirita (cp), de pirrotita (po) y de arsenopirita (apy). 500X.

En la figura N°2 a 24 micras y a 500X partículas libre en la foto 4 tenemos arsenopirita (apy) y pirrotita(po), marcasita(mc); en la foto 7 se tiene pirrotita(po), arsenopirita (apy) y marcasita(mc); foto 8 calcopirita(cp), pirrotita(po), arsenopirita(apy).

Figura 10 Identificación de los minerales presentes a 500X de concentrado pirita cobalto foto7-9



Fot. 7. Partículas libres de pirrotita (po), de arsenopirita (apy) y de marcasita (mc). 500X.

Fot. 8. Partículas libres de pirrotita (po) y de arsenopirita (apy). 500X.

Fot. 9. Partículas libres de calcopirita (cp) y de pirrotita (po). 500X.

En la figura N°10 a 24 micras y a 500X partículas libre en la foto 7 tenemos arsenopirita (apy) y pirrotita(po), marcasita(mc); en la foto 8 se tiene pirrotita(po), arsenopirita (apy); foto 9 calcopirita(cp), pirrotita(po).

En función de la figura N° 8, 9 Y 10 se describen los minerales presentes en el concentrado de pirita cobalto en la tabla N°6.

Tabla 6 Minerales presente en el concentrado de pirita cobalto

Minerales	Formula	Abreviatura
Calcopirita	CuFeS_2	cp
Pirrotita	Fe_{1-x}S	po
Arsenopirita	FeAsS	apy
Pirita	FeS_2	py
Marcasita	FeS_2	mc
Saflorita	CoAs_2	sfl

De la tabla N° 6 en el concentrado de pirita cobalto está constituido de calcopirita(cp), pirrotita(po), arsenopirita(apy), pirita(py), marcasita(mc) y saflorita(sfl).

Tabla 7 volúmenes y grados de liberación de los minerales observados de muestra de concentrado de pirita y cobalto

MINERALES			CALCOPIRITA		PIRROTITA		ARSENOPIRITA		PIRITA		MARCASITA		SAFLORITA	
			N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V
Total, de Partículas Libres			2055	40	1750		225		30		5		5	
% Volumen Partículas libres			100.00	1.95	85.16		10.95		1.46		0.24		0.24	
TOT.PARTICULAS	NUMERO	VOLUMEN	CALCOPIRITA		PIRROTITA		ARSENOPIRITA		PIRITA		MARCASITA		SAFLORITA	
ENTRELAZADAS	PARTICUL.	PORCENTUAL	N	% V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V
	0	0.00												
	0	0.00												
TOTAL, ENTREL.	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOT.LIB+ENLZ	2055	100.00	40.00		1750		225.00		30.00		5.00		5.00	
TOT.VOL.PORCENTUAL		100.00		1.95		85.16		10.95		1.46		0.24		0.24
GRADOS DE														
LIB.PORCENTUAL			100.00		100.00		100.00		100.00		100.00		100.00	

Símbolos: **N** = Número de partículas libres y entrelazadas contabilizadas.

%V = Volumen porcentual de las partículas libres y entrelazadas.

4.3.2. Distribución volumétrica y grados de liberación concentrado pirita cobalto.

La distribución volumétrica en este reporte es en término porcentual, del mismo modo con respecto a los grados de liberación; los cuales se proporcionan para todos los minerales que han intervenido en el análisis modal del concentrado de pirita cobalto se describe en la tabla N°8 como se describe en el siguiente:

Tabla 8 Distribución volumétrica de los minerales identificados concentrado pirita cobalto

Minerales	Volumen (%)	Grado de liberación (%)
Calcopirita	1.95	100.00
Pirrotita	85.16	100.00
Arsenopirita	10.95	100.00
Pirita	1.46	100.00
Marcasita	0.24	100.00
Saflorita	0.24	100.00
TOTAL	100,00	

En función de las tablas N°6 y N°7, se puede describir los grados de liberación de los minerales que han intervenido en el análisis modal:

- La **calcopirita** ocupa el 1.95% del volumen total de la muestra, de este volumen el 100.00% se halla libre, lo que indica que de las partículas que han intervenido en el análisis modal, todas se hallan libres, por lo que su grado de liberación es de cien por ciento.
- La **pirrotita** ocupa el 85.16% del volumen total de la muestra, de este volumen el 100.00% se halla libre, lo que indica que de las partículas que han intervenido en el análisis modal, todas se hallan libres, por lo que su grado de liberación es de cien por ciento.

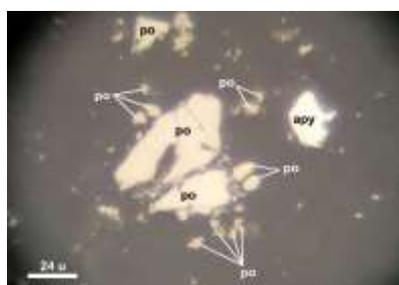
- La **arsenopirita** ocupa el 10.95% del volumen total de la muestra, de este volumen el 100.00% se halla libre, lo que indica que de las partículas que han intervenido en el análisis modal, todas se hallan libres, por lo que su grado de liberación es de cien por ciento.
- La **pirita** ocupa el 1.46% del volumen total de la muestra, de este volumen el 100.00% se halla libre, lo que indica que de las partículas que han intervenido en el análisis modal, todas se hallan libres, por lo que su grado de liberación es de cien por ciento.
- La **marcasita** ocupa el 0.24% del volumen total de la muestra, de este volumen el 100.00% se halla libre, lo que indica que de las partículas que han intervenido en el análisis modal, todas se hallan libres, por lo que su grado de liberación es de cien por ciento.
- La **safflorita** ocupa el 0.24% del volumen total de la muestra, de este volumen el 100.00% se halla libre, lo que indica que de las partículas que han intervenido en el análisis modal, todas se hallan libres, por lo que su grado de liberación es de cien por ciento.

4.4. Muestra de concentrado de pirrotita.

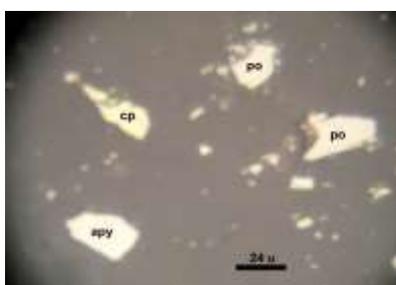
4.4.1. Identificación mineralógica de los minerales presentes en el concentrado de pirrotita.

En el estudio microscópico del concentrado de pirrotita se muestra en la figura N°11 y 12 y se detalla en la tabla N°8 En el siguiente cuadro se insertan los minerales observados y los que han intervenido en el análisis modal:

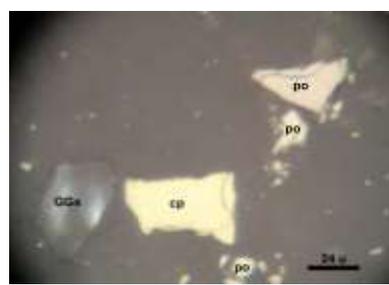
Figura 11 Identificación de los minerales presentes a 500X de concentrado pirrotita foto1.-3



Fot. 1. Partículas libres de pirrotita (po) y de arsenopirita (apy). 500X.



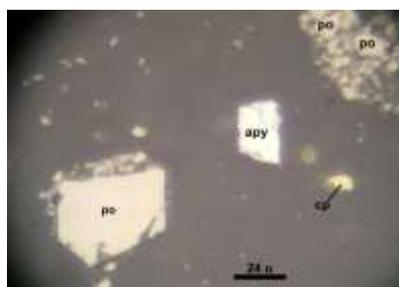
Fot. 2. Partículas libres de calcopirita (cp), de pirrotita (po) y de arsenopirita (apy). 500X.



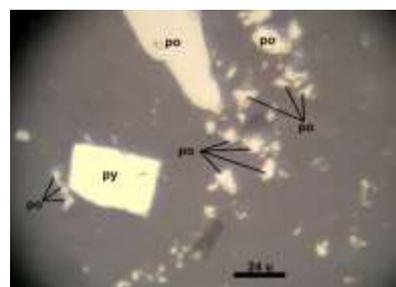
Fot. 3. Partículas libres de calcopirita (cp), de pirrotita (po) y de gangas (GGs). 500X.

En la figura N°11 a 24 micras y a 500X partículas libre en la foto 1 tenemos pirrotita(po) y arsenopirita (apy); en la foto 2 se tiene calcopirita(cp), pirrotita(po), arsenopirita (apy); foto 3 calcopirita(cp), pirrotita(po) y gangas (GGs).

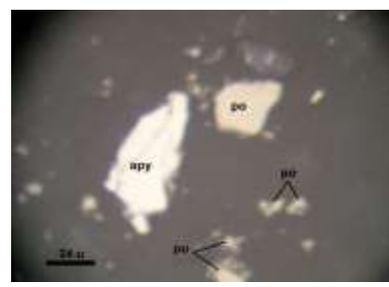
Figura 12 Identificación de los minerales presentes a 500X de concentrado pirrotita foto 4-6



Fot. 4. Partículas libres de pirrotita (po), de calcopirita (cp) y de arsenopirita (apy). 500X.



Fot. 5. Partículas libres de pirrotita (po) y de pirita (py). 500X.



Fot. 6. Partículas libres de pirrotita (po) y de arsenopirita (apy). 500X.

En la figura N°12 a 24 micras y a 500X partículas libre en la foto 4 tenemos pirrotita(po), calcopirita(cp) y arsenopirita (apy); en la foto 5 se tiene pirrotita(po), apirita (py); foto 6 pirrotita(po) y arsenopirita(apy).

En función de la figura N° 9,10 se describen los minerales presentes en el concentrado de pirita cobalto en la tabla N°8.

Tabla 9 Minerales presente en el concentrado de pirota

Minerales	Formula	Abreviatura
Pirrotita	$Fe_{1-x}S$	po
Calcopirita	$CuFeS_2$	cp
Esfalerita	ZnS	ef
Arsenopirita	$FeAsS$	apy
Gangas		GGs

De la tabla N° 9 el concentrado de pirrotita está constituido por los minerales de pirrotita(po), calcopirita(cp), esfalerita(ef), arsenopirita(apy) y gangas (GGs).

Tabla 10 Volúmenes y grados de liberación de los minerales observados concentrado pirrotita

MINERALES			CALCOPIRITA		ESFALERITA		PIRROTITA		ARSENOPIRITA		GANGAS			
			N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V		
Total, de Partículas Libres			3235		45		5		3145		10		30	
% Volumen Partículas libres			100.00		1.39		0.15		97.22		0.31		0.93	
TOT.PARTICULAS	NUMERO	VOLUMEN	CALCOPIRITA		ESFALERITA		PIRROTITA		ARSENOPIRITA		GANGAS			
ENTRELAZADAS	PARTICUL.	PORCENTUAL	N	% V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V		
	0	0.00												
	0	0.00												
TOTAL, ENTREL.	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
TOT.LIB+ENLZ	3235	100.00	45.00		5.00		3145.00		10.00		30.00			
TOT.VOL.PORCENTUAL		100.00		1.39		0.15		97.22		0.31		0.93		
GRADOS DE														
LIB.PORCENTUAL			100.00		100.00		100.00		100.00		100.00			

Símbolos: N = Número de partículas libres y entrelazadas contabilizadas.

% V = Volumen porcentual de las partículas libres y entrelazadas.

4.4.2. Distribución volumétrica y grados de liberación concentrado pirrotita.

La distribución volumétrica en este reporte es en término porcentual, del mismo modo con respecto a los grados de liberación; los cuales se proporcionan para todos los minerales que han intervenido en el análisis modal y se pueden observar en el cuadro siguiente:

Tabla 11 Distribución volumétrica de los minerales identificados concentrado pirrotita

Minerales	Volumen (%)	Grado de liberación (%)
Pirrotita	97.22	100.00
Calcopirita	1.39	100.00
Esfalerita	0.15	100.00
Arsenopirita	0.31	100.00
Gangas	0.93	100.00
TOTAL	100,00	

De las tablas N° 10 y N° 11, se puede interpretación que los grados de liberación de los minerales que han intervenido en el análisis modal:

- La pirrotita ocupa el 97.22% del volumen total de la muestra, de este volumen el 100.00% se halla libre, indica que, de las partículas de este mineral que han intervenido en el análisis modal, todas se hallan libres, por ese motivo su grado de liberación es de cien por ciento.
- La calcopirita ocupa el 1.39% del volumen total de la muestra, de este volumen el 100.00% se halla libre, indicando que, de las partículas de este mineral que han intervenido en el análisis modal, todas se hallan libres, por tanto, su grado de liberación es de cien por ciento.

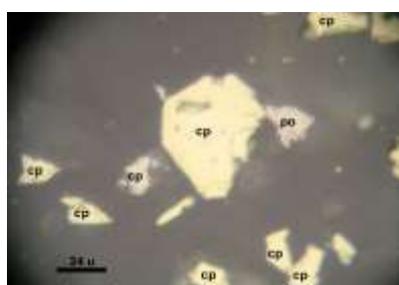
- La esfalerita ocupa el 0.15% del volumen total de la muestra, de este volumen el 100.00% se halla libre, lo que nos indica que, de las partículas de este mineral que han intervenido en el análisis modal, todas se hallan libres, por lo que su grado de liberación es de cien por ciento.
- La arsenopirita ocupa el 0.31% del volumen total de la muestra, de este volumen el 100.00% se halla libre, lo que nos indica que, de las partículas de este mineral que han intervenido en el análisis modal, todas se hallan libres, por lo que su grado de liberación es de cien por ciento.
- La ganga ocupa el 0.93% del volumen total de la muestra, de este volumen el 100.00% se halla libre, lo que nos indica que, de las partículas de este mineral que han intervenido en el análisis modal, todas se hallan libres, por lo que su grado de liberación es de cien por ciento.

4.5. Muestra de concentrado de cobre R-I.

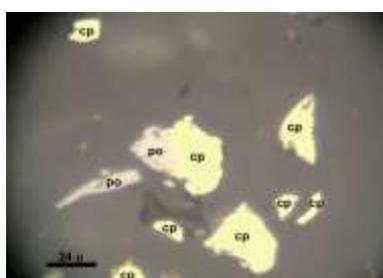
4.5.1. Identificación mineralógica de los minerales presentes en el concentrado de cobre R-I.

En el estudio microscópico del concentrado de cobre R-I, se muestra en la figura N°13, 14 y se detalla en la tabla N°11 los minerales observados y los que han intervenido en el análisis modal:

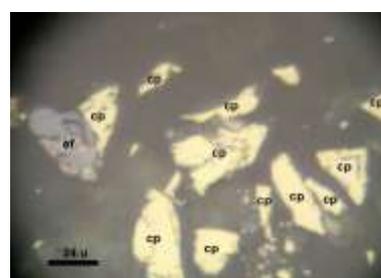
Figura 13 Identificación de los minerales presentes a 500X de concentrado de cobre R-I foto1-3.



Fot. 1. Partículas libres de calcopirita (cp) y de pirrotita (po). 500X.



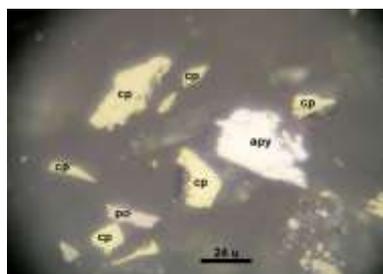
Fot. 2. Partículas libres de calcopirita (cp) y de pirrotita (po); partícula entrelazada de calcopirita (cp) con la pirrotita (po). 500X.



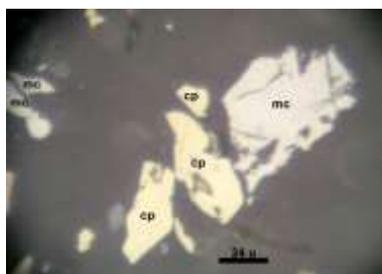
Fot. 3. Partículas libres de calcopirita (cp) y partícula entrelazada de calcopirita (cp) con la esfalerita (ef). 500X.

En la figura N°13 a 24 micras y a 500X partículas libre en la foto 1 tenemos calcopirita(cp) y pirrotita(po); en la foto 2 se tiene partícula libre calcopirita(cp), pirrotita(po) y partícula enlazado calcopirita(cp) y pirrotita(po); foto 3 partícula libre calcopirita(cp), y partícula enlazado calcopirita(cp) con esfalerita(ef).

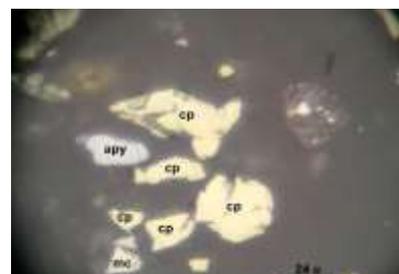
Figura 14 Identificación de los minerales presentes a 500X de concentrado de cobre R-I foto4-7.



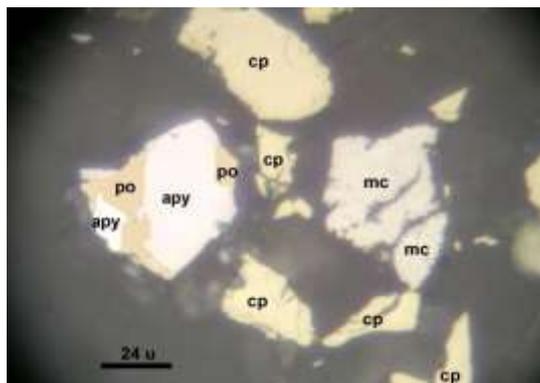
Fot. 4. Partículas libres de calcopirita (cp), de pirrotita (po) y de arsenopirita (apy). 500X.



Fot. 5. Partículas libres de calcopirita (cp) y de marcasita (mc). 500X.



Fot. 6. Partículas libres de calcopirita (cp), de marcasita (mc) y de arsenopirita (apy). 500X.



Fot. 7. Partículas libres de calcopirita (cp) y de marcasita (mc); partícula entrelazada de pirrotita (po) con la arsenopirita (apy). 500X.

En la figura N°14 a 24 micras y a 500X partículas libre en la foto 1 tenemos calcopirita(cp), pirrotita(po) y arsenopirita(apy); en la foto 2 se tiene partícula libre calcopirita(cp) y marcasita(mc); foto 3 partícula libre calcopirita(cp), marcasita(mc) y arsenopirita(apy). Fot. 7. Partículas libres de calcopirita (cp), marcasita (mc) y partícula entrelazada de pirrotita (po) con la arsenopirita (apy).

Tabla 12 Minerales presente en el concentrado de cobre R-I

Minerales	Formula	Abreviatura
Calcopirita	CuFeS_2	cp
Pirrotita	Fe_{1-x}S	po
Arsenopirita	FeAsS	apy
Marcasita	FeS_2	mc
Saflorita	CoS_2	sfl
Rejalgar	AsS	rj
Esfalerita	ZnS	ef
Gangas		GGs

El concentrado de cobre R-I, está constituido por calcopirita(cp), pirrotita(po), arsenopirita(apy), marcasita(mc), saflorita(sfl), rejalgar(rj), esfalerita(ef) y gangas (GGs).

Tabla 13 Volúmenes y grados de liberación de los minerales observados de concentrado de cobre R-I

MINERALES		Calcopirita		Pirrotita		Arsenopirita		Marcasita		Saflorita		Rejalgar		Esfalerita		Gangas		
		N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	
Total, de Partículas Libres	2226		1950		30		120		15		1		0		0		110	
% Volumen Partículas libres		99.33		87.01		1.34		5.35		0.67		0.04		0.00		0.00	4.91	
TOT.PARTICULAS	NUMERO	VOLUMEN	CALCOPIRITA		PIRROTITA		ARSENOPIRITA		MARCASITA		SAFLORITA		REJALGAR		ESFALERITA		GANGAS	
ENTRELAZADAS	PARTICUL.	PORCENTUAL	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V	N	%V
cp-po	10	0.45	6.50	0.29	3.50	0.16												
cp-tj	2	0.09	0.20	0.01									1.80	0.08				
cp-ef	3	0.13	2.85	0.13											0.15	0.01		
TOTAL, ENTREL.	15	0.67	9.55	0.43	3.50	0.16	-	-	-	-	-	-	1.80	0.08	0.15	0.01	-	-
TOT.LIB+ENLZ	2241	100.00	1959.55		33.50		120.00		15.00		1.00		1.80		0.15		110.00	
TOT.VOL.PORCENTUAL		100.00		87.44		1.49		5.35		0.67		0.04		0.08		0.01		4.91
GRADOS	DE																	
LIB.PORCENTUAL			99.51		89.55		100.00		100.00		100.00		0.00		0.00		100.00	

Símbolos: N = Número de partículas libres y entrelazadas contabilizadas.

%V = Volumen porcentual de las partículas libres y entrelazadas.

4.5.2. Distribución volumétrica y grados de liberación concentrado de cobre R-I.

La distribución volumétrica en este reporte es en término porcentual, del mismo modo con respecto a los grados de liberación; los cuales se proporcionan para todos los minerales que han intervenido en el análisis modal y se pueden observar en el cuadro siguiente:

Tabla 14 Distribución volumétrica de los minerales identificados concentrado cobre R-I

Minerales	Volumen (%)	Grado de liberación (%)
Calcopirita	87.44	99.51
Pirrotita	1.49	89.55
Arsenopirita	5.35	100.00
Marcasita	0.67	100.00
Saflorita	0.04	100.00
Rejalgar	0.08	0.00
Esfalerita	0.01	100.00
Gangas	4.91	100.00
TOTAL	100,00	

De acuerdo las tabla N°13 y N°14, se tiene la siguiente interpretación de los grados de liberación de los minerales que han intervenido en el análisis modal:

- La calcopirita ocupa el 87.44% del volumen total de la muestra, de este volumen el 99.51% se halla libre, permaneciendo aun entrelazada el 0.49% restante, el motivo por lo que no se ha liberado totalmente se debe a los diferentes tipos geométricos de entrelazamientos en los cuales están inmersos, como se pueden apreciar en la tabla N° 2 correspondiente a la muestra.
- La pirrotita ocupa el 1.49% del volumen total de la muestra, de este volumen el 89.55 se halla libre, permaneciendo aun entrelazada el 10.45% restante, el motivo por lo que

no se ha liberado totalmente se debe a los diferentes tipos geométricos de entrelazamientos en los cuales están inmersos, como se pueden apreciar en la tabla N° 2 correspondiente a la muestra.

- La arsenopirita ocupa el 5.35% del volumen total de la muestra, de este volumen el 100.00% se halla libre, lo que nos indica que, de las partículas de este mineral que han intervenido en el análisis modal, todas se hallan libres, por lo que su grado de liberación es de cien por ciento.
- La marcasita ocupa el 0.67% del volumen total de la muestra, de este volumen el 100.00% se halla libre, lo que nos indica que, de las partículas de este mineral que han intervenido en el análisis modal, todas se hallan libres, por lo que su grado de liberación es de cien por ciento.
- La saflorita ocupa el 0.04% del volumen total de la muestra, de este volumen el 100.00% se halla libre, lo que nos indica que, de las partículas de este mineral que han intervenido en el análisis modal, todas se hallan libres, por lo que su grado de liberación es de cien por ciento.
- El rejalgar ocupa el 0.08% del volumen total de la muestra, de este volumen el 100.00% se halla libre, lo que nos indica que, de las partículas de este mineral que han intervenido en el análisis modal, todas se hallan libres, por lo que su grado de liberación es de cien por ciento.
- La esfalerita ocupa el 0.01% del volumen total de la muestra, de este volumen el 100.00% se halla libre, lo que nos indica que, de las partículas de este mineral que han intervenido en el análisis modal, todas se hallan libres, por lo que su grado de liberación es de cien por ciento.
- La ganga ocupa el 4.91% del volumen total de la muestra, de este volumen el 100.00% se halla libre, lo que nos indica que, de las partículas de este mineral que han

intervenido en el análisis modal, todas se hallan libres, por lo que su grado de liberación es de cien por ciento.

Tabla 15 tipos geométricos de entrelazamientos de los minerales y sus posibilidades de liberación completa concentrado cobre R-I.

Minerales	Tipo	Num.	Dist.	Posibilidades de liberación
Entrelazados	Entr.	Part.	Porc.	Completa
Partículas Libres		2226	99.33	
cp-po	1aI	5	0.22	Fácil
po-apy	3aI	5	0.22	Moderadamente fácil a difícil
cp-rj	1eII	2	0.09	Muy difícil a imposible
cp-ef	1aI	3	0.13	Fácil
T O T A L		2241	100.00	

En función de la tabla N° 15 el 99.33% de las partículas están libre, el 0.22% enlazada calcopirita pirrotita (cp-po) que pueden ser fácil de liberar, mientras que el 0.22% enlazada calcopirita pirrotita (cp-po) es moderadamente fácil a difícil de liberar, mientras que el 0.09% esta enlazado calcopirita rejalgal muy difícil a imposible de liberar y 0.13% enlazado calcopirita esfalerita (cp-ef) que fácil de liberar.

4.6. Muestra de relave final.

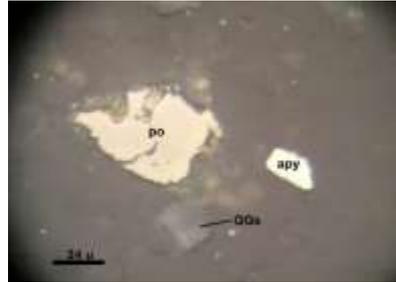
4.6.1. Identificación mineralógica de los minerales presentes en el relave fina.

En el siguiente cuadro se insertan los minerales observados y los que han intervenido en el análisis modal:

Figura 15 Identificación de los minerales presentes a 500X de relave final foto1-3.



Fot. 1. Partículas libres de arsenopirita (apy). 500X.



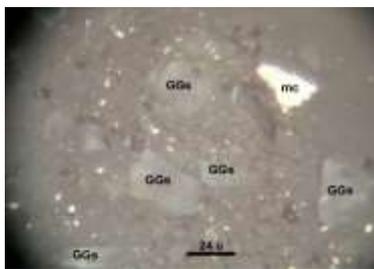
Fot. 2. Partículas libres de pirrotita (po), de arsenopirita (apy) y de gangas (GGs). 500X,



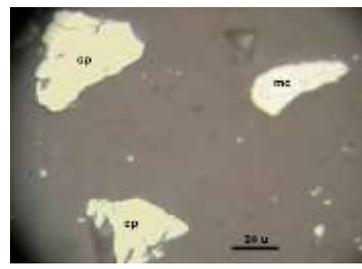
Fot. 3. Partículas libres de arsenopirita (apy). 500X.

En la figura N°15 a 24 micras y a 500X partículas libre en la foto 1 tenemos arsenopirita(apy); en la foto 2 se tiene partícula libre pirrotita(po), arsenopirita(apy) y gangas (GGs); foto 3 partícula libre arsenopirita(apy).

Figura 16 Identificación de los minerales presentes a 500X de relave final foto4-5.



Fot. 4. Partículas libres de marcasita (mc) y de gangas (GGs). 500X.



Fot. 5. Partículas libres de calcopirita (cp) y de marcasita (mc). 500X.

En la figura N°16 a 24 micras y a 500X partículas libre en la foto 4 tenemos marcasta(mc); en la foto 5 se tiene partícula libre de calcopirita(cp) y marcasita(mc).

Tabla 16 Minerales presente en el relave final

Minerales	Formula	Abreviatura
Arsenopirita	FeAsS	apy
Pirrotita	Fe _{1-x} S	po
Marcasita	FeS ₂	mc
Gangas		GGs

De acuerdo la tabla N°16 el relave está constituido por arsenopirita(apy), pirrotita(po), marcasita(mc) y gangas (GGs).

Tabla 17 Volúmenes y grados de liberación de los minerales observados en el relave general

MINERALES			ARSENOPIRITA		PIRROTITA		MARCASITA		GANGAS	
			N	%V	N	%V	N	%V	N	%V
Total, de Partículas Libres	2435		740		15		55		1625	
% Volumen	Partículas									
libres		100.00	30.39		0.62		2.26		66.74	
TOT.PARTICULAS	NUMERO	VOLUMEN	ARSENOPIRITA		PIRROTITA		MARCASITA		GANGAS	
ENTRELAZADAS	PARTICUL.	PORCENTUAL	N	% V	N	%V	N	% V	N	% V
	0	0.00								
	0	0.00								
TOTAL, ENTREL.	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOT.LIB+ENLZ	2435	100.00	740.00		15.00		55.00		1625.00	
TOT.VOL.PORCENTUAL		100.00	30.39		0.62		2.26		66.74	
GRADOS DE										
LIB.PORCENTUAL			100.00		100.00		100.00		100.00	

Símbolos: N = Número de partículas libres y entrelazadas contabilizadas.

%V = Volumen porcentual de las partículas libres y entrelazadas.

4.6.2. Distribución volumétrica y grados de liberación en el relave final.

La distribución volumétrica en este reporte es en término porcentual, del mismo modo con respecto a los grados de liberación; los cuales se proporcionan para todos los minerales que han intervenido en el análisis modal y se pueden observar en el cuadro siguiente:

Figura 17 Distribución volumétrica de los minerales identificados en el relave general

Minerales	Volumen (%)	Grado de liberación (%)
Arsenopirita	30.39	100.00
Pirrotita	0.62	100.00
Marcasita	2.26	100.00
Gangas	66.74	100.00
TOTAL	100,00	

En función de la tabla N°17 y N°18 se hará la siguiente interpretación de los grados de liberación de los minerales que han intervenido en el análisis modal del relave general:

- La arsenopirita ocupa el 30.39% del volumen total de la muestra, de este volumen el 100.00% se halla libre, lo que nos indica que, de las partículas de este mineral que han intervenido en el análisis modal, todas se hallan libres, por lo que su grado de liberación es de cien por ciento.
- La pirrotita ocupa el 0.62% del volumen total de la muestra, de este volumen el 100.00% se halla libre, lo que nos indica que, de las partículas de este mineral que han intervenido en el análisis modal, todas se hallan libres, por lo que su grado de liberación es de cien por ciento.
- La marcasita ocupa el 2.26% del volumen total de la muestra, de este volumen el 100.00% se halla libre, lo que nos indica que, de las partículas de este mineral que han

intervenido en el análisis modal, todas se hallan libres, por lo que su grado de liberación es de cien por ciento.

- La ganga ocupa el 66.74% del volumen total de la muestra, de este volumen el 100.00% se halla libre, lo que nos indica que, de las partículas de este mineral que han intervenido en el análisis modal, todas se hallan libres, por lo que su grado de liberación es de cien por ciento.

CAPITULO V

DISCUSIÓN CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Discusión.

En el estudio sobre análisis microscópico de minerales para la identificación de componentes mineralógicos, se tiene para los minerales de cabeza el porcentaje en volumen ocupan el 90% partículas libres y el 10% asociadas. Los minerales presentes tenemos pirrotita(po), carbonatos(c), calcopirita (cp), arsenopirita(apy), pirita(py), esfalerit(ef), sulfoarseniuro de Ni-Co y gangas (GGs). En la malla +48m minerales mixto arsenopirita/calcopirita, calcopirita/sulfoarseniuro Ni-Co, pirita/ganga, pirrotita/ganga. Para la malla+100m arsenopirita/calcopirita/pirrotita/ganga y calcopirita/pirrotita. En la malla +200m calcopirita/pirita, calcopirita/pirrotita, calcopirita/ganga y pirrotita/ganga.

Para la malla +400m calcopirita/pirrotita, pirrotita/ganga. En los pasante -400m calcopirita/ganga y pirrotita débilmente cohesionados.

En el concentrado de pirita cobalto está constituido de calcopirita(cp) 1.95%, pirrotita(po) 85.16%, arsenopirita(apy) 10.95%, pirita(py) 1.46%, marcasita(mc) 0.24% y saflorita(sfl) 0.24%, todo el mineral está libre a 24 μ a 500X.

En concentrado de pirrotita está constituido por los minerales de pirrotita(po) 97.22% calcopirita(cp) 1.39%, esfalerita(ef) 0.15%, arsenopirita(apy) 0.31% y gangas (GGs) 0.93%, todo el mineral está libre a 24 μ a 500X.

Mientras que el concentrado de cobre R-I, está constituido por calcopirita(cp) 87.44%, pirrotita(po) 1.49%, arsenopirita(apy) 5.35%, marcasita(mc) 0.67%, saflorita(sfl) 0.04%, rejalgar(rj) 0.08%, esfalerita(ef) 0.01% y gangas (GGs) 4.91%. Se tiene material entrelazada calcopirita/pirrotita, calcopirita/esfalerita y pirrotita/arsenopirita a 24 μ a 500X. Estos minerales el 99.33% de las partículas están libre, el 0.22% enlazada calcopirita pirrotita (cp-

po) que pueden ser fácil de liberar, mientras que el 0.22% enlazada calcopirita pirrotita (cp-po) es moderadamente fácil a difícil de liberar, mientras que el 0.09% esta enlazada calcopirita rejalgal muy difícil a imposible de liberar y 0.13% enlazado calcopirita esfalerita (cp-ef) que fácil de liberar.

Por otra parte, el relave está constituido por arsenopirita(apy) 30.39%, pirrotita(po) 0.62%, marcasita(mc) 2.26% y gangas (GGs) 66.74%, todo el mineral está libre a 24μ a 500X.

La **(Puente)**, La recuperación de Au refractario no es producto de oclusión del mineral en otra fase, reducciones a menos de 45μ promueve recuperación menor al 20%, el Au esta como nano inclusión, confirmado recuperación 67%, 70% en las muestras.

(Valeriano), El aspecto técnico el estudio mineragrafico y determinación microscópica del grado de liberación permitirá tomar medidas de control en proceso de flotación y exige preparación de briquetas pulidas de calidad para su estudio y determinación del grado de liberación.

(Ircañaua), Para la determinación de textura de rocas en el área de estudio se agrupar en dos grupos: primer grupo compuesto de rocas volcánicas compuesta de ferromagnesianos, el segundo compuesta de holocristalina, característico de dioritas, gabrodioritas, tonalitas, granitos y granodioritas.

(Maldonado), Las fases minerales opacas se presentan principalmente como partículas mixtas de tamaño variable entre 10μ y 500μ y como inclusiones de tamaño inferior a 50μ en minerales transparentes como cuarzo y feldespatos.

Para **(Melgarejo, Proenza, Salvador, & Llovet)**, el estudio cuantitativas aporta elementos valiosos, desde la fase de exploración a estudio de viabilidad del depósito. solo pueden ser viables en caso de que el tipo de depósito que se trata de localizar presente un fuerte valor añadido.

5.2. Conclusiones.

En el presente estudio sobre análisis microscópico de minerales para la identificación de componentes mineralógicos se concluyen:

- Que los minerales presentes en el presente estudio están compuestos de pirrotita(po), carbonatos(c), calcopirita (cp), arsenopirita(apy), pirita(py), esfalerita(ef), sulfoarsenioro de Ni-Co y gangas (GGs), de los cuales el 90% de los minerales están libre y el 10% están asociados en porcentaje de volumen.
- El concentrado de pirita cobalto a 24 μ a un aumento de 500X los minerales están libre y constituido de pirrotita(po) 97.22% calcopirita(cp) 1.39%, esfalerita(ef) 0.15%, arsenopirita(apy) 0.31% y gangas (GGs) 0.93%.
- Para el concentrado de pirrotita a 24 μ a un aumento de 500X todo el mineral están libre está, constituido por los minerales de pirrotita(po) 97.22% calcopirita(cp) 1.39%, esfalerita(ef) 0.15%, arsenopirita(apy) 0.31% y gangas (GGs) 0.93%.
- El concentrado de cobre R-I, a 24 μ a un aumento de 500X el 99.33% están libre y entrelazada calcopirita/pirotita(0.22%), calcopirita/esfalerita(0.13%), pirrotita/arsenopirita(0.22%), calcopirita/rejalgal(0.09%) y está constituido por calcopirita(cp) 87.44%, pirrotita(po) 1.49%, arsenopirita(apy) 5.35%, marcasita(mc) 0.67%, saflorita(sfl) 0.04%, rejalgar(rj) 0.08%, esfalerita(ef) 0.01% y gangas (GGs) 4.91%.
- El relave está constituido por arsenopirita(apy) 30.39%, pirrotita(po) 0.62%, marcasita(mc) 2.26% y gangas (GGs) 66.74%, todo el mineral está libre a 24 μ a un aumento de 500X.
- El concentrado de R-I, tiene una parte enlazados de 0.67% y libre de 99.33%, respecto al concentrado de pirita cobalto, concentrado de pirrotita y relave están libre 24 μ observado a 500X.

5.3. Recomendaciones .

Las recomendaciones en virtud al trabajo realizado sobre análisis microscópico de minerales para la identificación de componentes mineralógicos se tienen:

- En virtud a la similitud en la composición mineralógica, posibilita que todas las muestras puedan ser objeto de un proceso de concentración único. Lo lógico sería obtener un Concentrado de flotación Cu. Si el Relave presentara leyes de Au, tendría que aplicarse lixiviación; sin embargo, dado que es muy probable que el los portadores principales fueran pirrotita y arsenopirita, dicha lixiviación resultaría muy complicada.
- Para una flotación adecuada se debe aplicar una molienda moderada (del orden de un 70% -200M)
- Flotar el material intercalando previamente una etapa de concentración magnética (para eliminar la mayor cantidad posible de pirrotita; en todo caso, el concentrado magnético deberá ser analizado por Au, para descartar si la pirrotita es o no aurífera), tratando de deprimir lo más exitosamente posible la arsenopirita, los sulfoarseniuros de Ni-Co y la pirita; el producto debería ser un buen concentrado de Cu con leves contenidos de Zn.
- Flotar nuevamente el Relave obtenido (o limpiarlo mediante gravimetría), para eliminar la mayor cantidad de gangas posible (Si las leyes de Ni-Co del Relave obtenido resultan significativas).
- Investigar la factibilidad de cianurar directamente este nuevo Concentrado (que debería estar lo más libre posible de carbonatos y gangas en general), para recuperar el Au de la arsenopirita (y, eventualmente, de la pirita).

BIBLIOGRAFÍA

- Berezueta, E., & Dominguez, M. (2010). *Técnicas aplicadas a la caracterización y aprovechamiento de recursos geológico- minero*. Oviedo: CYTED. Obtenido de [https://books.google.com.pe/books?id=tBX78PCX4ZQC&pg=PA26&dq=Reflectancia a+de+los+minerales,+pdf&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwidpJ673cHgAhWPjlkKHc-EDpIQ6AEIKDAA#v=onepage&q=Reflectancia%20de%20los%20minerales%2C%20pdf&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=tBX78PCX4ZQC&pg=PA26&dq=Reflectancia+de+los+minerales,+pdf&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwidpJ673cHgAhWPjlkKHc-EDpIQ6AEIKDAA#v=onepage&q=Reflectancia%20de%20los%20minerales%2C%20pdf&f=false)
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación* . Chía: Pearson.
- Berezueta, E., & Castroviejo, R. (2007). Reconocimiento automatizado de menas metálicas mediante análisis digital de imagen: un apoyo al proceso mineralúrgico. I: ensayo metodológico(.). *Revista de metalurgia*, 308. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/148659586.pdf>
- Carrasco, S. (2005). *Metodología de la investigación científica* . Lima: San marcos.
- Chirif, L. (2010). *Microscopía optica de mienerales*. Lima: INGEMMET.
- Enciclopedia de conceptos. (13 de 02 de 2019). *Microscopio*. Obtenido de concepto.de: <https://concepto.de/microscopio/>
- Equipos y laboratorio. (11 de 02 de 2019). *Microscopio petrográfico*. Obtenido de Equipos y laboratorio: https://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos_mo.php?it=13084
- Fernandez, C. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico D.F: Mc Gram Hill .
- Gutierrez, L. (2017). Estudio del tratamiento de minerales sulfurados auríferos mediante procesos secuenciales de flotación, lixiviación alcalina, biolixiviación y cianuración para la recuperación de oro. *Título Profesional de Ingeniero Químico*. Universidad

- Nacional Mayor de San Marcos, Lima. Obtenido de <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2011/137831.pdf>
- Infaimon. (09 de 02 de 2019). *Magnificación*. Obtenido de infaimon: <https://www.infaimon.com/enciclopedia/magnificacion/>
- INGEMMET. (13 de 02 de 2019). *Petromineralogía*. Obtenido de Instituto geológico minero y metalúrgico: http://www.ingemmet.gob.pe/web/lab/minerograficos_pt
- Ipohorski, M., & Bozzano, P. (2013). *Microscopía electrónica de barrido en la caracterización de materiales*. Obtenido de Asociación argentina para el progreso de la ciencia: <http://aargentinapciencias.org/wp-content/uploads/2018/01/RevistasCeI/tomo63-3/5-MICROSCOPIA-ELECTRONICA-DE-BARRIDO-EN-LA-CARACTERIZACION-DE-MATERIALES-cei63-3-2013-5.pdf>
- Ircañaupa, Y. (2017). Comportamiento de la mineralización de oro en el batolito de la costa, en la super unidad Santa Rosa, Chosica-Lima. *Gradoacadémico de magíster en Geología con mención en minas y recursos energéticos*. Universidad nacional mayor de san marcos, Lima. Obtenido de http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/7109/Irca%C3%B1aupa_ay.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Jiménez, J., & Velilla, N. (2004). Óptica mineral: una herramienta informática para el estudio de los minerales en el microscopio petrográfico. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 61. Obtenido de scielo cuba: https://www.researchgate.net/publication/28252212_Optica_mineral_una_herramienta_informatica_para_el_estudio_de_los_minerales_en_el_microscopio_petrografico
- Maldonado, R. (2008). Caracterización mineralógica de fases minerales metálicas en muestras de jales del distrito minero El Oro-Tlalpujahuá. *Grado de ingeniero*

geologico. Univesidad nacional autónoma de méxico, DF méxico. Obtenido de http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/7936/1/Tesis_El_Oro_Tlalpujahu.pdf

Maldonado, R. (2008). Caracterización mineralógica de fases minerales metálicas en muestras de jales del distrito minero El Oro-Tlalpujahu. *Ingeniero geólogo*. Universidad nacional autónoma de méxico, CD méxico.

Melgarejo, J., Proenza, P., Salvador, G., & Llovet, X. (2010). Técnicas de caracterización mineral y su aplicación en exploración y explotación minera. *Scielo*. Obtenido de Red Cien: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-33222010000100002

mundomicroscopio. (10 de 02 de 2019). *El microscopio óptico*. Obtenido de Mundo microscopio: <https://www.mundomicroscopio.com/>

Nano futuro. (05 de 02 de 2019). *Microscopio scanning tunneling microscope (STM) y (SEM)*. Obtenido de Nano ciencia informando: <https://nanocienciainforma.wordpress.com/microscopio-de-efecto-tunel-scanning-tunneling-microscope-stm/>

Narváez, D. (12 de 02 de 2019). *La micriscopía*. Obtenido de Historia medica ULA: <http://www.medic.ula.ve/histologia/anexos/microscopweb/MONOWEB/inicio.htm>

Puente, J. (2018). Identificación de oro “invisible” en piratas auríferas mediante la caracterización de zonaciones asociadas a arsénico en solución sólida. *Grado de maestro*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí,. Obtenido de <http://ciep.ing.uaslp.mx/tesis/tesisPDF/20320189992.pdf>

Rengel, J. (2007). *Elementos de mineralogía óptica para estudiantes de ciencias de la tierra*. Guayaquil: Elseviers. Obtenido de <https://es.slideshare.net/RogerAlexisAlcivar/mineraloga-63464351>

- Sánchez, N., Luque del Villar, F., & Piña, R. (2011). Mineralogía II de grado en geología - prácticas. *Reduca(geologia)*, 9. Obtenido de <http://www.revistareduca.es/index.php/reduca-geologia/article/view/850/870>
- Sorrivas de Lozano, V., Morales, A., & Yañez, M. (2014). *Principios y prácticas de la microscopía electrónica*. Bahía Blanca: UAT-CONICET. Obtenido de <https://www.bahiablanca-conicet.gob.ar/biblioteca/principios-practica-microscopia-electronica.pdf>
- Valeriano, M. (2018). Estudio mineragráfico y determinación microscópica del grado de liberación de los minerales sulfurados de cobre. *Titulo profesional de ingeniero metalurgista*. Universidad nacional san agustin de arequipa, Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6724/IMvaqum.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS

Anexo 1 Mina - Distrito de Huanuhuanu

TIPOS GEOMETRICOS DE INTERCRECIMIENTOS ENTRE MINERALES											
POSIBILIDADES DE LIBERACION COMPLETA											
MALLAS < 150											
	I	II	III	IV	LIBERACION		I	II	III	IV	LIBERACION
1a SIMPLE					FACIL	2d COLOFORME					MUY DIFICIL A IMPOSIBLE
1b AMEBOIDE					MODERADAMENTE FACIL	3a SANDWICH					MODERADAMENTE FACIL A DIFICIL
1c GRAFICO					IMPOSIBLE	3b ESTRATIFICADO					IMPOSIBLE
1d DISEMINADO					IMPOSIBLE	3c RETICULAR					IMPOSIBLE
1e INCLUSION					MUY DIFICIL A IMPOSIBLE	3d VETEADO					MUY DIFICIL A IMPOSIBLE
2a CORONA					MUY DIFICIL A IMPOSIBLE	4a BORDE COMPUESTO					MUY DIFICIL
2b SUB-CORONA					MUY DIFICIL	4b COMPENETRACION					MODERADAMENTE DIFICIL
2c CONCENTRICO					MUY DIFICIL A IMPOSIBLE	4c INTERSTICIAL					MUY DIFICIL A IMPOSIBLE

Anexo 2 Matriz de consistencia general

Titulo	Problema Generales	Objetivos General	Hipótesis General	Variable Independiente	Indicadores
ANÁLISIS MICROSCÓPICO DE MINERALES PARA LA IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES MINERALÓGICOS	¿Será posible realizar un análisis microscópico de minerales, que nos permita la identificación de componentes mineralógicos presentes en la muestra?	Evaluar mediante el análisis microscópico a los minerales, para su identificación de componentes mineralógicos presentes en la muestra.	Realizando el estudio por análisis microscópico de minerales se podrá identificar los componentes mineralógicos que contiene.	Análisis microscópico	<ul style="list-style-type: none"> - Grado de liberación. - Aumento. - Caracterización

Anexo 3 Matriz de consistencia específico

Titulo	Problema Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicos	Variable Dependiente	Indicadores
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">ANÁLISIS MICROSCÓPICO DE MINERALES PARA LA IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES MINERALÓGICOS</p>	<p>¿En qué medida un adecuado grado de liberación de los minerales, nos podrá realizar el análisis modal adecuado?</p>	<p>Evaluar en qué medida el grado de liberación de los minerales, nos permitirá realizar un análisis modal adecuado.</p>	<p>Realizando un adecuado grado de liberación de los minerales, se podrá realizar el análisis modal.</p>	<p>Identificación de componente</p>	<p>- Análisis modal</p>
	<p>¿En qué medida un adecuado aumento y calibración del equipo, nos podrá permitir tener una imagen visible adecuado para calcular el porcentaje de distribución volumétrica de las especies presentes en la muestra?</p>	<p>Evaluar en que, medida un aumento y calibración del equipo, nos permitirá tener una imagen visible para calcular el porcentaje de distribución volumétrica de las especies presentes en la muestra.</p>	<p>Realizando un adecuado aumento y calibración del equipo, se podrá tener una imagen visible para calcular el porcentaje de distribución volumétrica de las especies presentes en la muestra.</p>		<p>- Porcentaje de distribución volumétrica.</p>
	<p>¿Sera posible y adecuada una caracterización en el microscopio de la muestra, que nos permita identificar las especies de mineral presentes?</p>	<p>Evaluar en qué medida la caracterización en el microscopio de la muestra, nos permitirá identificar las especies de mineral presentes.</p>	<p>Realizando una adecuada caracterización en el microscopio de la muestra, se podrá identificar las especies de mineral presentes.</p>		<p>- Identificar las especies de minerales</p>

**ANÁLISIS MICROSCÓPICO DE MINERALES PARA LA
IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES MINERALÓGICOS**

.....
M(o). IPANAQUE ROÑA, JUAN MANUEL
Presidente

.....
M(o). COCA RAMIREZ, VICTOR RAUL
Secretario

.....
M(o). ABARCA RODRIGUEZ, JOAQUIN JOSÉ.
Vocal

.....
Dr. RUIZ SANCHEZ, BERARDO BEDER
Asesor