

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA



**MICROSCOPIA APLICADA A LOS PROCESOS
METALURGICOS**

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO METALURGISTA**

PRESENTADO POR:
RODRIGO LUIS PORFIRIO ARANDA AYALA

LIMA – PERU

2011

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado a mi Padres
Ada y Luis por el apoyo constante y
abnegado que me brindaron y las
ganas de superación que me
inculcaron.

RESUMEN

En este informe describe la utilización del microscopio en los procesos metalúrgicos como una herramienta tradicional muy importante para el estudio de los materiales, en particular de aleaciones metálicas y para la determinación de la mineralogía presente en una muestra de mineral con presencia de plata y oro, determinación del grado de liberación alcanzado, si el proceso metalúrgico utilizado ha sido el correcto y la razón por la cual se pierde parte de la plata y oro en el relave.

Este trabajo se pretende analizar la mineralogía de una muestra de mineral de oro y plata mediante microscopía óptica observando formas, tipos y problemas frecuentes presentes en las diferentes etapas del proceso (mineral de cabeza, concentrado y relave) así como realizar un análisis cuantitativo de la separación de los concentrados para poder comprobar si los métodos de recuperación son los adecuados o requieren de ajustes.

Se utiliza el método de conteo rápido utilizado ampliamente en INGEMMET Y BISA el cual consiste de un conteo visual al microscopio óptico determinando el número de granos presentes, tanto libre como asociados y tipos de intercrecimientos presentes y con ello poder determinar el % de Grado de Liberación presentes que tienen las diferentes especies minerales.

INDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	7
CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES	
1.1 Objetivo general.....	9
1.2 Justificación.....	9
1.3 Método de Estudio.....	10
CAPITULO II: MICROSCOPIA BASICA	
2.1 Definición.....	11
2.2 Historia.....	11
2.3 Fundamentos Físicos – ópticos	16
2.3.1 Geometría óptica.....	16
2.3.2 Fundamentos Físicos.....	21
2.3.3 Resolución Microscópica de la luz – Magnificación	24
2.4 Partes del Microscopio.....	26
2.4.1 Objetivos.....	26
2.4.2 Oculares.....	32
2.4.3 Condensadores.....	34
2.4.4 Partes mecánicas.....	34
2.4.5 Accesorios adicionales comunes.....	35
2.5 Tipos de microscopios.....	36
CAPITULO III: MICROSCOPIA EN LOS ANALISIS METALOGRAFICOS	

3.1	Definición.....	37
3.2	Preparación de muestras metalográficas.....	38
3.2.1	Corte metalográfico.....	38
3.2.2	Embutidora metalográfica.....	38
3.2.3	Pulido metalográfico.....	39
3.2.4	Pulido electrolítico.....	40
3.2.5	Ataque químico.....	41
3.3	Descripción del microscopio metalúrgico.....	43

CAPITULO IV: MICROSCOPIA APLICADA AL ESTUDIO DE CONCENTRADOS Y RELAVES PARA OPTIMIZAR SU RECUPERACIÓN.

4.1	Definición.....	46
4.2	Objetivo.....	46
4.3	Descripción del microscopio de polarización.....	46
4.3.1	Polarización.....	47
4.3.2	Microscopio de polarización.....	48
4.4	Fundamentos prácticos.....	52
4.4.1	Método de estudio.....	54
4.4.2	Preparación de la muestra.....	54
4.4.3	Estudio mineralógico por microscopía óptica de un mineral de oro y plata.....	55
4.5	Análisis mineralógico por microscopía óptica.....	60
4.5.1	Muestra mineral de cabeza.....	60
	Análisis mineralográfico malla + 200	61
	Análisis mineralográfico malla + 270	63
	Análisis mineralográfico malla + 400	65

Análisis mineralográfico malla - 400	67
Resumen y resultados.....	69
4.5.2 Muestra de concentrado.....	73
Análisis mineralográfico malla + 200	74
Análisis mineralográfico malla + 270	76
Análisis mineralográfico malla + 400	78
Análisis mineralográfico malla - 400	80
Resumen y resultados.....	82
4.5.3 Muestra de relave.....	86
Análisis mineralográfico malla + 200	87
Análisis mineralográfico malla + 270	89
Análisis mineralográfico malla + 400	91
Análisis mineralográfico malla - 400	93
Resumen y resultados.....	95
CONCLUSIONES.....	99
BIBLIOGRAFIA.....	102

INTRODUCCIÓN

La Microscopía en los procesos metalúrgicos en la actualidad es de mucha importancia especialmente en la Metalurgia Extractiva por que con esta herramienta se podrá determinar el comportamiento de los materiales valiosos con respecto a los minerales denominados gangas y poder así determinar que procedimiento es el más adecuado para obtener la mayor recuperación del mineral valioso con el menor costo, saber si el mineral valioso esta liberado de la ganga, tener conocimiento de que minerales presentes son nocivos para los minerales valiosos que hacen su recuperación más difícil y por lo tanto más costosa en la aplicación de los diferentes procesos (Molienda, Flotación, dosificación de reactivos, recuperación de relaves, etc.)

Este informe se ha dividido en cuatro capítulos:

El capítulo I dedicado a los aspectos generales que se basa este informe.

El capítulo II dedicado principalmente a tener un conocimiento básico de cómo es un microscopio y poder entender su funcionamiento

El capítulo III donde enfocamos la Microscopia Metalográfica más conocida y difundida en la cual solo mencionaremos los principios básicos, algunos fundamentos y metodologías de trabajo.

Y el capítulo **IV** que vendría a ser la parte experimental de la aplicación de la microscopía óptica en una muestra de mineral de oro y plata para realizando un estudio en la cabeza, concentrado y relaves y poder optimizar su recuperación.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 Objetivos Generales.

Poder tener una guía de los principios y bondades de la microscopía y cómo se utilizan los Microscopio en general, incidiendo preferentemente en los Microscopios utilizados en los procesos metalúrgicos como son los microscopios metalográficos y los microscopios de polarización.

Determinar la mineralogía presente, utilizando el microscopio óptico, en un minerales de oro y plata, el grado de liberación alcanzado y poder determinar si el proceso aplicado ha sido el más indicado.

1.2 Justificación.

Como se sabe la molienda permite la liberación de los minerales, pero esta liberación depende de los tamaños de los diferentes minerales, siendo más difícil de lograr una buena liberación cuando los minerales son más pequeños.

El método de estudio consiste en contar los diferentes granos observados en un campo del ocular del microscopio, para lo cual se cuentan los minerales libres, los

minerales mixtos y se anotan los diferentes tipos de intercrecimientos y los porcentajes de cada uno de ellos en la fracción mixta. Con esta información se puede determinar el grado de liberación alcanzado por malla.

Las muestras para el presente estudio han sido tamizadas a mallas 200, 270 y 400, habiéndose obtenido 4 productos.

De cada producto se preparó una sección pulida, la cual fue estudiada al microscopio óptico.

1.3 Método de Estudio.

Para el presente trabajo se han considerado muestras de cabeza, concentrado y relave, de una mina de plata y oro, de los cuales se quiere conocer lo siguiente:

- Los minerales presentes
- Tamaños
- Porcentajes de cada uno de ellos
- Asociaciones mineralógicas o intercrecimientos.
- Grado de liberación alcanzado por mallas.

Se utiliza el método de conteo rápido utilizado ampliamente en empresas como INGEMMET Y BISA el cual consiste de un conteo visual al microscopio óptico determinando el número de granos presentes, tanto libre como asociados y tipos de intercrecimientos presentes y con ello poder determinar el % de grado de Liberación presentes que tienen las diferentes especies minerales.

CAPITULO II

PRINCIPIOS BASICOS DE LA MICROSCOPIA

2.1 Definición.-

El Microscopio es un instrumento diseñado para producir imágenes visuales magnificando o fotografiando los objetos pequeños. El Microscopio debe de cumplir las siguientes tareas: producir una imagen ampliada de la muestra, separar los detalles en la imagen y hacer que los detalles sean visibles para el ojo humano o la cámara fotográfica. Este grupo de instrumentos incluyen diversos diseños de lentes con múltiples objetivos, oculares y condensadores, pero también dispositivos muy simples de solo una lente que a menudo son de mano.

2.2 Historia.

Los primeros conocimientos que se tiene acerca del uso de lentes para magnificación, son aquellos que reportan el uso de ellos por parte del árabe Alhazen proveniente de lo que hoy es Irán, alrededor del siglo 10 y 11.

El contradujo la teoría de la visión de Ptolomeo y Euclides, en donde se contemplaba que los objetos eran vistos por rayos que emanaban de los ojos. Su

nueva teoría se basaba en que los rayos se originaban en el objeto de visión y no en el ojo.

Por sus múltiples observaciones y su extensiva investigación, Alhazen ha sido considerado como el padre de la óptica moderna.



Figura N° 2.1 Alhazen

Ya los antiguos sabían que los espejos curvos y las esferas de cristal llenas de agua aumentaban el tamaño de las imágenes. En las primeras décadas del siglo XVII se iniciaron experiencias con lentes (así llamadas por tener forma de lentejas) a fin de lograr el mayor aumento posible. Para ello se basaron en otro instrumento con lentes que obtuvo gran éxito, el telescopio, usado por primera vez con fines astronómicos por Galileo, en 1609. Antes de esta fecha, los seres vivientes más pequeños conocidos eran insectos diminutos. Naturalmente, se daba por sentado que no existía organismo alguno más pequeño.

Los instrumentos para aumentar la visión de los objetos, o microscopios (la palabra griega significa “para ver lo pequeño”) comenzaron a usarse progresivamente. Por primera vez la biología se ampliaba y extendía gracias a un mecanismo que llevaba

el sentido de la vista humana más allá de sus límites naturales. Así, los naturalistas podían describir en detalle los pequeños organismos, cosa de otro modo imposible, y los anatomistas podían descubrir estructuras hasta entonces invisibles. Existían dos tipos de microscopios: El sencillo y el compuesto; el sencillo no era más que una lente montada, el compuesto estaba formado por una combinación de lentes y fue inventado por Zacharias Jansen en Holanda.

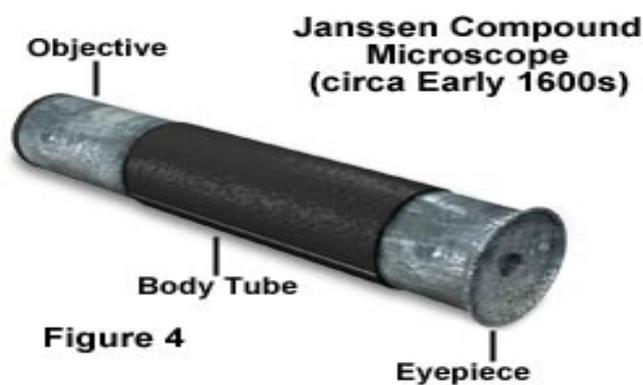


Figure 4

Figura N° 2.2 Microscopio de Jansen

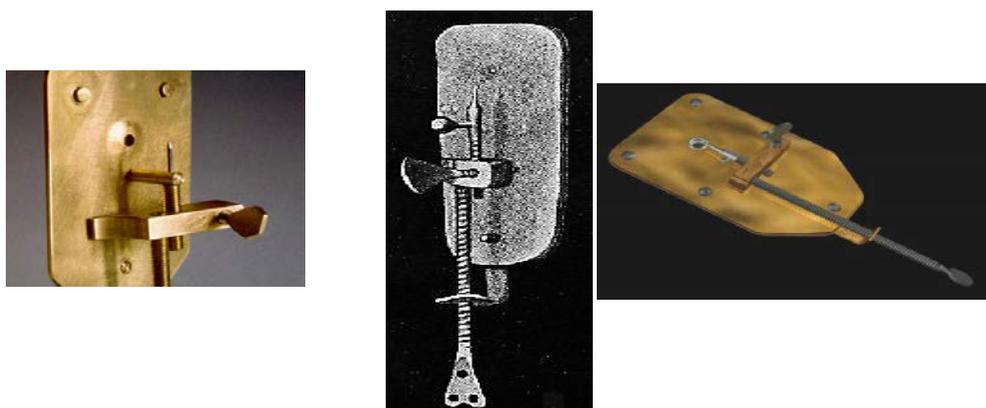


Figura N° 2.3 Los primeros microscopios

El microscopio fue inventado hacia los años 1610, por Galileo Galilei, según los italianos, o por Zacharias Jansen, en opinión de los holandeses. En 1628 aparece

en la obra de William Harvey sobre la circulación sanguínea al observar al microscopio los capilares sanguíneos y Robert Hooke publica su obra *Micrographia*. En 1665 Hooke observó con un microscopio un delgado corte de corcho y notó que el material era poroso, en su conjunto, formaban cavidades poco profundas a modo de celditas a las que llamó células. Se trataba de la primera observación de células muertas. Unos años más tarde, Malpighi, anatomista y biólogo italiano, observó células vivas. Fue el primero en estudiar tejidos vivos al microscopio.

A mediados del siglo XVII un holandés, Anton van Leeuwenhoek, utilizando microscopios simples de fabricación propia, describió por primera vez protozoos, bacterias, espermatozoides y glóbulos rojos. El microscopista Leeuwenhoek, sin ninguna preparación científica, puede considerarse el fundador de la bacteriología. Tallaba él mismo sus lupas sobre pequeñas esferas de cristal, cuyos diámetros no alcanzaban el milímetro (su campo de visión era muy limitado, de décimas de milímetro). Con estas pequeñas distancias focales alcanzaba los 275 aumentos. Observó los glóbulos de la sangre, las bacterias y los protozoos; examinó por primera vez los glóbulos rojos y descubrió que el semen contiene espermatozoides. Durante su vida no reveló sus métodos secretos y a su muerte, en 1723, 26 de sus aparatos fueron cedidos a la Royal Society de Londres.

Durante el siglo XVIII continuó el progreso y se lograron objetivos acromáticos por asociación de vidrios flint y crown obtenidos en 1740 por H. M. Hall y mejorados por John Dollond. De esta época son los estudios efectuados por Isaac Newton y Leonhard Euler. En el siglo XIX, al descubrirse que la dispersión y la refracción se podían modificar con combinaciones adecuadas de dos o más medios ópticos, se lanzan al mercado objetivos acromáticos excelentes.

Durante el siglo XVIII el microscopio tuvo diversos adelantos mecánicos que aumentaron su estabilidad y su facilidad de uso, aunque no se desarrollaron por el momento mejoras ópticas. Las mejoras más importantes de la óptica surgieron en 1877, cuando Ernst Abbe publicó su teoría del microscopio y, por encargo de Carl Zeiss, mejoró la microscopía de inmersión sustituyendo el agua por aceite de cedro, lo que permite obtener aumentos de hasta 2,000 veces. A principios de los años 1930 se había alcanzado el límite teórico para los microscopios ópticos, no consiguiendo éstos aumentos superiores a 500X o 1000X. Sin embargo, existía un deseo científico de observar los detalles de estructuras celulares (núcleo, mitocondria, etc.).

El microscopio electrónico de transmisión (TEM) fue el primer tipo de microscopio electrónico desarrollado. Utiliza un haz de electrones en lugar de luz para enfocar la muestra consiguiendo aumentos de 100.000X. Fue desarrollada por Max Knoll y Ernst Ruska en Alemania en 1931. Posteriormente, en 1942 se desarrolla el microscopio electrónico de barrido (SEM)



Figura N° 2.4 Evolución de los Microscopios ópticos

2.3 Fundamentos Físicos - Ópticos.-

2.3.1 Geometría óptica.-

El término lente es el nombre dado al componente de vidrio, cristal o de material plástico transparente, generalmente de diámetro circular, que tiene dos superficies principales que son pulidas en forma específica, diseñada para producir una convergencia o divergencia de luz que pasa a través del material. El Microscopio óptico forma una imagen de una muestra colocado en un portaobjeto por donde pasa la luz desde el Iluminador a través de una serie de lentes de cristal y centrándose esta luz ya sea en los oculares, en el plano de una película de un sistema de cámaras tradicionales, o en la superficie de un sensor de imagen digital.

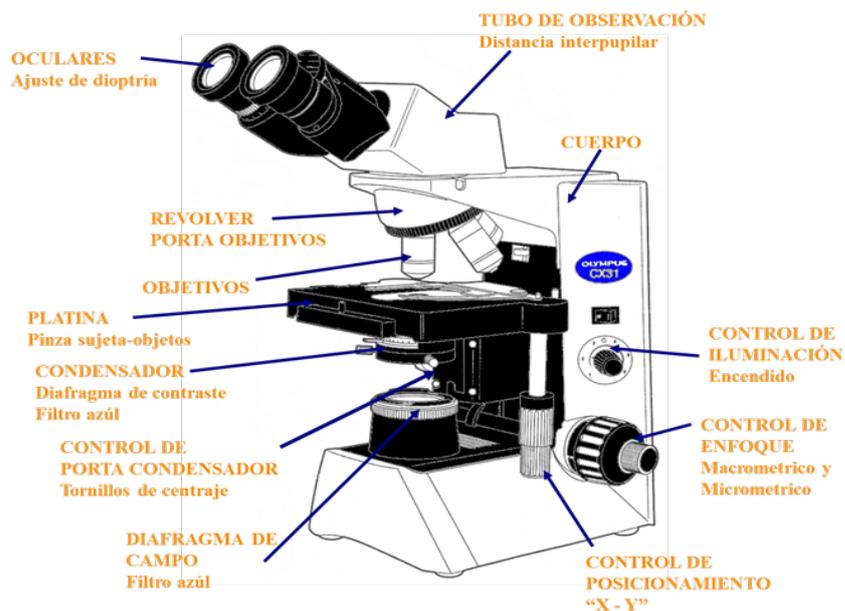


Figura 2.5 Microscopio Óptico

La acción de una lente simple, similar a muchos de los que se utilizan en los microscopios, se rige por los principios de refracción y reflexión y puede entenderse con la ayuda de unas cuantas reglas básicas acerca de la geometría de los rayos de luz comprendidos en el trayecto e los rayos de luz a través de las lentes. Los conceptos básicos en este debate, que se derivan de la ciencia de la óptica geométrica, conducirá a comprender el proceso de ampliación, las propiedades de real e imágenes virtuales y aberraciones de lente o defectos.

Para comprender el sistema óptico de un microscopio simple (ubicaciones de la lente, elementos en un microscopio de laboratorio común se presentan en la figura 2.5), las propiedades básicas de una lente delgada sencilla debe de tener dos superficies refractoras de luz y un eje óptico central. Cada lente tiene dos planos principales y dos planos focales que se definen por la geometría de la lente y la

relación entre la lente y la imagen enfocada. Los rayos de luz que pasa a través de la lente intersecarán y están unidos físicamente en el plano focal (véase la figura 2.6), mientras que las extensiones de los rayos entrando a la lente intersecarán en el plano principal con las extensiones de los rayos que salen de la lente. La distancia focal de una lente se define como la distancia entre el plano principal y el plano focal, y cada lente tiene un conjunto de planos a cada lado (delantero y trasero).

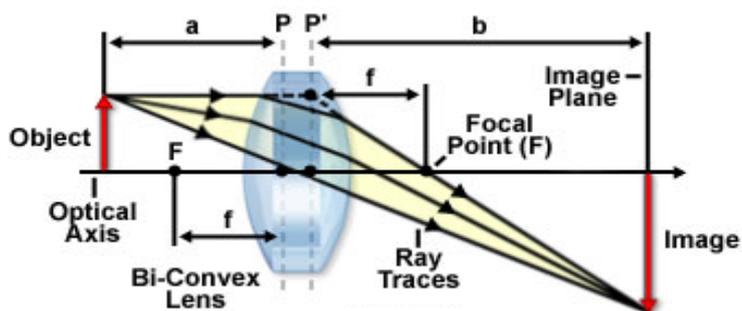


Figura 2.6 Geometría óptica de una lente delgada simple

Los rayos de luz que pasa a través de una lente simple de vidrio delgado biconvexa son presentados en la figura 2.6, junto con otros parámetros geométricos importantes y necesarios para formar una imagen enfocada por los rayos. Los puntos focales de la lente se indican por la letra F , y hay dos puntos focales separados, uno delante de la lente (en la parte izquierda de la figura 2.6) y otro detrás de la lente (a la derecha). Los planos principales de la lente (P y P' en la figura 2.6) se indican mediante líneas discontinuas y la distancia entre cada plano principal y sus respectivos punto focal representa la distancia focal (f). Debido a que la lente Bi convexa ilustrado en figura 2.6 es simétrica, los planos principales se encuentran a distancias iguales de las superficies de la lente y las longitudes focales frontal y posterior son también iguales.

El objeto (o muestra) a ser observado por la lente se coloca en el plano del objeto, situado en la parte izquierda de la lente y está representada por una flecha roja que viaja hacia arriba desde la línea central o eje óptico, que pasa por el centro de la lente, perpendicular a los planos principales. Los rayos que emanan del objeto, pasan a través de la lente (flechas amarillas) de izquierda a derecha para formar una imagen real ampliada (flecha roja invertida) en el plano de la imagen a la derecha de la lente. La distancia entre el plano principal delante de la lente y la muestra se conoce como la distancia del objeto y está representada por la variable "a" de la figura 2.6. De manera similar, la distancia entre el plano principal trasero y la imagen (la variable "b" en la figura 2.6) se denomina la distancia de la imagen. Estos parámetros son los elementos fundamentales que definen la óptica geométrica de una lente simple y pueden utilizarse para calcular las propiedades importantes de la lente, distancia focal y factor de amplificación.

Las lentes pueden ser positivas o negativas dependiendo de si están acompañadas de rayos de luz que pasan a través de la lente para converger en un solo punto focal, o divergen hacia afuera desde el eje óptico y en el espacio. Lentes positivas convergen los rayos de luz incidentes que son paralelas al eje óptico y se centran en el plano focal para formar una imagen real. Como se muestra en la figura 2.7, lentes positivos tienen uno o dos superficies convexas y son más gruesos en el centro que en los bordes. Una característica común de lentes positivos es que amplían los objetos cuando se colocan entre el objeto y el ojo humano. En contraste, las lentes negativas divergen los rayos de luz paralelos incidentes y forma una imagen virtual mediante la ampliación de los trazos de los rayos de luz que pasa a través de la lente en un punto focal detrás de la lente. Lentes negativas tienen al menos una superficie cóncava y son más delgadas en el

centro que en los bordes (figura 2.7). Cuando se coloca una lente negativa entre un objeto y el ojo, ella no forma una imagen real, si no reduce el tamaño aparente formando una imagen virtual.

Las geometrías de la lente principal para los elementos de óptica positiva ilustradas en la figura 2.7 son biconvexas (figura 2.7(a)) y plano convexa (figura 2.7(b)); teniendo una superficie plana). Además, el convexo-menisco (figura 2.7(c)) tiene ambas superficies cóncavas y convexas con curvaturas similares, pero es más gruesa en el centro que en los bordes. Lentes biconvexas son los lentes de aumento más simples y tienen un punto focal y el factor de aumento que depende del ángulo de curvatura de las superficies. Ángulos más altos de curvatura conducen a distancias focales más cortos debido a que las ondas de luz son refractadas en un ángulo mayor con respecto al eje óptico de la lente. La naturaleza simétrica de lentes biconvexas, minimiza la aberración esférica en aplicaciones donde la imagen y el objeto se encuentran simétricamente. Cuando un sistema óptico biconvexo es totalmente simétrico (en efecto, a aumento 1:1), la aberración esférica es un valor mínimo y la distorsión son igualmente minimizados o cancelados. Generalmente, lentes biconvexas se realizan con mínimas aberraciones en factores de aumento entre 0,2x y 5x. Lentes convexas se emplean principalmente para aplicaciones de enfoque y para aumento de la imagen.

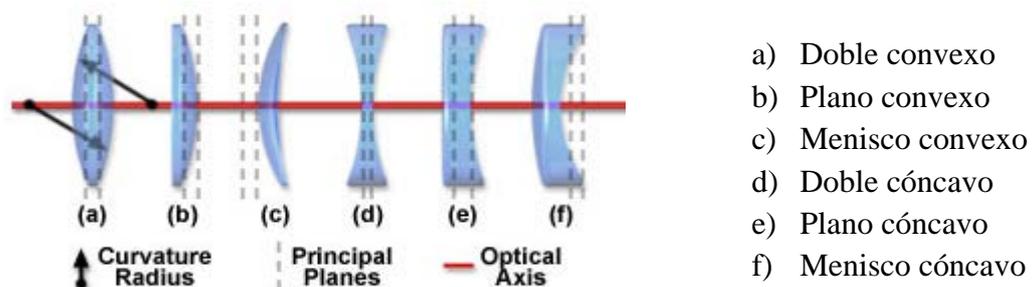


Figura 2.7 Principales formas de los lentes simples

Solo los lentes capaces de formar imágenes (como la lente biconvexa) son herramientas útiles diseñadas para aplicaciones sencillas, como Lupas, gafas, cámaras simples, visores y lentes de contacto. Las lentes de dos sistemas, son conocidas como acromáticas constan de dos elementos de óptica cementados juntos para corregir el eje esférico y aberraciones cromática, pudiendo ser una lente biconvexa junto a una lente menisco positivo o negativo o un lente plano convexe. La lente triple acromático (que contiene tres elementos de lentes) se utiliza como lentes de retransmisión y ampliadores de alta potencia. Las lentes triples generalmente están optimizadas a través de técnicas de diseño de equipo para virtualmente eliminar la distorsión. Dispositivos más complejos a menudo emplean una combinación de muchos componentes de lente para mejorar el nivel de ampliación y aprovechar otras propiedades ópticas de la imagen. Estos incluyen microscopios, telescopios, periscopios, cámaras y binoculares, que están entre los muchos dispositivos utilizando sistemas ópticos compuestos.

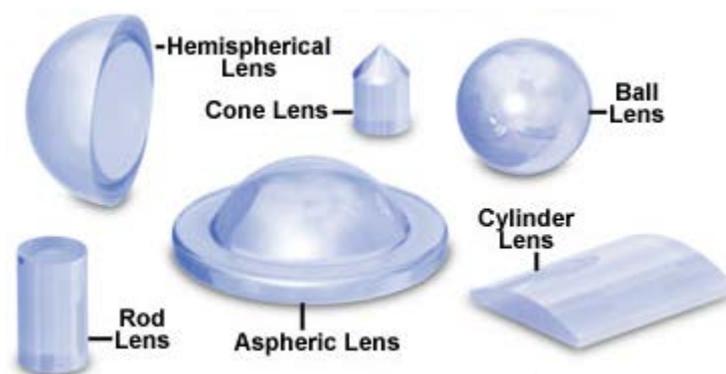


Figura 2.8 Geometría de los lentes comunes

2.3.2 Fundamentos Físicos

La luz, al igual que el sonido, es una combinación de "tonos" de diferente frecuencia. Se puede decir que los tonos es al sonido lo que los colores es la luz.

La luz es entonces una combinación de colores (cada color de diferente frecuencia y longitud de onda).

La luz blanca es una mezcla de rayos de luz combinados. Cada uno de estos rayos tiene su propia longitud de onda, y es la variación de esta longitud de onda la que permite obtener todos los colores posibles. Se pueden ver los colores del arco iris, que es la luz blanca que viene del sol y es separada por las gotas de lluvia a modo de prisma. Algunas luces blancas son más amarillentas o azuladas que otras y esto se debe a que en la combinación de colores predomina más uno de ellos.

A continuación se representa la descomposición de la luz blanca (luz visible), en los colores que la componen, mediante un prisma.

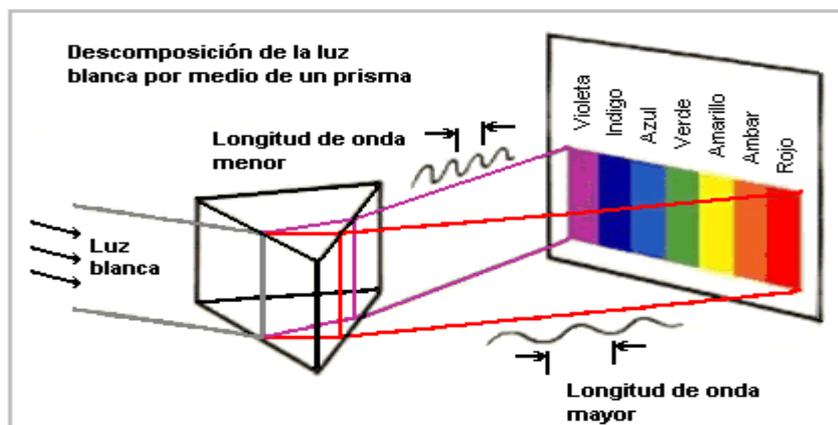


Figura N° 2.9 Descomposición de la luz blanca

La longitud de onda se expresa de la siguiente manera: $\lambda = c / f$

Dónde:

λ = longitud de onda de la luz

c = velocidad de la luz en el espacio (300,000 Km./seg)

f = frecuencia

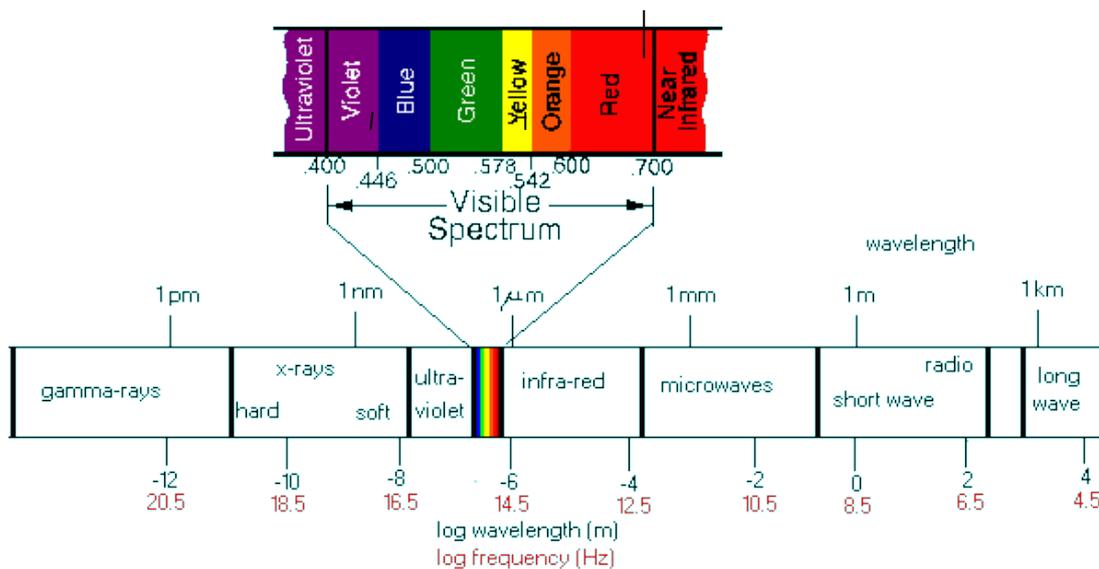


Figura N° 2.10 Espectro electromagnético

Tabla N° 2.1 Longitudes de ondas

Long. De Onda	Nombre	Uso
$10^{-15} / 10^{-11}$ Tamaño del núcleo del átomo	Rayos Gamma	Tratamiento del cáncer
10^{-10} Tamaño del átomo	Rayos X	Comprobación de materiales, uso médico
10^{-8} (10-400 nm)	Ultravioleta	Germicida, luz negra, bronceado
10^{-6} (400-700 nm) diámetro de una bacteria	Zona visible del espectro	óptica
$10^{-4} / 10^{-6}$	Infrarrojo	Radiación del cuerpo humano, calentar
10^{-2} Tamaño de un ratón	Micro ondas	Hornos de micro ondas, relojes atómicos, UHF
10^0 Tamaño del hombre		Radiodifusión de onda corta, FM; Radar y TV.
10^3 Tamaño de un pueblo	Radio frecuencia (RF)	Radio difusión de onda media AM
10^6 Tamaño de un país	Audio frecuencias	Radio difusión de onda larga

2.3.1 Resolución Microscópica De La Luz – Magnificación.

En la formación de la imagen por el microscopio, intervienen dos sistemas de lentes, uno conformado por el objetivo y otro por el ocular, mientras que un tercer sistema lo componen el iluminador y el condensador.

La función del objetivo es resolver la imagen, la función del ocular es aumentar esta imagen resuelta y la del iluminador y condensador es la de proveer la radiación luminosa enfocada correctamente sobre la muestra.

Los Microscopios son instrumentos diseñados para producir imágenes visuales magnificado o fotografiando objetos pequeños. El microscopio debe cumplir tres tareas: producir una imagen ampliada de la muestra, separar los detalles en la imagen, y hacer que los detalles sean visibles para el ojo humano o la cámara. Este grupo de instrumentos incluye diseños de lentes, no sólo con múltiples objetivos y condensadores, pero también muy simples dispositivos de lente única que a menudo son de mano, como una lente de aumento.

Sabemos que la luz se propaga en línea recta y que las lentes tienen la propiedad de refractar la luz, es decir de romper la propagación rectilínea y cambiar su trayectoria de modo que la imagen que se perdería en el infinito puede ser enfocada en un plano y ser observada. Ciertamente el ojo es también una lente y por ello la imagen se enfoca en la retina, lo que explica también porque cuando se pierde este enfoque es necesario usar gafas.

Es muy importante señalar, que la distancia entre el foco del objetivo y el foco del ocular, se denomina también como longitud óptica del tubo y que esta influye sobre

la ampliación o aumento total del microscopio.

Los objetivos para distancias finitas de la imagen se denominan o marcan a través de la longitud del recorrido del tubo o a través de la longitud mecánica del tubo; la cual es igual a la longitud entre la superficie de la instalación del objetivo y la superficie de la instalación del ocular de un tubo recto. Los objetivos con norma DIN son corregidos para una longitud finita del tubo equivalente a 160 mm.

Contrariamente a los microscopios de distancias finitas de la imagen, también se equipan microscopios con objetivos, que están o son concebidos para longitudes infinitas de tubos. El empleo de los objetivos de corrección al infinito es ventajoso para la construcción de microscopios iluminados por luz de reflexión, así como para la construcción de microscopios más complicados, los cuales exigen la incorporación de componentes ópticos adicionales en la marcha de los haces.

En el caso de los objetivos corregidos al infinito se lleva la muestra al plano focal del objetivo, de tal forma que los rayos de luz proveniente de los puntos discretos del objeto salen paralelos entre sí. Estos se unen nuevamente a través de una lente del tubo sobre el plano de la imagen virtual.

Luz proveniente de un objeto que se encuentra muy lejos del frente de un lente será enfocada en un punto fijo detrás del lente. Este punto es conocido como el punto focal del lente. El lugar en que este punto reside se denomina plano focal. La distancia desde el centro de un lente hasta el plano focal se llama Distancia focal. Para n lentes delgadas ideales, esta distancia es la misma en frente del lente que detrás de él.

2.4 Partes del Microscopio.

El objetivo del microscopio actúa como una cámara fotográfica. Cuando un objeto se sitúa más allá del foco de su lente, se produce una imagen ampliada, real e invertida.

El ocular actúa como una lupa que observa la imagen que ha formado el objetivo, construyendo una nueva imagen mucho más ampliada, virtual y derecha con relación a aquella, pero invertida con relación al objeto examinado. Así, la imagen del microscopio compuesto resulta de la combinación de las provocadas por una lente (objetivo) que actúa como una cámara fotográfica, y otra (ocular) que actúa como una lupa que observa la imagen formada por la primera.

2.4.1. Objetivos.

La parte óptica más importante del microscopio son los objetivos, de su calidad y de su estado de corrección depende en forma definitiva la capacidad de rendimiento del microscopio.

Los objetivos se caracterizan por:

- Su estado de corrección
- Su ampliación y su distancia focal
- Su apertura numérica máxima
- La longitud de los tubos, para la cual fueron contruidos,
- Por el grosor del vidrio cubre objetos
- Su distancia de trabajo
- Por parámetros adicionales según el empleo a que están destinados, tales como la inmersión, la polarización, el contraste de fase, campo oscuro, etc.

Dentro del estado de corrección se distingue entre objetivos: acromáticos, apocromáticos, plan acromáticos y plan apocromáticos.

Para un mayor entendimiento del estado de corrección de los objetivos, respecto a los errores de reproducción de la imagen, hemos de revisar los principales defectos que presentan las lentes, estos son:

La aberración esférica, la cual es causada por la diferente posición de enfoque de los rayos paralelos después de atravesar un lente condensador. Los rayos más cercanos al eje de coordenadas son enfocados con distancia mayor que los rayos más alejados del eje de coordenadas, esto origina que el plano focal se encoja en forma esférica y la imagen o el plano visual se vean abombados.

El error de envoltura doble o Astigmatismo, que sucede cuando puntos del objeto muy cercanos al eje, no son reproducidos como puntos de la imagen sino que se forman dos líneas de la imagen, las cuales son perpendiculares una respecto a la otra, y entre las dos se produce una distancia que se conoce como diferencia astigmática.

La aberración cromática o error de reproducción de los colores; esto es un resultado de la diferencia de los índices de refracción originados por las diferentes longitudes de onda existentes en la luz blanca (colores). Se distinguen como errores de reproducción cromática entre: **a)** las diferencias de ampliación cromáticas, las cuales conducen a diferentes escalas de reproducción según las

diferentes longitudes de onda, y **b)** el error longitudinal del color, que conduce a diferentes distancias focales según las diferentes longitudes de onda de la luz.

Para la corrección de los errores en la reproducción del color en los sistemas ópticos, tiene prioridad la eliminación del error longitudinal del color, pues si esto no se corrige, entonces se reproducirá en el centro de la imagen los detalles del objeto con bordes coloreados. Para eliminarlo se combinan una lente condensador con otra de dispersión y se corrige el error para dos colores.

Es típico corregir las dos longitudes de onda $\lambda = 656\text{nm}$ (rojo) y 486nm (azul). Los sistemas corregidos de este tipo se denominan acromáticos (figura N° 2.11 a).

A través del empleo de otros materiales ópticos (espato de flúor) se puede conseguir una corrección para tres longitudes de onda (tres colores) de modo que coincidan perfectamente en la imagen, estos sistemas se denominan APOCROMÁTICOS (Figura N° 2.11 b).

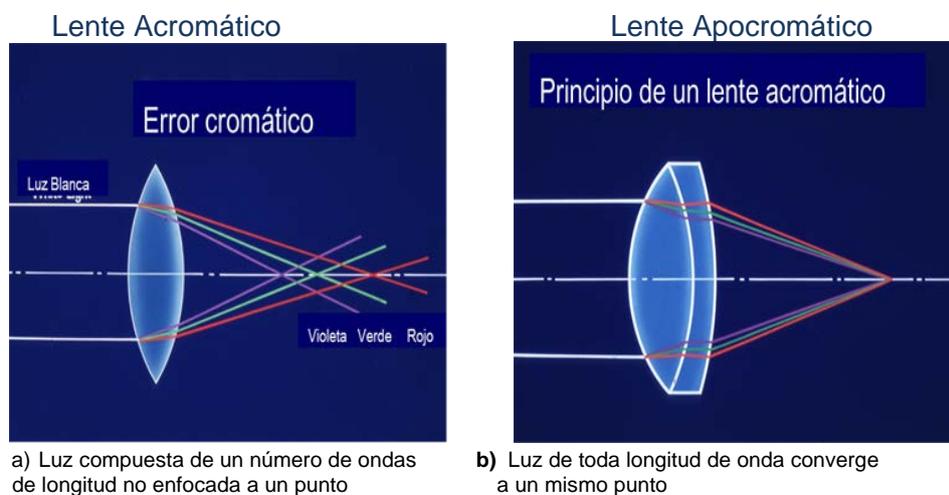


Figura N° 2.11 Lente Acromático y Apocromático

Plan acromáticos: son objetivos acromáticos corregidos adicionalmente para obtener un campo aplanado hasta los bordes. Los plan-acromáticos de los microscopios antiguos tienen por lo general una diferencia de ampliación cromática, la cual se compensa con oculares de compensación. El campo visual nivelado permite el uso de oculares con gran campo visual.

Plan apocromáticos: son objetivos apocromáticos corregidos, para presentar un campo de la imagen plano en toda su superficie. Este objetivo combina las ventajas de los objetivos apocromáticos con los objetivos plan acromáticos. Su rendimiento es alto, y son utilizados en el análisis de estructuras muy finas bajo pureza del color y campo grande de observación.

Actualmente, se comercializan objetivos con gran corrección del color, los que se han construido con vidrios especialmente formulados y diseñados para evitar la aberración cromática, combinados con una distancia de imagen infinita llamados de óptica CFI o ICS (Sistemas de corrección de color infinita).

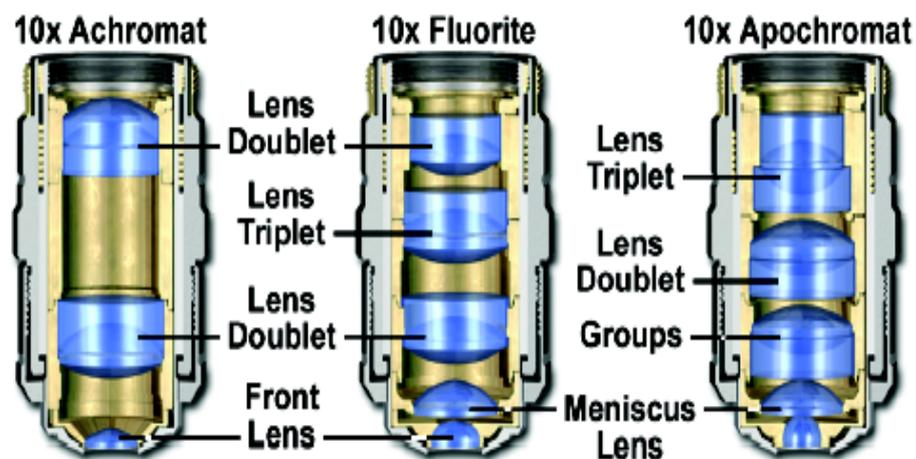


Figura N° 2.12 Tipos de objetivos según su corrección óptica

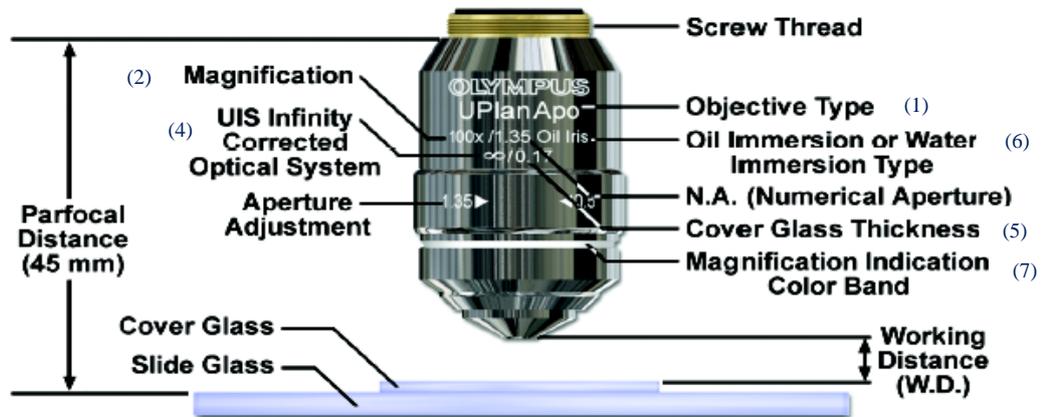


Figura N° 2.13 Significado de las marcas en los objetivos

- (1) **Tipo de Objetivo:** Indica el tipo de objetivo por su estado de corrección, pueden ser: acromáticos, plan acromático, apocromático, plan apocromático, etc. Solo los acromáticos no llevan ninguna indicación, también se usan anillos coloreados alrededor del objetivo, en estos casos el fabricante da en su manual el significado de cada color (7). Si se examina la imagen con atención se puede también conocer el estado de corrección del objetivo.
- (2) **Magnificación:** Indica el número de escala o aumentos del objetivo, es decir la relación lineal entre el tamaño de la imagen intermedia y el tamaño del objeto. Pudiendo ser: 2.5X, 4X, 5X, 10X, 15X, 20X, 25X, 40X, 50X, 60X, 80X, 100X, 105X, etc.
- (3) **Apertura Numérica (NA):** Indica el número de abertura. Su magnitud es determinante para la calidad del objetivo y, con ello del rendimiento óptico del microscopio. Cada objetivo tiene una apertura numérica diferente.

$$NA = \eta \cdot \sin \alpha$$

n: índice de refracción

Aire $\eta = 1$

Agua $\eta = 1.33$

Aceite $\eta = 1.515$

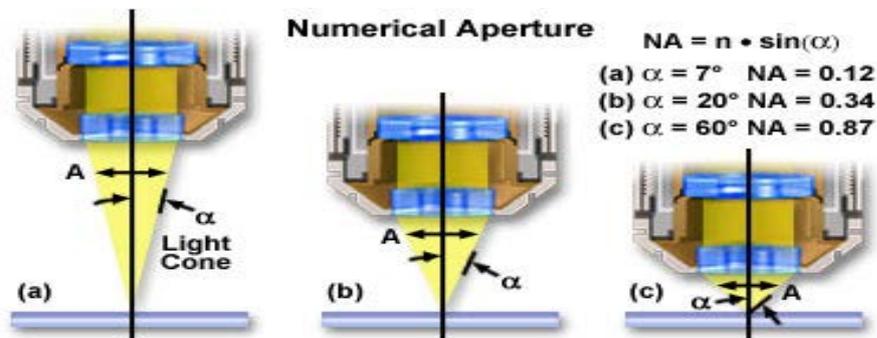


Figura N° 2.14 Apertura Numérica

(4) Sistema óptico corregido: En algunos microscopios, especialmente los antiguos aparecía una denominación de 160 la cual significaba la longitud mecánica del tubo, que es medida, en mm, desde la superficie de la rosca del objetivo hasta el asiento del ocular en el porta oculares; en algunos equipos también aparecía 170, 150. En la actualidad la mayoría de microscopios son con corrección al infinito y se denota por ∞ .

(5) Grosor del cubreobjetos: Indica el espesor prescrito para el cubreobjetos. Este espesor ha de respetarse en todo lo posible para obtener una buena calidad de imagen en los objetivos más potentes ya que son muy sensibles a variaciones de 1 a 1/200 mm en el cubreobjetos. La indicación 0.17 indica que requiere un cubre objetos de 0.17 mm de espesor. Otros menos comunes son: 0.18, 0.24, 1.2, 1.6, etc.

Los objetivos de menor aumento, tales como 4x a 5x no son sensibles a la variación del cubreobjetos, de modo que se pueden usar con objetos cubiertos o no cubiertos, la marca que llevan es “-“. Los objetivos que llevan la marca “0” solo pueden usarse sin cubreobjetos, por ejemplo para muestras pulidas para metalografía, etc.

Para objetivos de uso específico se colocan marcas que indican su utilización, por ej. “Ph” (contraste de fase), “Phv” (contraste de fase variable), “Pol” (polarización), etc.

(6) Tipo de Inmersión: Indica el tipo de medio en el cual se va a utilizar el objetivo.

Si no indica nada se sobreentiende que el medio es el aire ($n = 1$). Otros tipos de medio son: en aceite de pino ($n = 1.515$), agua ($n = 1.33$), glicerina,) todos estos utilizados generalmente en los objetivos de 100X.

2.4.2. Oculares.

La imagen virtual generada por el objetivo se forma a una distancia determinada por debajo del borde del tubo superior, el cual sirve como base del ocular. Los oculares están preparados de tal forma, que su punto focal anterior coincide con el plano de la imagen virtual. Para lograr una delimitación del campo reproducido, tienen los oculares un diafragma circular denominado también como diafragma del campo visual. Se diferencian según la posición de este diafragma, dos tipos de oculares:

- a) Ocular Tipo RAMSDEN, en el cual se ha colocado el diafragma del campo visual en el plano focal anterior. El número de campo en el plano focal anterior de este ocular indica el diámetro de ese diafragma en mm.

- b) Ocular Tipo HUYGENS, en el cual el diafragma del campo visual se ubica en la mitad del ocular. El número de campo en oculares de este tipo indica el diámetro de la imagen lateral del objeto en ese diafragma, mientras el verdadero diámetro no es determinado.

Junto con su principio de construcción los oculares se caracterizan además por su:

- Grado de corrección (A – oculares generales para su empleo con acromáticos, P – Plan oculares con campo de imagen plana para su empleo con objetivos plan corregidos, PK – Oculares de compensación planos para su empleo con objetivos plan acromáticos.
- Su grado de ampliación (5X, 6.3X, 10X, 12x, 20X, 25X, 30X).
- Su número de campo visual: Aquí se caracteriza el producto entre la ampliación del ocular y el número del campo visual del diámetro virtual a una distancia de 250 mm. Así un campo virtual de más de 175 mm se denomina Gran campo o campo grande, de 250 y por encima de este valor se denominan Campo Ultra Grande.

Los oculares con pupilas de salida muy altas se denominan oculares porta gafas. Para la microfotografía y la micro proyección se emplean proyectivos o lentes de proyección. Estos están corregidos para una determinada distancia de la imagen-objeto, y concebidas de tal forma, que ellas reproducen la imagen virtual obtenida del objetivo sobre el plano de la imagen (plano donde puede ser observada).

2.4.3. Condensadores.

Para la utilización total de la capacidad de rendimiento de los objetivos y oculares del microscopio es muy importante la iluminación óptima del objeto microscópico.

La iluminación óptima se consigue según el Principio de iluminación de KOEHLER. Aquí el orden de la luz transmitida-iluminación, se realiza por lo general de tal forma, que la lámpara, el colector y el diafragma de campo luminoso se han incorporado en el pie del soporte, mientras el condensador con el diafragma de apertura, forma una unidad generalmente intercambiable separada.

Los condensadores se clasifican según:

- El grado de corrección (acromático, aplanático, acromático-aplanático).
- Por la máxima apertura de iluminación alcanzable o rango de apertura regulable.
- El fin del empleo (campo claro, oscuro, polarización, contraste de fase, etc.).

2.4.4. Partes Mecánicas.

Las piezas mecánicas del microscopio deben responder a ciertas exigencias.

- El soporte tiene que cargar y recibir de manera estable y reproducible todos los componentes ópticos y su construcción debe estar libre de vibraciones en su posición prevista.
- La sensibilidad de la tracción del enfoque fino y su margen de retorno ($\sim 1\mu\text{m}$), deben ser lo suficientemente exactos, para permitir la sincronización en la marcha de los demás accionamientos durante su manejo y conservar su

regularidad en el tiempo, la marcha de los engranajes ha de ser suave y desde luego reproducibles.

- En la construcción del soporte se evita la influencia de la temperatura, pues de no ser así se tendrán problemas de enfoque.

- Todos los componentes deben tener poco desgaste y requerir un mantenimiento mínimo.

2.4.5. Accesorios Adicionales Comunes.

Como los microscopios se fabrican bajo el sistema de módulos, el usuario puede ampliar el rango de uso y aplicaciones de su microscopio en cualquier momento mediante accesorios de complementación y ello es posible a que la mayoría de fabricantes ha normalizado las distancias y roscas de sus equipos por lo cual se puede intercambiar piezas aunque respetando las indicaciones de cada fabricante.

Los accesorios y adiciones más comunes para el microscopio estándar son:

- Retículos de medición y recuento
- Accesorios para microfotografía y televisión
- Software de tratamiento de imágenes vía computadora
- Condensadores para campo oscuro
- Equipo para Contraste de Fase
- Accesorios para luz polarizada
- Equipo para Epi – Fluorescencia.
- Filtros, etc.

2.5 Tipos de Microscopios.

- MICROSCOPIO DE CAMPO CLARO.
- MICROSCOPIO DE CAMPO OSCURO.
- MICROSCOPIO DE CONTRASTE DE FASE.
- MICROSCOPIO DE EPIFLUORESCENCIA.
- MICROSCOPIO DE METALOGRAFICO.
- MICROSCOPIO DE POLARIZACION.
- MICROSCOPIO DE HERRAMIENTAS
- MICROSCOPIO DE OPERACIONES
- MICROSCOPIO INTERDIFERENCIAL NORMAN DIC
- COLPOSCOPIOS
- ESTEREOMICROSCOPIO.
- ESTEREOSCOPIOS
- MICROSCOPIOS DE COMPARACION BALISTICO
- MICROSCOPIO DE INFRAROJO
- MICROSCOPIO CONFOCAL
- MICROSCOPIO ELECTRONICO
- MICROSCOPIO ELECTRONICO DE BARRIDO
- MICROSCOPIO ELECTRONICO DE TRANSMISION
- MICROSCOPIO DE FUERZA ATOMICA
- MICROSCOPIO DE EFECTO TUNEL

CAPITULO III

MICROSCOPIA EN LOS ANALISIS METALOGRAFICOS

3.1 Definición.

La Metalografía es la ciencia que estudia las características estructurales o constitutivas de un metal o aleación relacionándolas con las propiedades físicas y mecánicas.

Entre las características estructurales están el tamaño de grano, el tamaño, forma y distribución de las fases que comprenden la aleación y de las inclusiones no metálicas, así como la presencia de segregaciones y otras irregularidades que profundamente pueden modificar las propiedades mecánicas y el comportamiento general de un metal.

Mucha es la información que puede suministrar un examen metalográfico. El principal instrumento para la realización de un examen metalográfico es el microscopio metalográfico, con el cual es posible examinar una muestra con aumentos que varían entre 50 y 2000X. También se puede observar microestructura, inclusiones, tratamientos térmicos a los que haya sido sometido, micro rechupes, con el fin de determinar si dicho material cumple con los requisitos

para los cuales ha sido diseñado; además hallaremos la presencia de material fundido, forjado y laminado. Se conocerá la distribución de fases que componen la aleación y las inclusiones no metálicas, así como la presencia de segregaciones y otras irregularidades.

3.2 Preparación de muestras metalográficas.

3.2.1 Corte Metalográfico.

Cortar la muestra con una cortadora o micro-cortadora metalográfica: es un equipo capaz de cortar con un disco especial de corte por abrasión, mientras suministra un gran caudal de refrigerante, evitando así el sobrecalentamiento de la muestra. De este modo, no se alteran las condiciones micro estructural de la misma.



Figura. 3.1 Cortadora metalográfica

3.2.2 Embutidora metalográfica.

La muestra cortada se incluye en resina para su mejor tratamiento posterior y almacenado. Las muestras se puede realizar mediante resina en frío: normalmente dos componentes, resina en polvo y un catalizador en líquido, o bien en caliente: mediante una briquetadora, que, mediante una resistencia interior calienta la resina (mono componente) hasta que se deshace. La misma máquina tiene la

capacidad de enfriar la muestra, por lo que es un proceso recomendado en caso de requerimientos de muchas muestras al cabo del día



Figura N° 3.2 Briqueteadora metalográfica e insumos



Figura N° 3.3 Inclusiones metalográficas en caliente

3.2.3 Pulido metalográfico.

Se usa el equipo Desbastadora o Pulidora Metalográfica, se prepara la superficie del material, en su primera fase denominada Desbaste Grueso, donde se desbasta la superficie de la muestra con papel de lija (papel lija 80, 120, 240), de manera uniforme y así sucesivamente disminuyendo el tamaño de grano hasta llegar al papel de menor tamaño de grano. Desbaste intermedio donde se utiliza papel lijas N° 320, 400, 600 y 1000). De la misma manera que el desbaste grueso. Al inicio de la tercera fase de pulido denominada Desbaste Fino, en la que se requiere de una superficie plana libre de ralladuras la cual se obtiene mediante una rueda giratoria

húmeda cubierta con un paño especial cargado con partículas abrasivas cuidadosamente seleccionadas en su tamaño para ello existen gran posibilidad de abrasivos para efectuar el ultimo pulido; en tanto que muchos harán un trabajo satisfactorio parece haber preferencia por la gama de óxidos de aluminio para pulir materiales ferrosos y de los basados en cobre y óxido de cerio para pulir aluminio, magnesita y sus aleaciones.

La etapa del pulimento es ejecutada en general con paños macizos colocados sobre platos giratorios circulares, sobre los cuales son depositadas pequeñas cantidades de abrasivos, en general diamante industrial en polvo fino o bien en suspensión, con granulometrías como por ejemplo de 10, 6, 3, 1, y 0,25 micras.

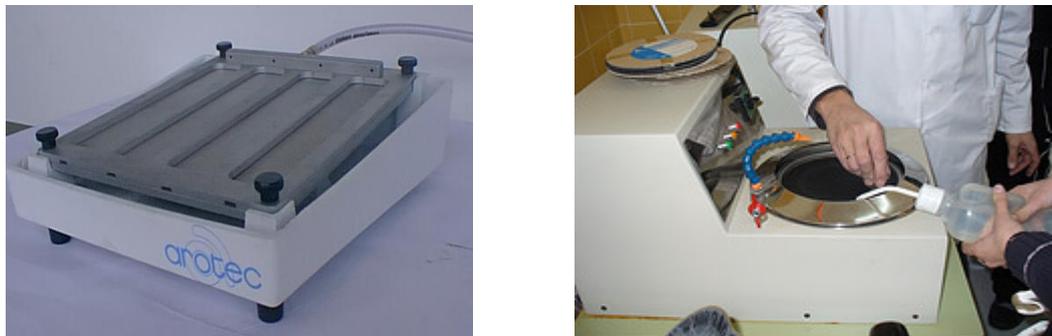


Figura N° 3.4 Lijadora y Pulidora metalográfica

3.2.4 Pulido Electrolítico.

Es una alternativa de mejorar al pulido total pudiendo reemplazar al fino pero muy difícilmente al pulido intermedio. Se realiza colocando la muestra sobre el orificio de la superficie de un tanque que contiene la solución electrolítica previamente seleccionada, haciendo las veces de ánodo. Como cátodo se emplea un material inerte como platino, aleación de níquel, cromo, etc. Dentro del tanque hay unas aspas que contienen en constante agitación al líquido para que circule

permanentemente por la superficie atacándola y puliéndola a la vez. Deben controlarse el tiempo, el amperaje, el voltaje y la velocidad de rotación del electrolito para obtener un pulido satisfactorio. Muchas veces después de terminado este pulido la muestra queda con el ataque químico deseado para la observación en el microscopio.

3.2.5 Ataque Químico.

Permite poner en evidencia la estructura del metal o aleación. Existen diversos métodos de ataque pero el más utilizado es el ataque químico. El ataque químico puede hacerse sumergiendo la muestra con cara pulida hacia arriba en un reactivo adecuado, o pasar sobre la cara pulida un algodón embebido en dicho reactivo. Luego se lava la probeta con agua, se enjuaga con alcohol o éter y se seca en corriente de aire. El fundamento se basa en que el constituyente metalográfico de mayor velocidad de reacción se ataca más rápido y se verá más oscuro al microscopio, y el menos atacable permanecerá más brillante, reflejará más luz y se verá más brillante en el microscopio. Las muestras pueden ahora atacarse durante el tiempo necesario sumergiéndolas boca abajo en una solución contenida en una caja de Petri. Un método opcional consiste en aplicar el reactivo con un gotero para ojos. Si el tiempo de ataque es demasiado corto, la muestra quedará sub atacada y los límites de grano y otras configuraciones se verán desvanecidos e indistintos cuando se observen en el microscopio. Si el tiempo de ataque es demasiado largo, la muestra se sobre atacará y quedará muy oscura, mostrando colores no usuales. El tiempo de ataque debe controlarse muy cuidadosamente. La acción del ataque se detiene al colocar la muestra bajo una corriente de agua. Límpiase la muestra con alcohol y utilice una secadora de pelo para terminar de secarla. Cuídese de no

frotar la muestra pulida y atacada con alguna tela o con los dedos, porque esto altera la condición superficial del metal.



Figura N° 3.5 Muestra pulida

Hay una enormidad de ataques químicos, para diferentes tipos de metales y situaciones. Los reactivos utilizados son ácidos orgánicos o inorgánicos y álcalis disueltos en alcohol, agua u otros solventes. En la tabla N° 3.1 se muestra los reactivos más comunes. En general, el ataque es hecho por inmersión o fregado con algodón embebido en el líquido escogido por la región a ser observada, durante algunos segundos hasta que la estructura o defecto sea revelada. Uno de los más usados es el nital, (ácido nítrico y alcohol), para la gran mayoría de los metales ferrosos. Una guía de los ataques químicos utilizados para revelar las fases y micro constituyentes de metales y aleaciones se pueden ver en la norma ASTM E407 - 07 Standard Practice for Microetching Metals and Alloys.

Tabla N° 3.1 Ataques químicos

METALES	REACTIVO	COMPOSICION	OBSERVACIONES
Hierro y acero al carbono	Nital	2 a 5% de ácido nítrico en alcohol metílico.	Oscurece la perlita en aceros al carbono Diferencia la perlita de la martensita: revela los límites de grano de la ferrita, muestra la profundidad del núcleo en los aceros nitrurados. Tiempo: 5 a 60 segundos
	Picral	4 g de ácido pícrico en 100 ml de alcohol metílico	Para aceros al carbón y de baja aleación es tan bueno como el nital para revelar los límites de grano de la ferrita. Tiempo 5 a 120 segundos
	Ácido clorhídrico y ácido pícrico	5 g de ácido clorhídrico y 1 g de ácido pícrico. En 100ml de alcohol metílico	Revela los granos de austenita en los aceros templados y en los templados y revenidos
Cobres, latones, bronces, aleaciones de cu	Hidróxido de amonio y peróxido de hidrógeno	5 partes de Hidróxido de amonio y 5 partes de agua en 2-5 partes de peróxido de hidrógeno	El contenido de peróxido varía directamente con el contenido de cobre de la aleación que será atacada. Inmersión o frotamiento por un minuto.
Zinc y sus aleaciones	Reactivo de palmerton	200 gr. Oxido crómico y 15 gr. Sulfato de sodio en 1lt. De agua	Utilizarlo en frio o hirviendo, inmersión
Aluminio y aleaciones	Acido hidrofúorico	0.5 ml. Ácido hidrofúorico (conc.) en 99.5 ml de agua	Frotar con algodón suave por 15 s.

3.3 Descripción del Microscopio Metalúrgico.

En comparación al Microscopio Biológico, el Microscopio Metalúrgico difiere en la manera en que la luz es proyectada. Como una muestra metalográfica es opaca a la luz, la misma debe ser iluminada por luz reflejada. Un haz de luz horizontal de alguna fuente de luz es reflejado, por medio de un reflector de vidrio plano, hacia abajo a través del objetivo del microscopio sobre la superficie de la muestra. Un poco de esta luz incidente reflejada desde la superficie de la muestra se amplificará al pasar a través del sistema inferior de lentes, el objetivo, y continuará hacia arriba a través del reflector de vidrio plano; luego, una vez más lo amplificará el sistema superior de lentes, el ocular.

La amplificación máxima obtenida con el microscopio óptico es de unos 2000 x. La limitación principal es la longitud de onda de la luz visible, la cual limita la resolución de los detalles finos de la muestra metalográfica. La utilidad del microscopio metalúrgico puede ser ampliada debido a la incorporación de diversos aparatos auxiliares, como son los que permiten observar aspectos estructurales que no son visibles en condiciones normales. Puesto que el ojo humano es insensible a las diferencias de fase, debe incorporarse al microscopio un aparato óptico especial. Las diferencias de fases causados por variaciones extremadamente pequeñas al nivel de microestructuras, se transforman más tarde, en diferencias de intensidad en la imagen observada, revelando de esta forma aspectos invisibles bajo iluminación ordinaria. Los microscopios de platina invertida ofrecen un diseño más moderno. En este instrumento la muestra se coloca boca abajo en la platina.

Este tipo de microscopio es de uso común para el control de calidad y producción en los procesos industriales. Con ellos, es posible realizar mediciones en los componentes mecánicos y electrónicos, permite además efectuar el control de superficie y el análisis óptico de los metales. De acuerdo al propósito de uso, existen multitud de variedades dependiendo del tipo de objetivos, oculares, aumento máximo permitido, enfoque, etc.

Los microscopios metalográficos suelen llevar un acoplador para montar una cámara fotográfica o de video ya que, para poder estudiar mejor la estructura del metal, se obtienen microfotografías.

La experiencia ha demostrado que el éxito en el estudio microscópico depende en mucho del cuidado que se tenga para preparar la muestra. El microscopio más

costoso no revelará la estructura de una muestra que haya sido preparada en forma deficiente. El procedimiento que se sigue en la preparación de una muestra es comparativamente sencillo y requiere de una técnica desarrollada sólo después de práctica constante. El último objetivo es obtener una superficie plana, sin ralladuras, semejante a un espejo. Las etapas necesarias para preparar adecuadamente una muestra metalográfica.



Figura N° 3.6 Microscopio Metalográfico

Algunos microscopios también tienen un retículo y una escala micrométrica para medir la imagen aumentada. Otro retículo que se utiliza contiene los diferentes tamaños de grano a aumentos de 100X y se utiliza para comparar o medir el tamaño de grano relativo. Los filtros y polarizadores se utilizan en la iluminación o el sistema óptico para reducir el brillo y mejorar la definición de las estructuras de grano. En poder de aumento del microscopio puede determinarse si se multiplica el poder de la lente objetivo por el del ocular. Por tanto, un lente objetivo de 50X con un ocular de 10X agrandaría la imagen hasta 500X (500 diámetros).

CAPITULO IV

MICROSCOPIA APLICADA AL ESTUDIO DE UNA MUESTRA CONCENTRADA Y RELAVES PARA OPTIMIZAR SU RECUPERACION

4.1 Definición.

Como se sabe la molienda permite la liberación de los minerales, pero esta liberación depende de los tamaños de los diferentes minerales, siendo más difícil de lograr una buena liberación cuando los minerales son más pequeños.

4.2 Objetivo.

- Uso y manejo del Microscopio de Polarización.
- Determinar la Mineralogía presente de los minerales de oro y plata
- El grado de liberación alcanzado
- La razón por la cual se pierde parte de la plata en el relave

4.3 Descripción del Microscopio De Polarización.

La microscopia de luz reflejada constituye una herramienta muy valiosa en el estudio de las características mineralógicas de las menas. Su desarrollo ha marchado paralelo a una necesidad cada vez mayor de encontrar una

interpretación genética adecuada de los yacimientos, a razones de tipo tecnológico y a la necesidad de un mejor control de las materias primas en general

4.3.1 Polarización

La polarización es un fenómeno que puede producirse en las ondas electromagnéticas, como la luz, por el cual el campo eléctrico oscila sólo en un plano determinado, denominado plano de polarización. Este plano puede definirse por dos vectores, uno de ellos paralelo a la dirección de propagación de la onda y otro perpendicular a esa misma dirección el cual indica la dirección del campo eléctrico.

Un polarizador es una lámina transparente que tiene la propiedad de atenuar las oscilaciones del campo eléctrico en una dirección, dejando pasar la luz que oscila en la dirección perpendicular.

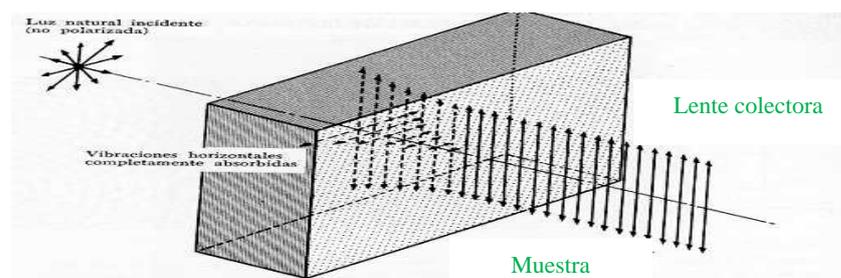


Figura N° 4.1 Polarizador

En la figura 4.2 pueden verse dos polarizadores (P y A), girados uno respecto del otro. Si el giro es de 90° la luz no pasará por el segundo polarizador; no habrá luz detrás del segundo polarizador.

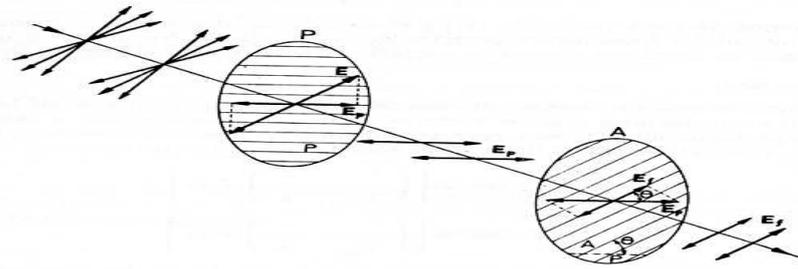


Figura N° 4.2 Polarizador y analizador

Por lo tanto el polarizador como el analizador tiene por misión alinear los rayos luminosos del mismo sentido de oscilación. Permite el paso de aquellos rayos que siguen exactamente el llamado sentido de transparencia o “sentido de oscilación” del polarizador. En cambio, los rayos que oscilan perpendicularmente al sentido de transparencia se retienen por completo.

4.3.2 Microscopio de Polarización.

Un microscopio de polarización es un microscopio que se utiliza principalmente en estudios geológicos y metalúrgicos para estudiar muestras geológicas y mineralógicas. Por esta razón, también es conocido como un microscopio petro-mineralográfico. Además se utiliza en otros campos científicos como la medicina y en la biología.

Los microscopios de polarización se construyen como microscopio óptico normal, pero están equipadas con algunas funciones adicionales. Con el fin de cumplir esta tarea, el microscopio debe estar equipado con un polarizador, situado en la trayectoria de la luz en algún lugar antes de la muestra, y un analizador (un segundo polarizador), ubicada en el camino óptico entre el objetivo y la posterior apertura de los tubos de observación, puerto o de la cámara. A diferencia de

microscopios comunes que utilizan la luz normal, un microscopio de polarización utiliza luz polarizada para estudiar las muestras. A la luz polarizada, las ondas de luz vibran en una dirección, a la luz normal, las ondas de luz vibran en direcciones aleatorias.

La luz natural es aquella compuesta por infinidad de rayos que vibran en diferentes planos en todo el espacio, a diferencia de la luz polarizada, que vibra solo de determinadas maneras, sea en planos paralelos o en forma helicoidal. La luz blanca (natural o polarizada) es una mezcla de ondas con diversas longitudes de onda que el ojo humano es incapaz de separar, por ello, éste percibe una luminosidad sin coloración definida. La luz monocromática (natural o polarizada) consiste en ondas de una misma longitud de onda que el ojo humano percibe como una luminosidad con coloración definida.

La luz polarizada no puede ser vista por el ojo humano en circunstancias normales. Puede, sin embargo, utilizar la luz polarizada para destacar las características de los minerales y otros materiales. Un microscopio de polarización utiliza las propiedades ópticas de los materiales birrefringentes anisotrópico para su estudio. Materiales anisotrópicos son sustancias sólidas que tienen varios índices de refracción; materiales isotrópicos, que incluye los gases y líquidos, sólo tienen un índice de refracción birrefringencia o doble refracción y se produce cuando una onda de luz que pasa a través de un material anisotrópico se divide en dos rayos de velocidades diferentes.

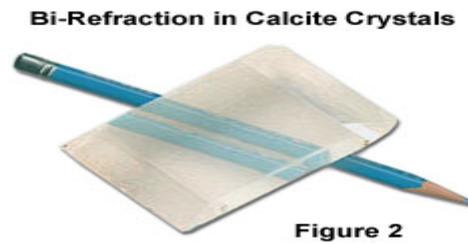


Figura N° 4.3 birefrigerancia de la calcita

Especímenes geológicos (muestras de mineral) son adelgazadas a espesores de aproximadamente 12μ o molido en secciones delgadas para su estudio. La muestra a estudiar se coloca en un portaobjetos o en briquetas según sea el caso.

La luz pasa a través de un filtro polarizante llamado polarizador y luego pasa a través de la muestra birrefringente. El polarizador es generalmente fija en una dirección este a oeste de vibración, pero puede girar según sea necesario. Hay otro filtro polarizador denominado analizador. Por lo general se encuentra por encima de los objetivos y se puede mover dentro y fuera de la trayectoria óptica.

Los objetivos utilizados en un microscopio de polarización están obligados a estar libre de tensiones. El ocular puede tener una retícula en cruz. La retícula en cruz facilita el centro de la muestra en el punto de vista.

Muchos microscopios de polarización tienen una lente de Bertrand. Se encuentra entre el ocular y el objetivo. Una lente de Bertrand ayuda en el estudio del plano focal posterior del objetivo de descubrir la figura de interferencia.

Compensación y las placas de retraso también se puede utilizar en microscopía de luz polarizada para observar mejor las diferencias de camino óptico. Estas placas

se pueden insertar en una ranura en el ocular o de punta plana en un tubo de entre los tubos de órgano y el ocular. Este microscopio posee a diferencia del microscopio biológico una platina circular giratoria con medición de ángulos desde 0° a 360° .

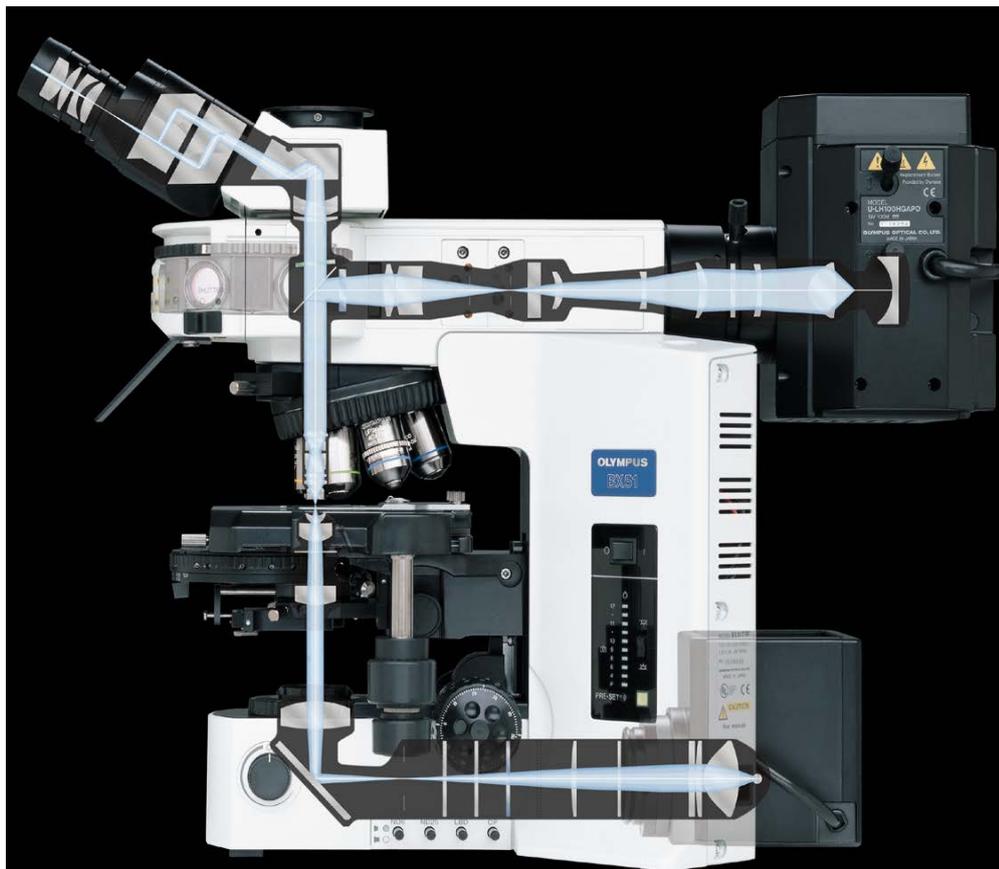


Figura N° 4.4 Microscopio de Polarización

4.4 Fundamentos Prácticos.

Usualmente, en las plantas de tratamiento de minerales se evalúa la eficiencia del proceso únicamente en base a los resultados de los análisis químicos de los elementos aparentemente más importantes, sin embargo, la información acerca de la composición química, si bien es indispensable y valiosa, nada puede decir acerca de los actores principales del proceso: las especies minerales; ni la morfología y dimensiones de estas, ni mucho menos acerca de la manera como ella están especialmente asociadas entre sí (intercrecidas); tales determinaciones solo pueden ser efectuadas mediante estudios mineralógicos apropiados; fundamentalmente microscópicos.

Por otro lado es conocido, que en la naturaleza las especies minerales ocurren especialmente asociadas en intercrecimiento de complejidad geométrica muy variada. Las características de tales intercrecimiento refleja tanto las propiedades mineralógicas de las especies involucradas como las variables físicas – químicas – geológicas que coordinaron el proceso genético correspondiente. Unos de los pasos previos a todo proceso de tratamiento de minerales; para ello es indispensable romper los intercrecimiento naturales y tratar de obtener el mayor porcentaje posible de partículas libres (concepto relativo, que varía en función tanto de las características de las especies minerales como de las partículas del proceso a utilizar)

El denominado “Grado de liberación” es una expresión cuantitativa de la magnitud en que la molienda es capaz de obtener partículas minerales “libres”, su determinación solo es posible mediante la utilización de estudios microscópicos, y dado que es un parámetro de importancia decisiva tal determinación debe basarse

en una metodología técnica y científicamente bien fundamentada. Los ejemplos que se adjuntan, basadas en casos reales y nacionales, permite comprobar como la determinación del “Grado de Liberación” mediante la Microscopía óptica puede prestar una ayuda invaluable para diseñar procesos de tratamiento, para incrementar la eficiencia de planta en operación e incluso, para evaluar el rendimiento del equipo de molienda y o clasificación.

IMPORTANCIA DE LA MICROSCOPIA

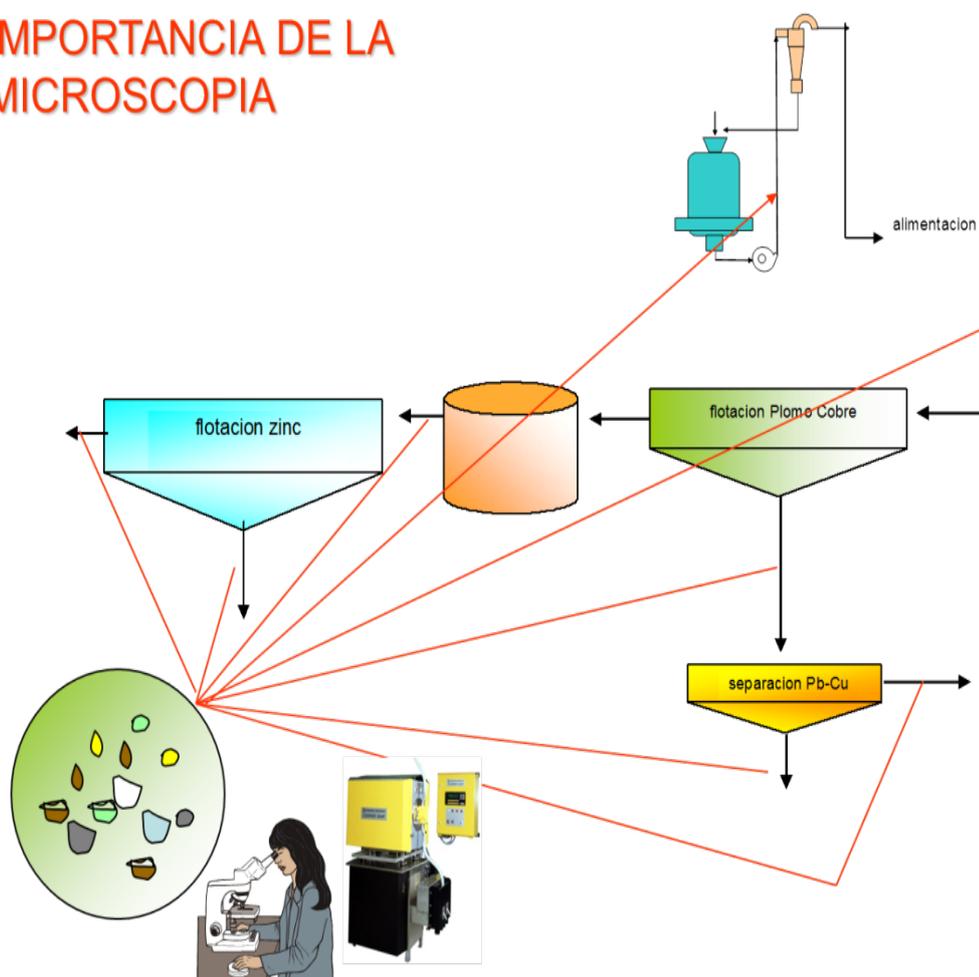


Figura N° 4.5 Importancia de la Microscopia en la Metalurgia

4.4.1 Método de estudio.

El presente estudio se realizará sobre muestras de cabeza, concentrado y relaves de una mina de oro y plata, de los cuales se quiere conocer lo siguiente:

1. Los minerales presente.
2. Tamaño.
3. Porcentaje de cada uno de ellos.
4. Asociaciones mineralógicas o inter crecimientos, porcentajes de cada uno de ellos.
5. Grado de liberación alcanzado por mallas.

El método de estudio consiste en contar los diferentes granos observados en un campo visual determinado por el ocular del microscopio, para lo cual se cuentan los minerales libres, los minerales mixtos y se anotan los diferentes tipos de inter crecimientos y los porcentajes de cada uno de ellos en la fracción mixta. Con esta información se puede determinar el grado de liberación alcanzado por malla (análisis Mineralógico).

4.4.2 Preparación de la Muestra.

Gran parte del éxito de los estudios que requieren mediciones cuantitativas, depende de la preparación de la muestra. Para la confección de secciones pulidas se deben de tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Separar el material en diversas fracciones granulométricas.
- Montar las partículas en resinas de fraguado en frío tratando de evitar efectos de sedimentación.

- No usar materiales cuyo fraguado requiera calor, ya que algunos minerales son sensibles a incrementos de temperatura aún por debajo de los 100°C.
- Evitar aglomeraciones de material ya que puede ser una fuente de error en los análisis cualitativos.

Las muestras para el presente estudio han sido tamizadas a mallas 200, 270 y 400, habiéndose obtenido 4 productos.

De cada producto (malla) se preparó una sección pulida la cual fue estudiada en el Microscopio óptico.

4.4.3 Estudio Mineralógico por Microscopía Óptica.

- Los minerales de plata presentes en las muestras son argentita-acantita, proustita-pirargirita, pearceíta-polibasita y cobres grises.
- El sulfuro más abundante es la pirita. La esfalerita, galena y arsenopirita son muy escasos.
- El oro ocurre como mineral nativo y escasamente como electrum, aunque cabe resaltar que los granos de oro siempre contienen algo de plata.

Se busca 10 zonas aleatoriamente elegidas en la muestra mientras se observa en el microscopio, en las cuales se realizara el conteo de granos determinándose:

1. Número de granos libres.
2. Números de granos mixtos.
3. Porcentaje de cada grano en la partícula mixta.
4. Tipos de intercrecimientos presentes.

Terminado el conteo de granos en las diez zonas, se procederá a los cálculos estadísticos para determinar:

- Porcentaje de los minerales libres.
- Porcentaje de los minerales mixtos y el porcentaje total de los minerales en las partículas mixtas
- Grado de liberación de liberación alcanzado por los minerales en cada malla.

Las muestras fueron tamizadas a mallas +200, +270, +400 y -400 y en una cantidad apropiada para los análisis a realizar.

En los análisis mineralógicos se indican los minerales libres, mixtos o intercrecidos, los porcentajes de cada uno de ellos, los porcentajes de cada fracción de los granos mixtos y el grado de liberación alcanzado.

Conclusiones

- Aparentemente los granos de oro nativo no son recuperados por su tamaño pequeño y por encontrarse como granos encapsulados en la ganga.
- Los granos de minerales de plata no son recuperados a pesar de estar libres debido a su tamaño pequeño. Además aproximadamente el 60 % de estos se encuentran encapsulados en la ganga.

- Al encontrarse, por un lado granos encapsulados con tamaños mayores a 80 micrones y por otro granos libres menores a 40 micrones, nos da indicios de que existen por lo menos dos generaciones o que se trata de estructuras distintas.

Recomendaciones

Realizar un estudio de caracterización mineralógica para determinar estadísticamente la distribución por tamaños, tanto de los granos de oro como de plata. Además permite determinar la condición del proceso de molienda más apropiado a las condiciones del mineral a tratar.

Tabla N° 4.1 Simbología

Nombre	Abreviatura	Fórmula
Gangas	GGs	variada
Pirita	py	FeS ₂
Arsenopirita	apy	FeAsS
Galena	gn	PbS
Calcopirita	cp	CuFeS ₂
Goethita-hematita	hm	Fe ⁺³⁺ (OH)
Esfalerita	ef	ZnS
Argentita	arg	AgS
Proustita	pro	Ag ₃ AsS ₃
Pearceíta	pea	Ag _{12.15} Cu _{3.84} As _{1.18} Sb _{0.83} S ₁₁
Oro nativo	oro	Au
Rutilo	rt	TiO ₂

Tabla N° 4.2 Pesos específico (P.E.)

Mineral	P.E.	Mineral	P.E.	Mineral	P.E.
GGs	2.6	gn	7.5	ef	4.05
py	5.05	hm	3.8	pro	5.55
apy	6.1	arg	7.3	CGRs	5.6
pea	6.15	oro	19.3		
rt	4.25	pol	4.8		

Tabla N° 4.3 TIPOS DE INTERCRECIMIENTOS

1a SIMPLE					
1b AMEBOIDE					
1c GRÁFICO					
1d DISEMINADO					
1e INCLUSIÓN					
2a CORONA					
2b SUB-CORONA					
2c CONCÉNTRICO					
	I	II	III	IV	
2d COLOFORME					
3a SANDWICH					
3b ESTRATIFICADO					
3c RETICULAR					
3d VETEADO					
4a BORDE COMPUESTO					
4b COMPENETRACIÓN					
4c INTERSTICIAL					
	I	II	III	IV	

4.5 Análisis Mineralógicos por Microscopia Optica.

El objetivo del presente estudio es definir los minerales valiosos que necesitan una mayor liberación, especificando la especie con la que se encuentra asociada (amarrada) y mejorar su recuperación. También se debe de estudiar la presencia de otros minerales como la galena, esfalerita, pirita, arsenopirita, etc. para poder optimizar su molienda, recuperación y mejorar su clasificación.

4.5.1 Muestra de Mineral de cabeza

Todo estudio Mineralógico debe de empezar por el mineral de cabeza para poder ver cómo llega el mineral, el que tendrá como finalidad presentar un panorama de las posibilidades de recuperación y poderlos comparar con los resultados encontrados en el concentrado y las pérdidas encontradas en el relave.

Se tamizaron el mineral de cabeza en las siguientes mallas: +200, +270, +400 y -400. Se procede luego a realizar el Análisis Mineralógico por Microscopía Optica de las siguientes mallas:

6. Malla +200 (Tabla N° 4.4)
7. Malla +270 (Tabla N° 4.6)
8. Malla +400 (Tabla N° 4.8)
9. Malla -400 (Tabla N° 4.10)

Tabla N° 4.4 Análisis Mineralógico de Muestra de Mineral de cabeza Malla +200

Minerales Libres	# Granos	# Gr. X P.E.	% Areal	Liberación (%)	GGs	ef	gn	py	apy	arg	Oro	CGRs	pol	Prou	hm	pea
Gangas	614	1596.40	97.36	98.82	97.36											
Esfalerita	0	0.00	0.00	0.00		0.00										
Galena	0	0.00	0.00	0.00			0.00									
Pirita	3	15.15	0.92	82.88				0.92								
Arsenopirita	0	0.00	0.00	0.00					0.00							
Argentita	0	0.00	0.00	0.00						0.00						
Oro	0	0.00	0.00	0.00							0.00					
Cobres Grises	0	0.00	0.00	0.00								0.00				
Polibasita	0	0.00	0.00	0.00									0.00			
Proustita	1	5.55	0.34	97.14										0.34		
Hematita	0	0.00	0.00	0.00											0.00	
Pearceíta	0	0.00	0.00	0.00												0.00
Min. Asociados				Asociaciones												
GGs-py	5	14.47	0.88	1a(II), 1b(II), 1e(II)	0.70			0.19								
GGs-pol	1	2.71	0.17	1a(II), 1b(II), 1e(II)	0.15								0.01			
GGs-pro	1	2.69	0.16	1e(II)	0.15									0.01		
GGs-oro	1	2.77	0.17	1e(II)	0.16						0.01					
Total	626	1639.74	100.00		98.52	0.00	0.00	1.11	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.35	0.00	0.00
					GGs	ef	gn	py	apy	arg	Oro	CGRs	pol	Prou	hm	pea

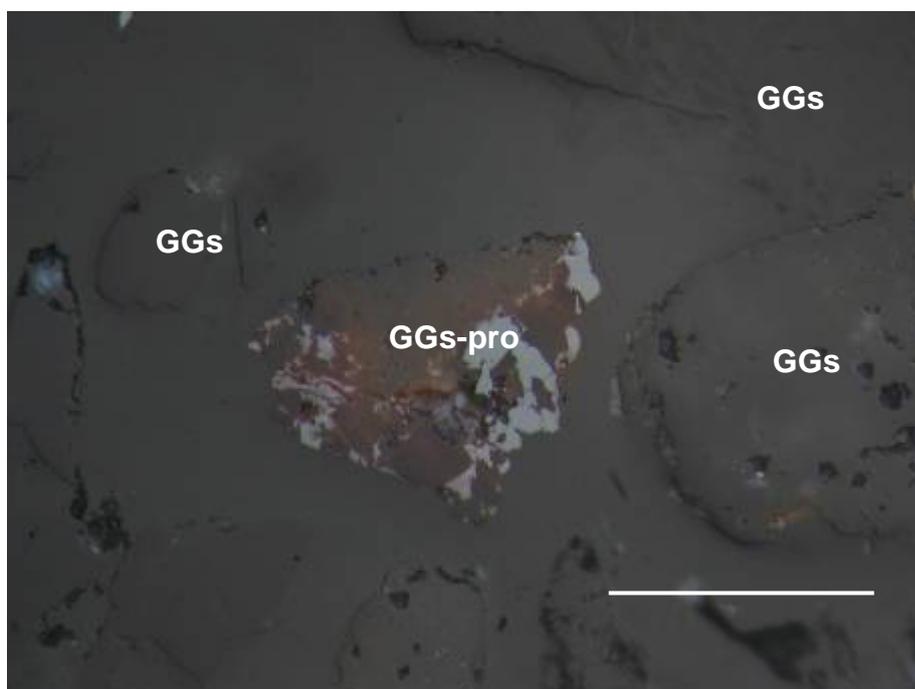


Figura N° 4.6; Microfotografía a 50X de la Cabeza malla +200.- En la foto se observa un grano mixto de ganga (GGs) con proustita (pro). Aparte hay granos libres de ganga.

Tabla N° 4.5 Distribución Mineralógica de Cabeza, Malla +200

	% Libres	% Mixtos	% Grado de Liberación
GGs	97.63	1.16	98.82
py	0.92	0.19	82.88
arg	0	0	0.00
pro	1	0	97.14
pol	0	0.01	0.00
oro	0	0.01	0.00

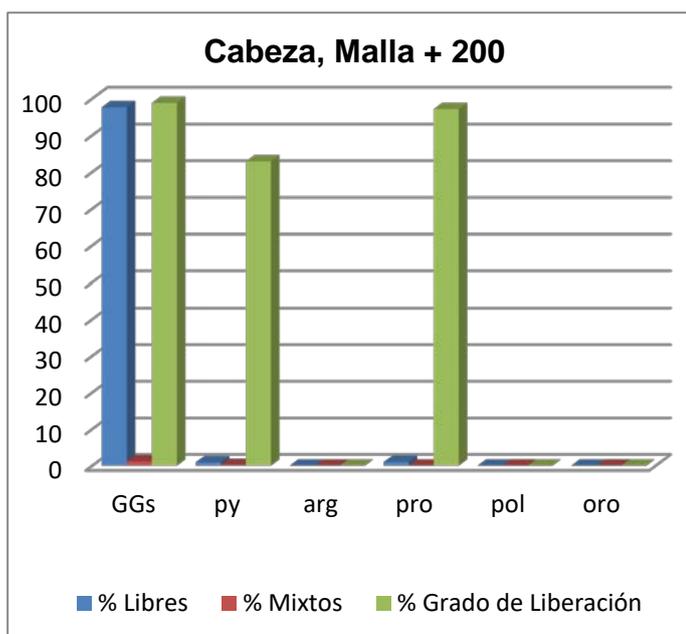


Tabla N° 4.6 Análisis Mineralógico Muestra de Mineral de cabeza Malla +270

Minerales Libres	# Granos	# Gr. X P.E.	% Areal	Liberación (%)	GGs	ef	gn	py	apy	arg	Oro	CGRs	pol	Prou	hm	pea
Gangas	697	1812.20	96.59	98.94	96.60											
Esfalerita	0	0.00	0.00	0.00		0.00										
Galena	0	0.00	0.00	0.00			0.00									
Pirita	5	25.25	1.35	83.33				1.35								
Arsenopirita	0	0.00	0.00	0.00					0.00							
Argentita	1	7.30	0.39	0.00						0.00						
Oro	0	0.00	0.00	0.00							0.00					
Cobres Grises	0	0.00	0.00	0.00								0.00				
Polibasita	1	4.80	0.26	96.30									0.26			
Proustita	0	0.00	0.00	0.00										0.00		
Hematita	0	0.00	0.00	0.00											0.00	
Pearceíta	0	0.00	0.00	0.00												0.00
Min. Asociados				Asociaciones												
GGs-py-arg	1	3.33	0.18	1a(II)	0.10			0.05		0.02						
GGs-py	5	14.96	0.80	1a(II), 1e(II)	0.58			0.22								
GGs-pro	1	2.63	0.14	1e(II)	0.13									0.01		
GGs-hm	1	2.92	0.16	1e(II)	0.09											0.07
GGs-pol	1	2.81	0.15	1e(II)	0.13								0.01			
Total	713	1876.20	100.00		97.63	0.00	0.00	1.62	0.00	0.02	0.00	0.00	0.27	0.01	0.00	0.07
					GGs	ef	gn	py	apy	arg	Oro	CGRs	pol	Prou	hm	pea

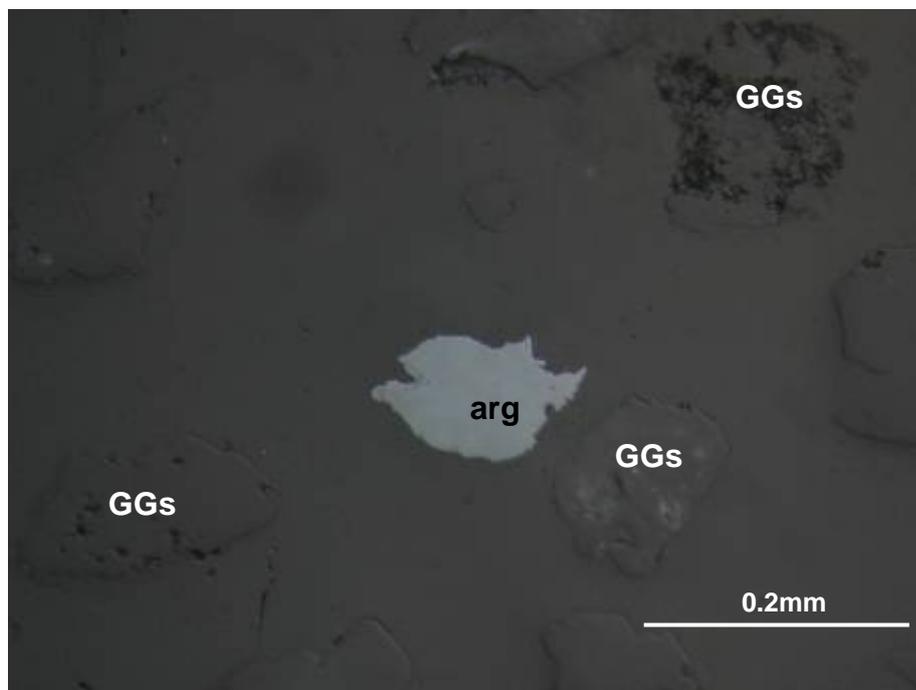


Figura N° 4.7; Microfotografía a 50X de Cabeza malla +270.- Se puede apreciar granos libres de argentita (arg) y de gangas (GGs).

Tabla N° 4.7 Distribución Mineralógica de Cabeza, Malla +270

	% Libres	% Mixtos	% Grado de Liberación
GGS	96.6	1.03	98.94
py	1.35	0.27	83.33
arg	0.39	0.02	0
oro	0	0	0
pol	0.26	0.01	96.3
prou	0	0.01	0
pea	0	0.07	0

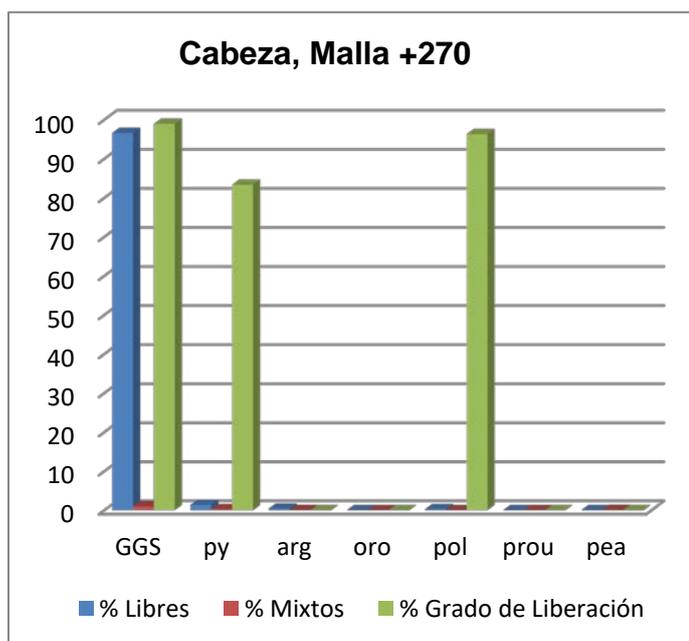


Tabla N° 4.8 Análisis Mineralógico Muestra de Mineral de cabeza Malla +400

Minerales Libres	# Granos	# Gr. X P.E.	% Areal	Liberación (%)	GGs	ef	gn	py	apy	arg	Oro	CGRs	pol	Prou	hm	pea
Gangas	779	2025.40	94.79	99.26	94.79											
Esfalerita	0	0.00	0.00	0.00		0.00										
Galena	0	0.00	0.00	0.00			0.00									
Pirita	9	45.45	2.13	92.61				2.13								
Arsenopirita	0	0.00	0.00	0.00					0.00							
Argentita	2	14.60	0.68	88.31						0.68						
Oro	1	19.30	0.90	98.90							0.90					
Cobres Grises	0	0.00	0.00	0.00								0.00				
Polibasita	1	4.80	0.22	100.00									0.22			
Proustita	1	5.55	0.26	100.00										0.26		
Hematita	0	0.00	0.00	0.00											0.00	
Pearceíta	0	0.00	0.00	0.00												0.00
Min. Asociados				Asociaciones												
GGs-py	4	12.12	0.57	1a(II), 1e(II)	0.40			0.17								
GGs-ef	1	2.88	0.13	1e(II)	0.10	0.04										
GGs-arg	1	3.78	0.18	1a(II), 1e(II)	0.09					0.09						
GGs-oro	1	2.77	0.13	1e(II)	0.12						0.01					
Total	800	2136.65	100.00		95.50	0.04	0.00	2.30	0.00	0.77	0.91	0.00	0.22	0.26	0.00	0.00
					GGs	ef	gn	py	apy	arg	Oro	CGRs	pol	Prou	hm	pea

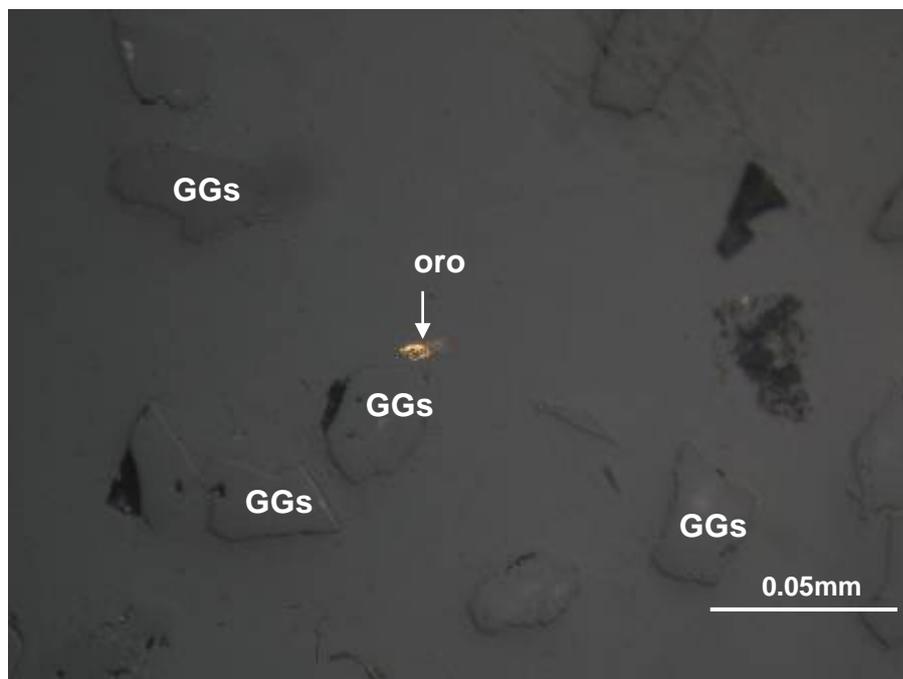


Figura N° 4.8 microfotografía a 200X de Cabeza malla +400.- En la foto se puede apreciar un diminuto grano de oro nativo (oro) libre así como granos de gangas (GGs) libres. El grano de oro mide 0.012 mm.

Tabla N° 4.9 Distribución Mineralógica de Cabeza, Malla +400

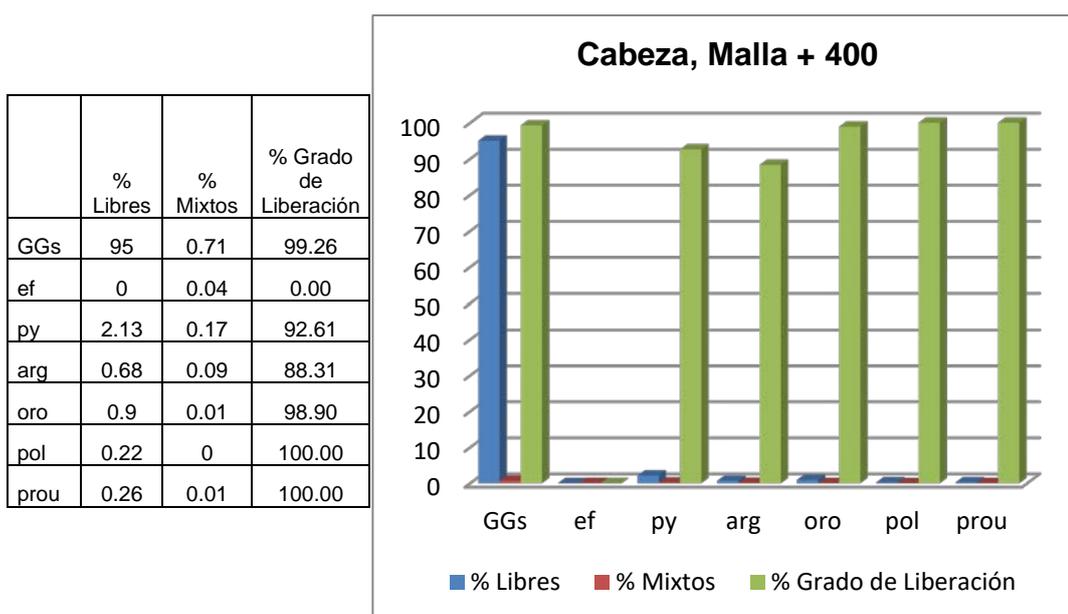


Tabla N° 4.10 Análisis Mineralógico Muestra de Mineral de cabeza Malla -400

Minerales Libres	# Granos	# Gr. X P.E.	% Areal	Liberación (%)	GGs	ef	gn	py	apy	arg	Oro	CGRs	pol	Prou	hm	pea
Gangas	917	2384.20	90.43	99.45	90.43											
Esfalerita	0	0.00	0.00	0.00		0.00										
Galena	0	0.00	0.00	0.00			0.00									
Pirita	41	207.05	7.85	98.62				7.85								
Arsenopirita	0	0.00	0.00	0.00					0.00							
Argentita	1	7.30	0.28	82.35						0.28						
Oro	1	19.30	0.73	100.00							0.73					
Cobres Grises	0	0.00	0.00	0.00								0.00				
Polibasita	0	0.00	0.00	0.00									0.00			
Proustita	0	0.00	0.00	0.00										0.00		
Hematita	0	0.00	0.00	0.00											0.00	
Pearceíta	0	0.00	0.00	0.00												0.00
Min. Asociados				Asociaciones												
GGs-py	3	9.27	0.35	1a(I), 1e(II)	0.24			0.11								
GGs-arg	1	3.64	0.14	1a(II)	0.08					0.06						
GGs-oro	1	2.68	0.10	1e(II)	0.10						0.00					
GGs-¿CGRs?	1	2.93	0.11	1e(II)	0.08							0.03				
Total	966	2636.37	100.00		90.93	0.00	0.00	7.96	0.00	0.34	0.73	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
					GGs	ef	gn	py	apy	arg	Oro	CGRs	pol	Prou	hm	pea

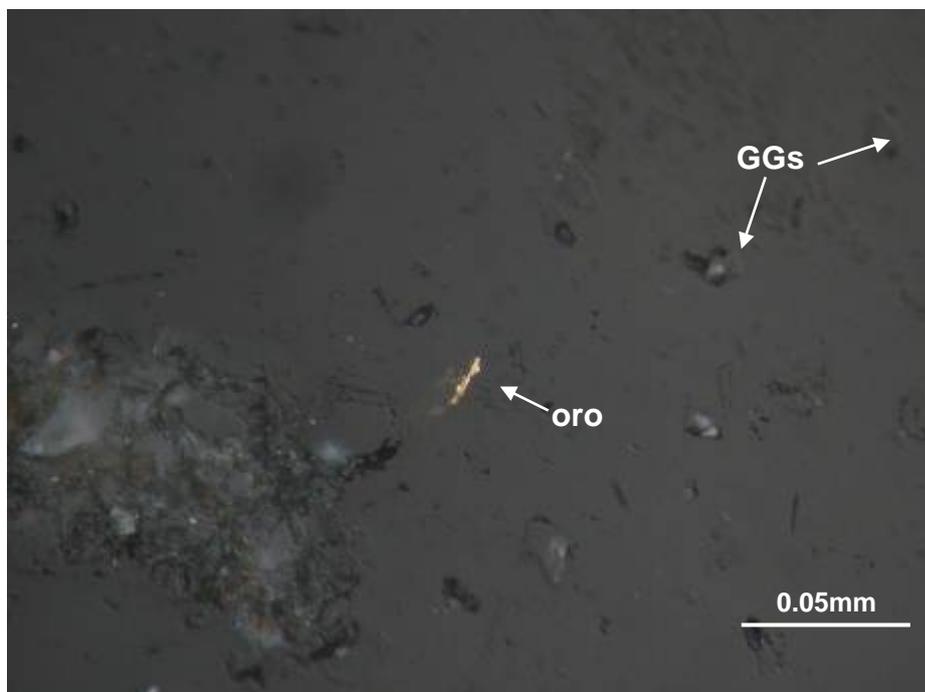


Figura N° 4.9 Microfotografía a 200X de Cabeza malla - 400.- En la foto se puede distinguir granos libres de gangas (GGs) y un grano de oro nativo (oro). El grano de oro mide 0.016 mm.

Figura N° 4.11 Distribución Mineralógica de Cabeza, Malla -400

	% Libres	% Mixtos	% Grado de Liberación
GGs	90.43	0.5	99.45
py	7.85	0.11	98.62
arg	0.28	0.06	82.35
oro	0.73	0	100
Cu grises	0	0.03	0

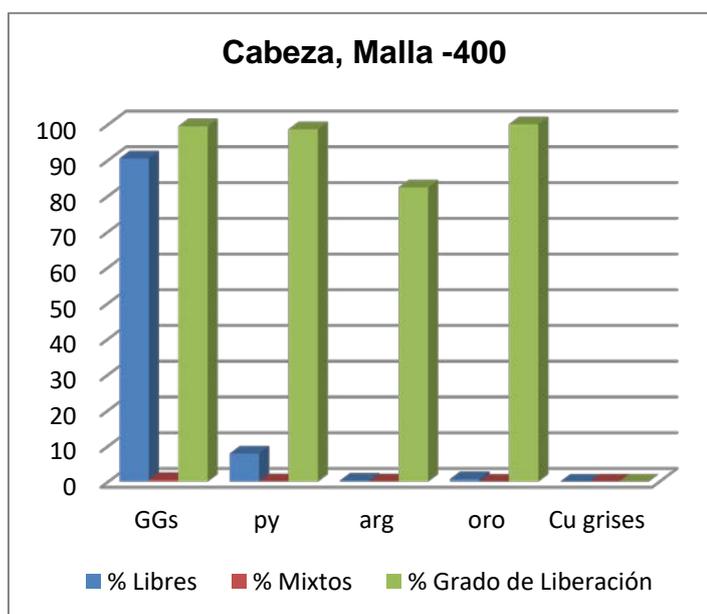


Tabla N° 4.12 % Distribución mineralógica por mallas de granos libres en la cabeza

	Malla +200	Malla +270	Malla +400	Malla -400
Gangas	97.63	96.6	95	90.44
Pirita	0.93	1.35	2.13	7.85
Argentita	0	0.39	0.68	0.28
Proustita	1	0	0.05	0
Polibasita	0	0.26	0.23	0
Oro nativo	0	0	0.91	0.73

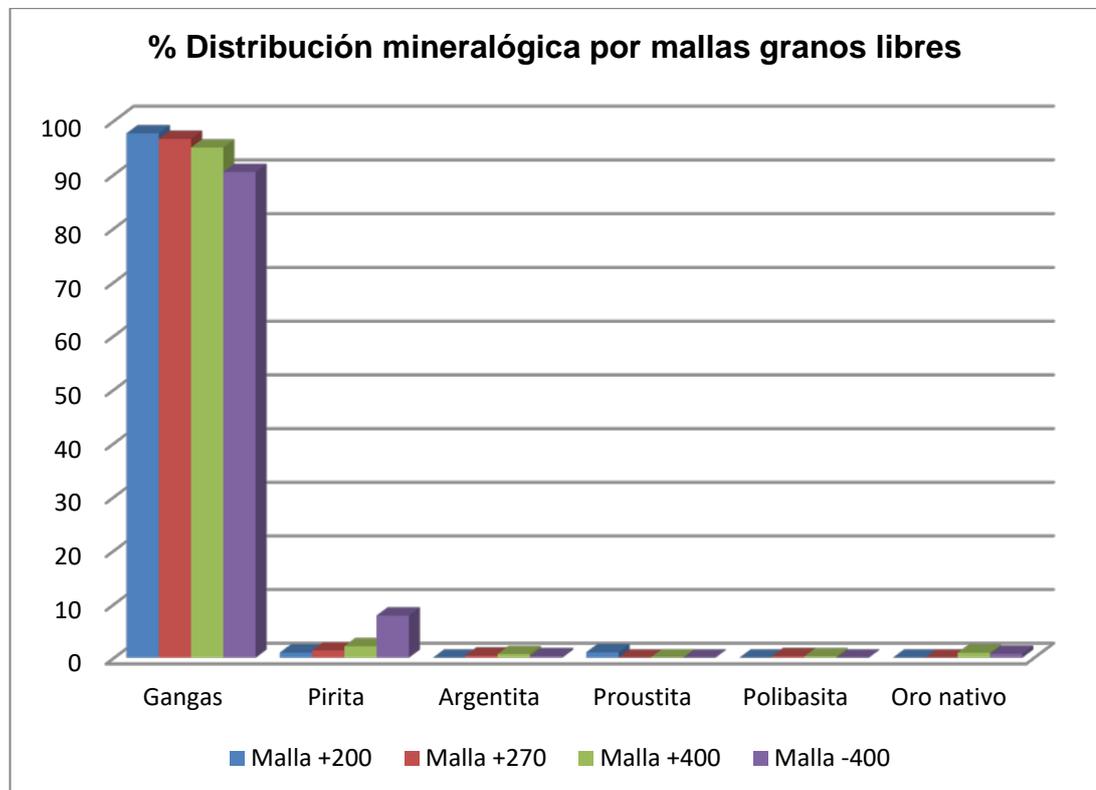


Tabla N° 4.13 % Distribución mineralógica por mallas de granos mixtos

	Malla +200	Malla +270	Malla +400	Malla -400
Gangas	1.16	1.05	0.71	0.5
Pirita	0.19	0.27	0.17	0.11
Hematita	0	0.07	0	0
Argentita	0	0.02	0.09	0.06
Proustita	0	0	0.01	0
Polibasita	0.01	0	0	0
Oro nativo	0.01	0	0.01	0.01
C. Grises	0	0	0	0.03

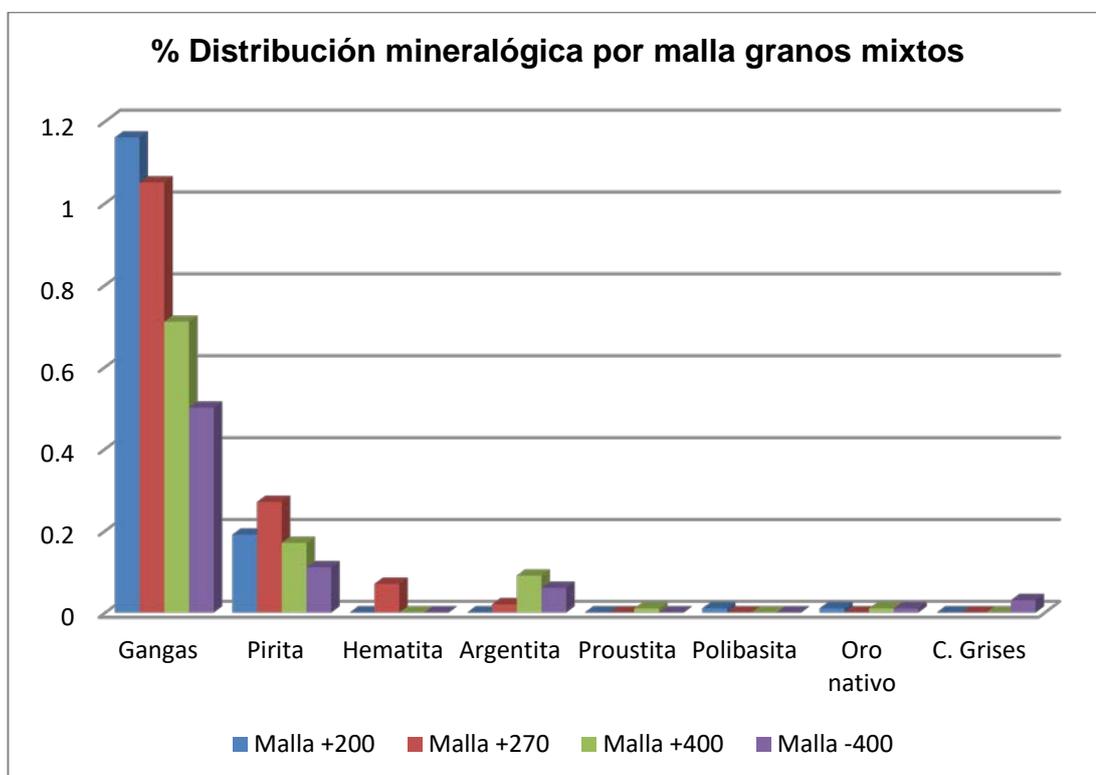
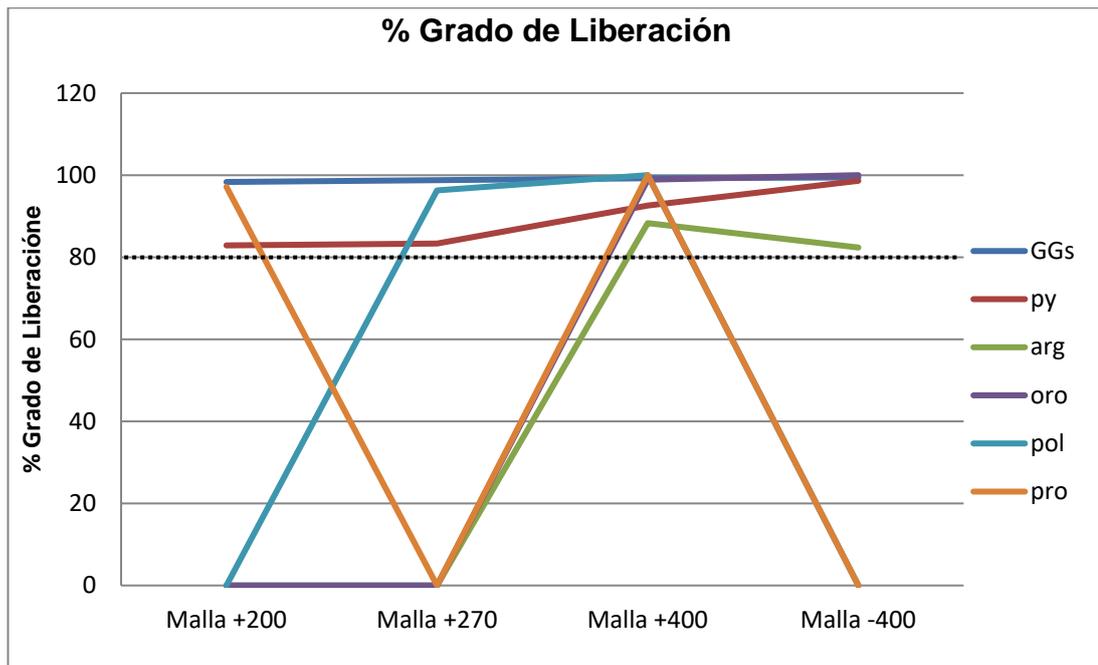
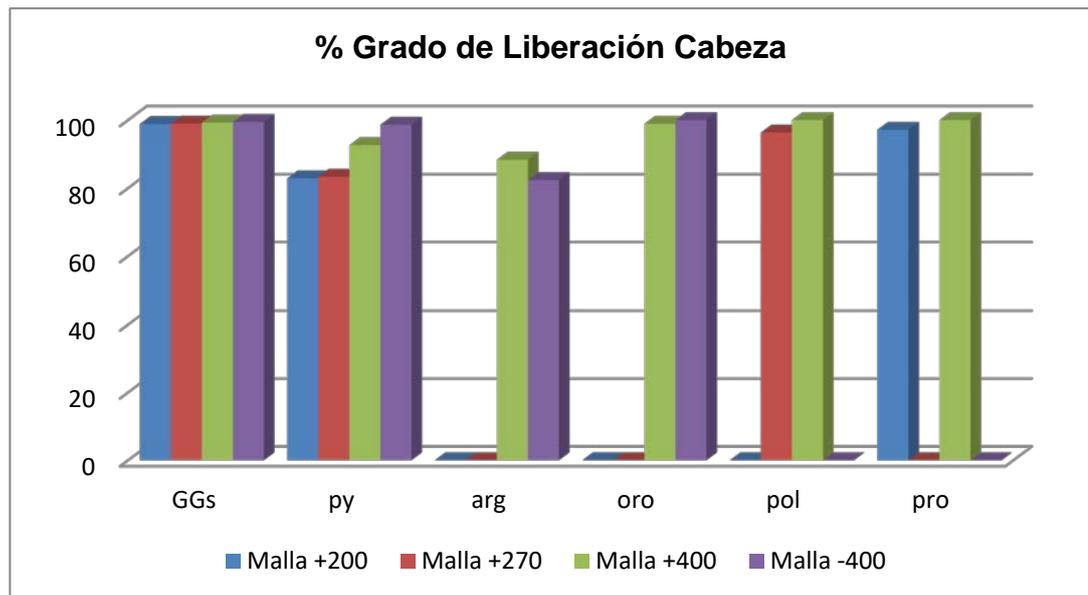


Tabla N° 4.14 % Grado de Liberación, Cabeza

	Malla +200	Malla +270	Malla +400	Malla -400
GGs	98.82	98.94	99.26	99.45
py	82.88	83.33	92.61	98.62
arg	0	0	88.31	82.35
oro	0	0	98.9	100
pol	0	96.3	100	0
pro	97.14	0	100	0



Resultados obtenidos del Mineral de Cabeza:

- El oro se presenta solamente como oro nativo.
- El oro ocurre como granos libres y mixtos.
- Se han observado granos de oro a partir de la malla +200 como granos mixtos y como libres a partir de la malla +400.
- La plata se presenta formando diversos minerales como son la argentita, proustita-pirargirita, polibasita-pearceíta y cobres grises.
- Los minerales de plata se presentan desde la malla +200 como granos libres y mixtos.
- Minerales como la esfalerita, hematita, se encuentran diseminados en porcentaje mínimos preferentemente asociados con las gangas.
- Las distintas especies se encuentran asociados según el tipo de intercrecimiento de la tabla N° 4.3 las cuales se describen en los análisis mineralógicos (columna asociaciones).
- Las gangas presentan un Grado de liberación elevado en todas las mallas de granos libres (95% en promedio) y más del 90% de área total.
- Las especies gangas, pirita (>90%) (aparecen con buena liberación en todas las mallas, lo mismo con los minerales de plata (> 90% en promedio); el oro presentan un alto grado de liberación a partir de la malla +400 (mallas finas) lo que indica que entre estas especies no debería haber mayor dificultad en una liberación primaria simple y que los enlaces más difíciles de romper son los que forman los minerales asociados de la gangas con los minerales valiosos.

4.5.2 Muestra de Concentrado

Los estudios por análisis mineralógico de las muestras de concentrados nos darán la información si es que los procesos metalúrgicos aplicados para la separación y obtención de los productos valiosos fueron los indicados o se requieren de otro tipo de procesos mixtos complementarios para una mejor separación o fueron mal aplicados o también poder determinar especies nocivas asociadas a los minerales valiosos que hagan que estas reacciones conjuntamente con ellos (consumidores de reactivos, depresores, activadores, etc).

Se tamizaron muestras de concentrado en las siguientes mallas: +200, +270, +400 y -400. Se procede luego a realizar el Análisis Mineralógico por Microscopía Óptica de las siguientes mallas:

Malla +200 (Tabla N° 4.15)

Malla +270 (Tabla N° 4.17)

Malla +400 (Tabla N° 4.19)

Malla -400 (Tabla N° 4.21)

Tabla N° 4.15 Análisis Mineralógico Muestra de Concentrado Malla + 200

Minerales Libres	# Granos	# Gr. X P.E.	% Areal	Liberación (%)	GGs	ef	gn	py	apy	arg	Oro	CGRs	pol	Prou	hm	pea
Gangas	345	897.00	39.23	94.96	39.23											
Esfalerita	2	8.10	0.35	85.37		0.35										
Galena	1	7.50	0.33	97.06			0.33									
Pirita	229	1156.45	50.58	97.27				50.58								
Arsenopirita	0	0.00	0.00	0.00					0.00							
Argentita	14	102.20	4.47	89.76						4.47						
Oro	1	19.30	0.84	97.67							0.84					
Cobres Grises	0	0.00	0.00	0.00								0.00				
Polibasita	0	0.00	0.00	0.00									0.00			
Proustita	0	0.00	0.00	0.00										0.00		
Hematita	0	0.00	0.00	0.00											0.00	
Pearceíta	0	0.00	0.00	0.00												0.00
Min. Asociados				Asociaciones												
GGs-py	15	53.70	2.35	1a(I,II), 1b(II)	1.02			1.33								
GGs-arg	5	18.64	0.82	1b(I,II)	0.43					0.38						
GGs-oro	1	2.93	0.13	1a(I)	0.11						0.02					
GGs-pea	1	3.31	0.14	1a(II)	0.09											0.05
GGs-ef	1	3.09	0.14	1a(II)	0.07	0.06										
GGs-arg-py	2	8.06	0.35	1a(II), 1e(II)	0.14			0.09		0.13						
GGs-pro	1	3.07	0.13	1e(II)	0.10									0.04		
GGs-gn	1	3.08	0.13	1e(II)	0.12		0.01									
Total	619	2286.43	100.00		41.31	0.41	0.34	52.00	0.00	4.98	0.86	0.00	0.00	0.04	0.00	0.05
					GGs	ef	gn	py	apy	arg	Oro	CGRs	pol	Prou	hm	pea

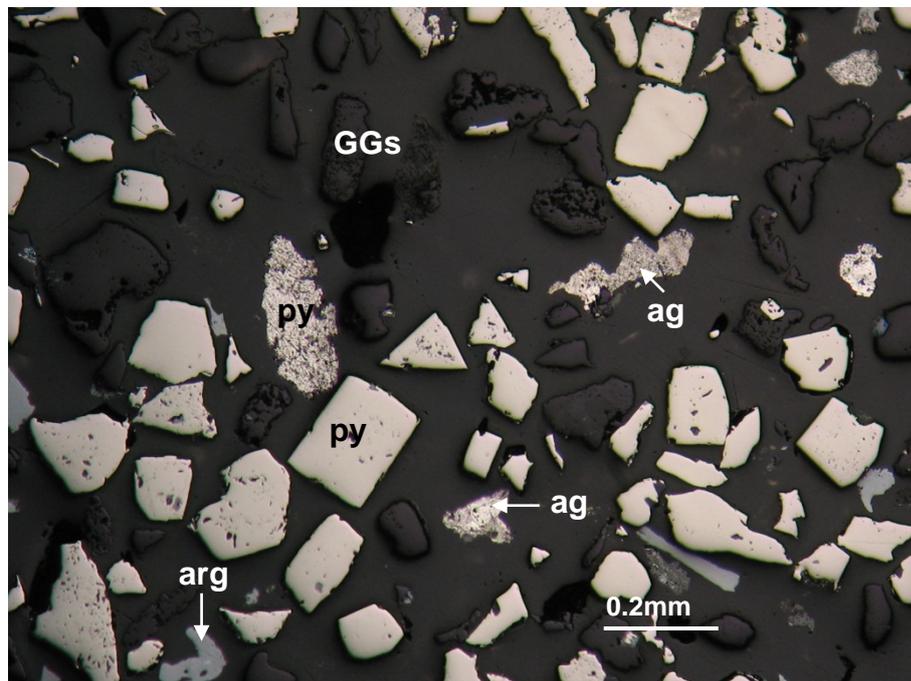


Figura N° 4.11 Microfotografía a 50X de Concentrado Malla +200.- Granos libres de argentita (arg), piritas (py), covelita (cv); grano mixto de argentita (arg) asociada a galena (gn).

Tabla N° 4.16 Distribución Mineralógica del Concentrado, Malla + 200

	% Libres	% Mixtos	% Grado de Liberación
GGs	39.23	2.08	94.96
esf	0.35	0.06	85.37
gn	0.33	0	97.06
py	50.58	1.42	97.27
arg	4.47	0.51	89.76
oro	0.84	0.02	97.67
pro	0	0.04	0
pea	0	0.05	0

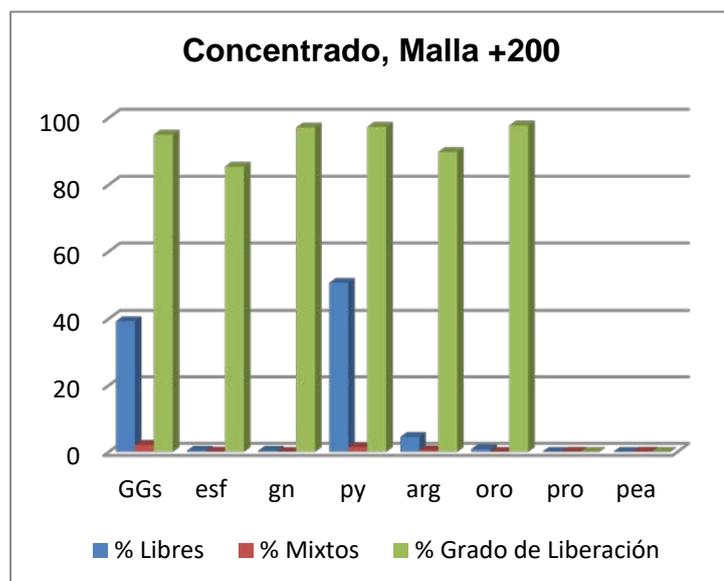


Tabla N° 4.17 Análisis Mineralógico Muestra de Concentrado Malla + 270

Minerales Libres	# Granos	# Gr. X P.E.	% Areal	Liberación (%)	GGs	ef	gn	py	apy	arg	Oro	CGRs	pol	Prou	hm	pea
Gangas	455	1183.00	36.29	95.25	36.29											
Esfalerita	1	4.05	0.12	85.71		0.12										
Galena	1	7.50	0.23	95.83			0.23									
Pirita	359	1812.95	55.62	97.65				55.62								
Arsenopirita	1	6.10	0.19	100.00					0.19							
Argentita	16	116.80	3.58	87.53						3.58						
Oro	0	0.00	0.00	0.00							0.00					
Cobres Grises	0	0.00	0.00	0.00								0.00				
Polibasita	0	0.00	0.00	0.00									0.00			
Proustita	0	0.00	0.00	0.00										0.00		
Hematita	0	0.00	0.00	0.00											0.00	
Pearceíta	1	6.15	0.19	82.61												0.19
Min. Asociados				Asociaciones												
GGs-py	22	74.35	2.28	1a(I,II), 1b(II), 1e(II)	1.20			1.09								
GGs-pea	1	3.31	0.10	1e(II)	0.06											0.04
GGs-arg	6	24.53	0.75	1a(II), 1e(II)	0.33					0.43						
GGs-oro	1	4.50	0.14	1b(I)	0.08						0.06					
py-arg	1	5.84	0.18	1a(II), 1e(II)				0.10		0.08						
GGs-ef	2	5.48	0.17	1e(II)	0.14	0.02										
py-gn	1	5.17	0.16	1e(II)			0.01	0.15								
Total	868	3259.73	100.00		38.10	0.14	0.24	56.96	0.19	4.09	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23
					GGs	ef	gn	py	apy	arg	Oro	CGRs	pol	Prou	hm	pea

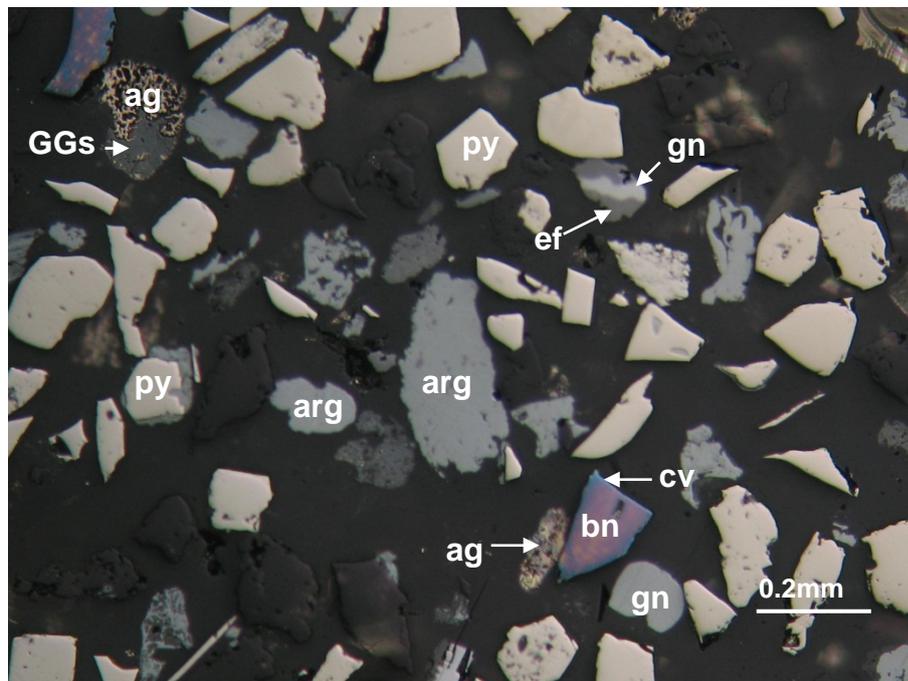


Figura N° 4.12 Microfotografía a 50X de Concentrado Malla +270.- Granos libres de argentita (arg), piritas (py), plata nativa anhedral (ag) bornita (bn) asociada a covelita (cv).

Tabla N° 4.18 Distribución Mineralógica del Concentrado, Malla + 270

	% Libres	% Mixtos	% Grado de Liberación
GGs	36.31	1.81	95.25
esf	0.12	0.02	85.71
gn	0.23	0.01	95.83
py	55.65	1.33	97.65
apy	0.19	0	100.00
arg	3.59	0.5	87.53
oro	0	0.06	0
pea	0.19	0.04	82.61

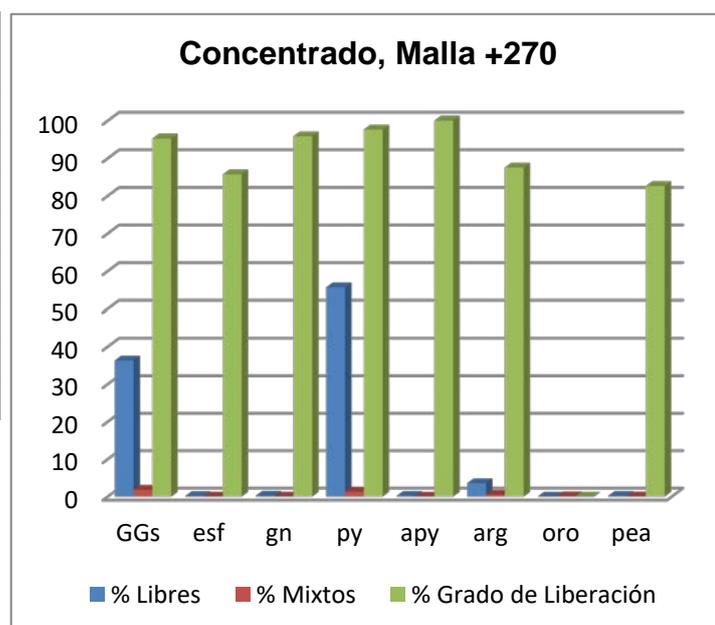


Tabla Nº 4.19 Análisis Mineralógico de Concentrado Malla +400

Minerales Libres	# Granos	# Gr. X P.E.	% Areal	Liberación (%)	GGs	ef	gn	py	apy	arg	Oro	CGRs	pol	Prou	hm	pea
Gangas	477	1240.20	33.93	96.50	33.93											
Esfalerita	2	8.10	0.22	78.57		0.22										
Galena	1	7.50	0.21	60.00			0.21									
Pirita	397	2004.85	54.85	98.30				54.85								
Arsenopirita	0	0.00	0.00	0.00					0.00							
Argentita	38	277.40	7.59	96.20						7.59						
Oro	1	19.30	0.53	100.00							0.53					
Cobres Grises	0	0.00	0.00	0.00								0.00				
Polibasita	0	0.00	0.00	0.00									0.00			
Proustita	0	0.00	0.00	0.00										0.00		
Hematita	0	0.00	0.00	0.00											0.00	
Pearceíta	0	0.00	0.00	0.00												0.00
Min. Asociados				Asociaciones												
GGs-py	17	58.90	1.61	1a(I,II), 1b(I)	0.78			0.83								
GGs-ef	1	3.05	0.08	1a(II)	0.04	0.04										
GGs-gn	2	8.49	0.23	1b(I)	0.09		0.14									
GGs-arg	5	20.05	0.55	1a(II)	0.25					0.30						
py-ef	1	4.95	0.14	1e(II)		0.02		0.12								
GGs-oro	1	2.68	0.07	1e(II)	0.07						0.00					
Total	943	3655.47	100.00		35.16	0.28	0.35	55.80	0.00	7.89	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
					GGs	ef	gn	py	apy	arg	Oro	CGRs	pol	Prou	hm	pea

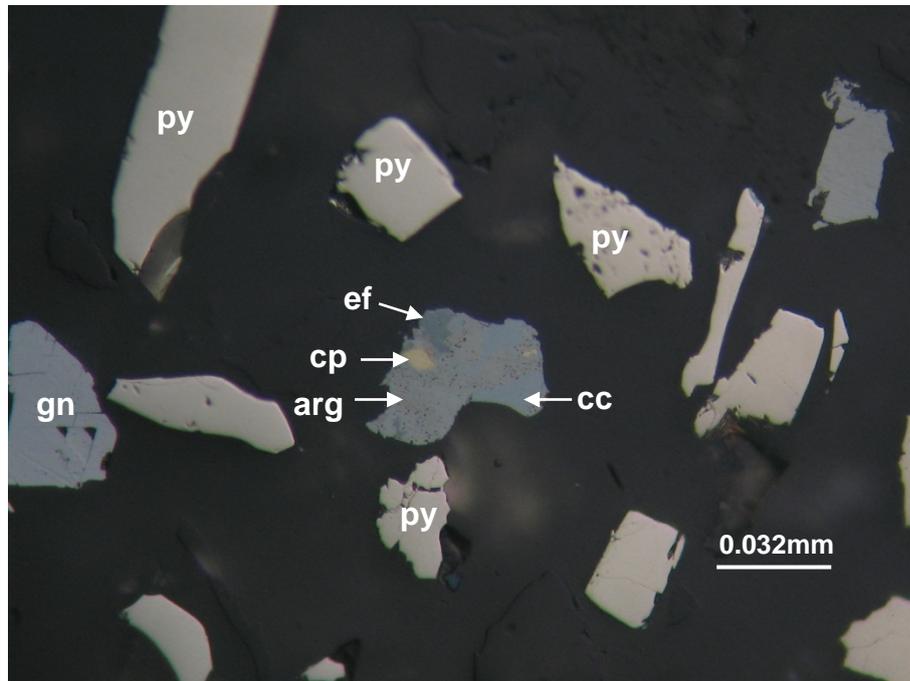


Figura N° 4.13 Microfotografía a 500X de Concentrado Malla +400.- Grano mixto de argentita (arg) asociada a calcopirita (cp), calcosina (cc) y esfalerita (ef).

Tabla N° 4.20 Distribución Mineralógica del Concentrado, Malla + 400

	% Libres	% Mixtos	% Grado de Liberación
GGs	33.93	1.23	96.50
esf	0.22	0.06	78.57
gn	0.21	0.14	60.00
py	54.85	0.95	98.30
arg	7.59	0.3	96.20
Oro	0.53	0	100.00

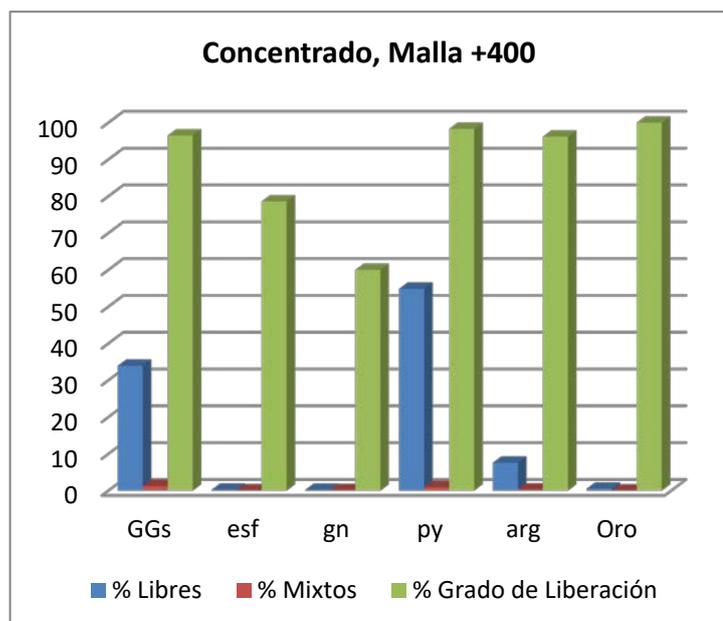


Tabla N° 4.21 Análisis Minera lógico de Concentrado Malla -400

Minerales Libres	# Granos	# Gr. X P.E.	% Areal	Liberación (%)	GGs	ef	gn	py	apy	arg	Oro	CGRs	pol	Prou	hm	pea
Gangas	879	2285.40	73.90	98.98	73.90											
Esfalerita	1	4.05	0.13	81.25		0.13										
Galena	1	7.50	0.24	82.76			0.24									
Pirita	109	550.45	17.80	97.11				17.80								
Arsenopirita	1	6.10	0.20	100.00					0.20							
Argentita	24	175.20	5.67	98.78						5.67						
Oro	1	19.30	0.62	100.00							0.62					
Cobres Grises	0	0.00	0.00	0.00								0.00				
Polibasita	0	0.00	0.00	0.00									0.00			
Proustita	0	0.00	0.00	0.00										0.00		
Hematita	0	0.00	0.00	0.00											0.00	
Pearceíta	0	0.00	0.00	0.00												0.00
Min. Asociados				Asociaciones												
GGs-py	9	29.53	0.95	1a(II), 1b(II)	0.55			0.41								
GGs-arg	2	6.61	0.21	1a(II), 1e(III)	0.14					0.07						
py-ef	1	4.79	0.15	1e(II)		0.03		0.12								
GGs-gn	1	3.58	0.12	1a(II)	0.07		0.05									
Total	1029	3092.51	100.00		74.66	0.16	0.29	18.33	0.20	5.74	0.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
					GGs	ef	gn	py	apy	arg	Oro	CGRs	pol	Prou	hm	pea



Figura N° 4.14 Microfotografía a 500X de Concentrado Malla -400.- Granos libres de argentita (arg), piritas (py), un grano mixto de cobres grises (CGRs) asociado a calcosina (cc).

Tabla N° 4.22 Distribución Mineralógica del Concentrado, Malla - 400

	% Libres	% Mixtos	% Grado de Liberación
GGs	73.95	0.76	98.98
esf	0.13	0.03	81.25
gn	0.24	0.05	82.76
py	17.81	0.53	97.11
apy	0.20	0	100.00
arg	5.67	0.07	98.78
Oro	0.62	0	100.00

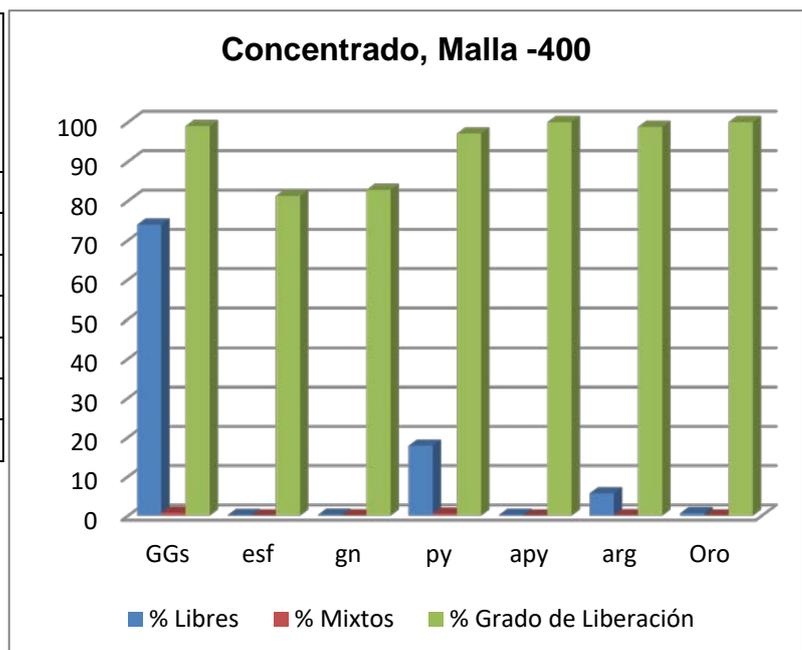


Tabla N° 4.23 % Distribución mineralógica por mallas de granos libres en el concentrado

	Malla +200	Malla +270	Malla +400	Malla -400
Gangas	39.23	36.31	33.93	73.95
Esfalerita	0.35	0.12	0.22	0.13
Galena	0.33	0.23	0.21	0.24
Pirita	50.58	55.65	54.85	17.81
Arsenopirita	0	0.19	0	0.20
Argentita	4.47	3.59	7.59	5.67
Oro nativo	0.84	0	0.53	0.62
Pearceita	0	0.19	0	0

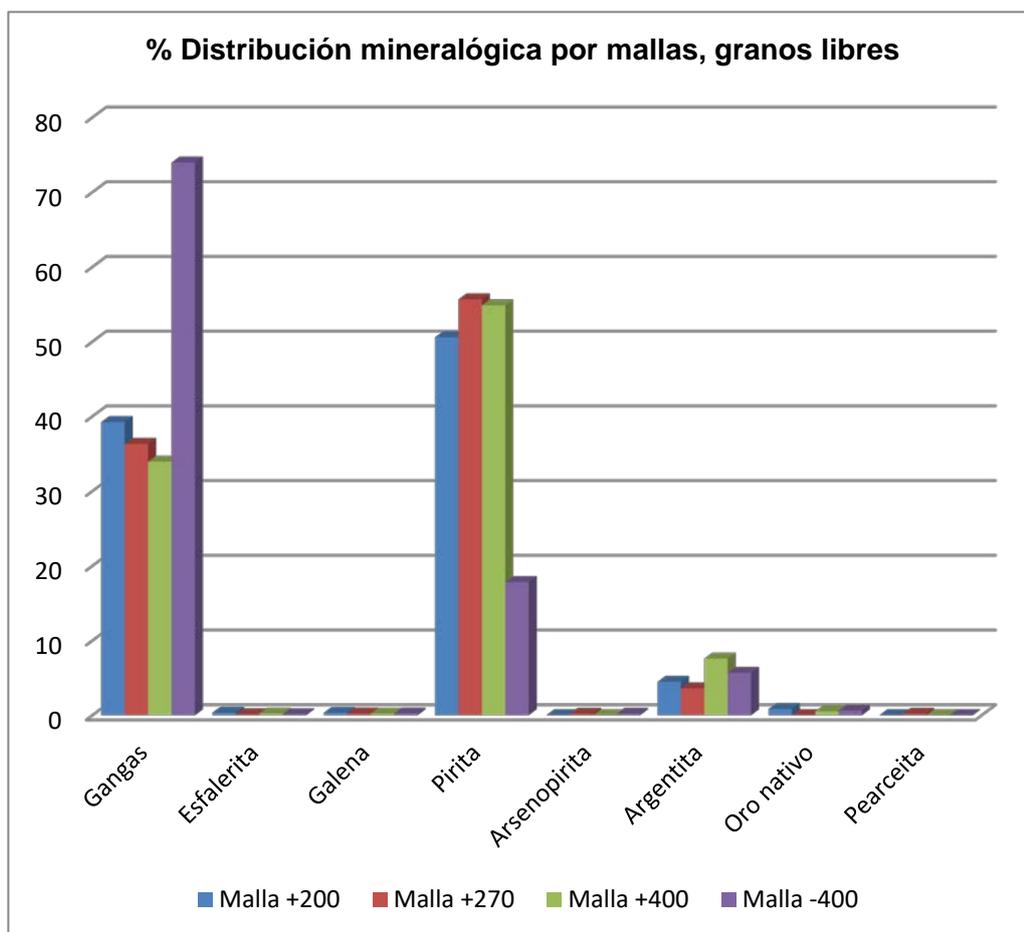


Tabla N° 4.24 % Distribución mineralógica por mallas de granos mixtos en el concentrado

	Malla +200	Malla +270	Malla +400	Malla -400
Gangas	2.08	1.81	1.24	0.76
Esfalerita	0.06	0.02	0.06	0.03
Galena	0	0.01	0.14	0.05
Pirita	1.42	1.33	0.95	0.53
Argentita	0.51	0.5	0.3	0.07
Oro nativo	0.02	0.06	0	0
Proucita	0.04	0	0	0
Pearceita	0.05	0.04	0	0

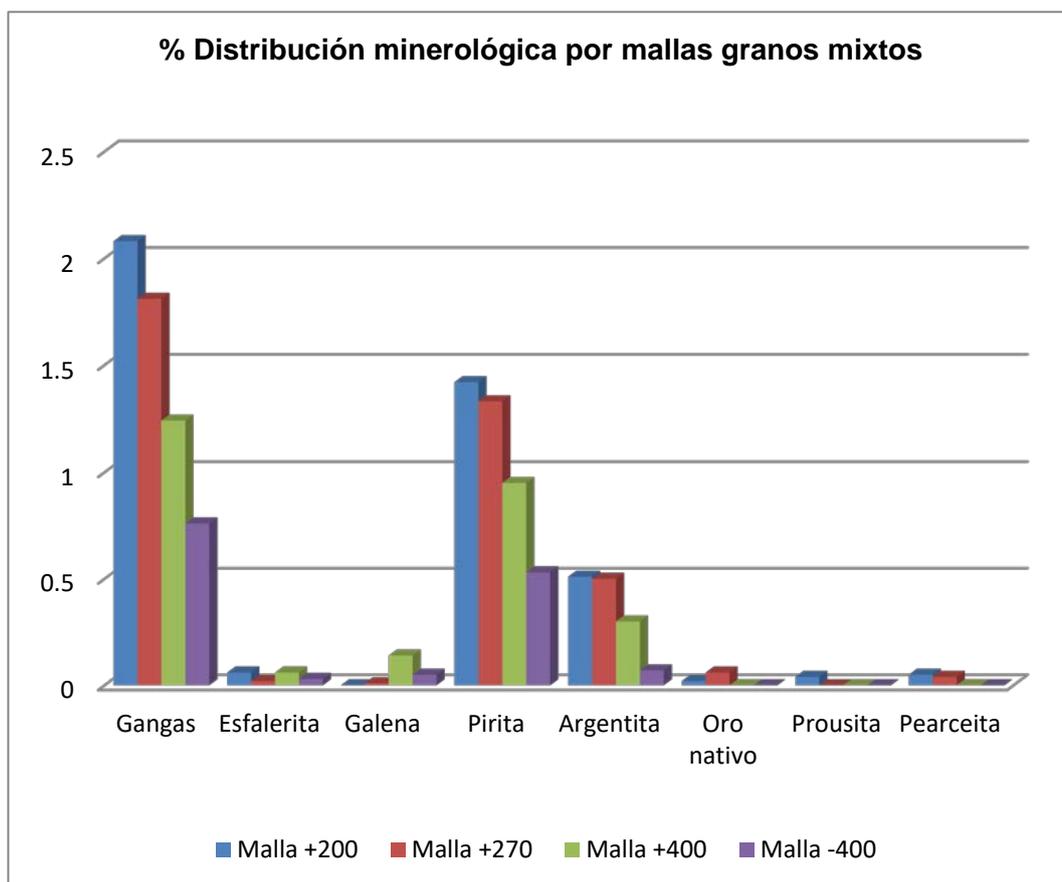
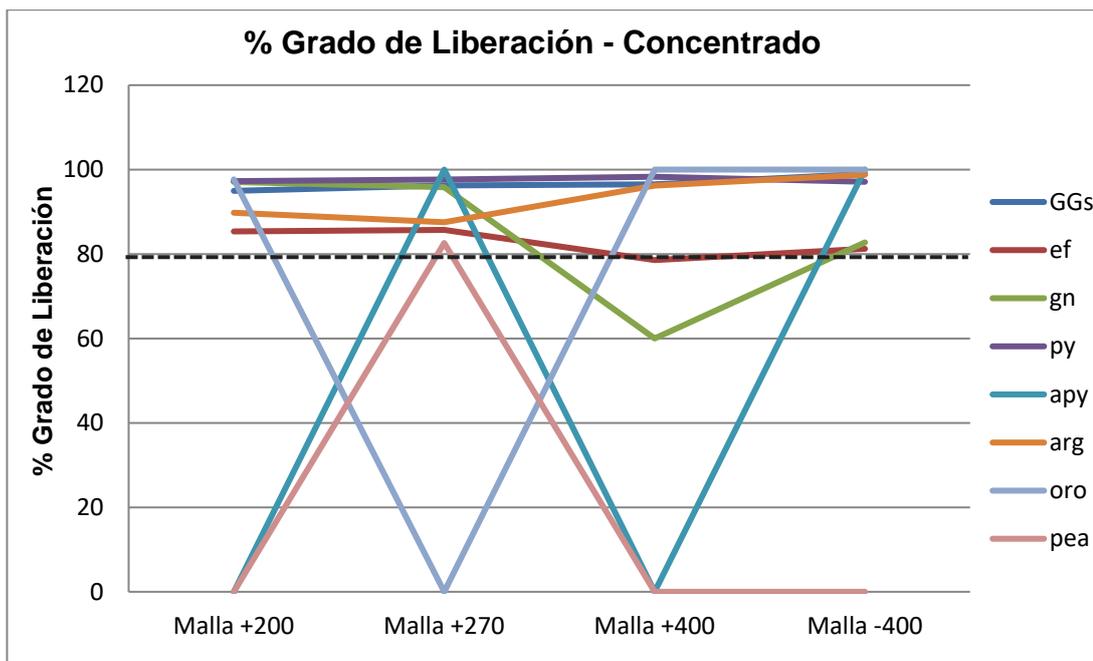
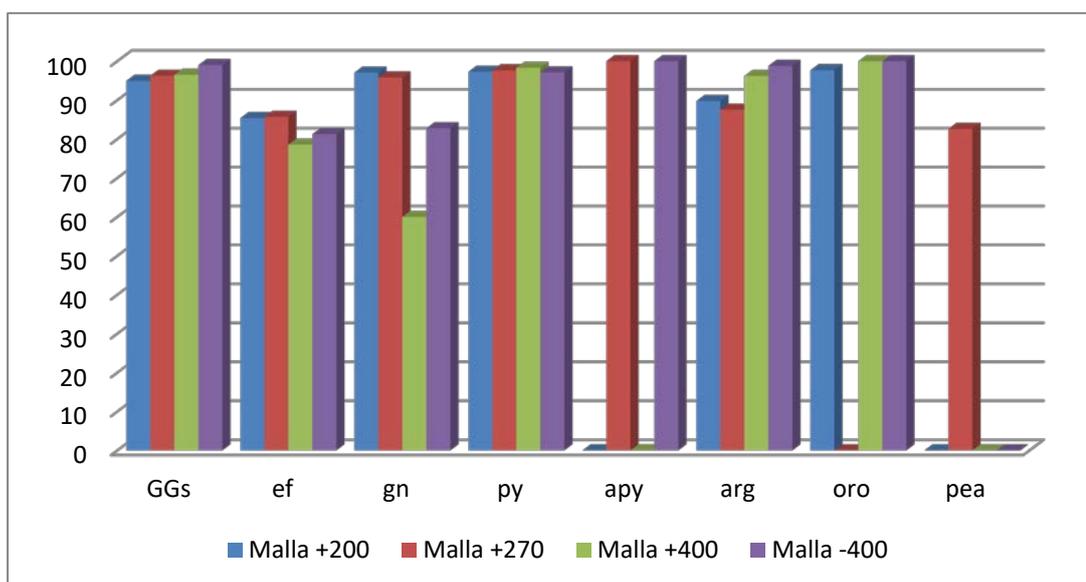


Tabla N° 4.25 % Grado de Liberación. Concentrado

	Malla +200	Malla +270	Malla +400	Malla -400
GGs	94.96	96.25	96.50	98.98
ef	85.37	85.71	78.57	81.25
gn	97.06	95.82	60	82.76
py	97.27	97.65	98.30	97.11
apy	0	100	0	100.00
arg	89.76	87.53	96.2	98.78
oro	97.67	0	100.00	100.00
pea	0	82.61	0	0



Resultados obtenidos del Concentrado:

- El oro y los minerales de plata se presentan como granos libres y mixtos desde la malla +200.
- En este concentrado se aprecian escasos porcentajes (0.2%) de esfalerita, galena y trazas de arsenopiritas con un grado de liberación relativamente bueno (>80%) lo que indica que una buena parte de dicho mineral debe flotar como partículas libres.
- Se observa mucha presencia de pirita (en promedio de 50% del total) hasta la malla +400 y en menor proporción (menor al 17%) en la malla -400.
- Los granos mixtos representan menos del 5% de la muestra
- Los minerales de plata ocurren mayormente asociados con la ganga. El oro se encuentra asociado también a la ganga y como mineral libre en mayor porcentaje.
- Las gangas tienen un % de granos libres bajo hasta la malla +400 (36.5% en promedio) y elevado en malla más finas (malla -400) lo cual evidencia que el proceso utilizado para la recuperación del mineral valioso ha sido buena
- La buena molienda detectada en la muestra de cabeza se puede apreciar por el alto grado de liberación de los diferentes minerales en el concentrado. Gangas, pirita, argentita y oro tienen un grado de liberación mayor al 85% en promedio, esto nos indica que se ha realizado una buena recuperación de los minerales valiosos y que los procesos metalúrgicos empleados han sido los correctos, pero pueden ser mejorados.

4.5.3 Muestra del Relave

En el caso de que los concentrados no alcancen el grado de liberación esperado, el estudio microscópico de los relaves es de vital importancia. Las causas de las pérdidas son múltiples y en muchos de los casos se pueden evitar.

Se tamizaron muestras de relave en las siguientes mallas: +200, +270, +400 y -400. Se procede luego a realizar el Análisis Mineralógico por Microscopía Óptica de las siguientes mallas:

Malla +200 (Tabla N° 4.26)

Malla +270 (Tabla N° 4.28)

Malla +400 (Tabla N° 4.30)

Malla -400 (Tabla N° 4.32)

Tabla N° 4.26 Análisis Mineralógica del Relave Malla +200

Minerales Libres	# Granos	# Gr. X P.E.	% Areal	Liberación (%)	GGs	ef	gn	py	apy	arg	Oro	CGRs	pol	Prou	hm	pea	rt
Gangas	504	1310.40	94.77	98.34	94.95												
Esfalerita	0	0.00	0.00	0.00		0.00											
Galena	0	0.00	0.00	0.00			0.00										
Pirita	4	20.20	1.46	69.19				1.46									
Arsenopirita	0	0.00	0.00	0.00					0.00								
Argentita	0	0.00	0.00	0.00						0.00							
Oro	0	0.00	0.00	0.00							0.00						
Cobres Grises	0	0.00	0.00	0.00								0.00					
Polibasita	0	0.00	0.00	0.00									0.00				
Proustita	0	0.00	0.00	0.00										0.00			
Hematita	0	0.00	0.00	0.00											0.00		
Pearceíta	0	0.00	0.00	0.00												0.00	
Rutilo	1	4.25	0.31	59.62													0.31
Min. Asociados				Asociaciones													
GGs-hm	2	5.83	0.42	1b(I)	0.24										0.18		
GGs-py	3	8.29	0.60	1d(II), 1e(II)	0.53			0.07									
GGs-gn-py	2	6.91	0.50	1a(II), 1e(I)	0.23		0.09	0.18									
GGs-arg-hm	1	4.19	0.30	1a(II)	0.09					0.16					0.05		
GGs-py-apy	1	3.49	0.25	1d(I)	0.13			0.05	0.07								
hm-py	1	3.66	0.26	1e(II)				0.04							0.23		
GGs-rt	2	6.19	0.45	1a(I)	0.26											0.18	0.18
py-rt	1	4.74	0.34	1e(I)				0.31								0.03	0.03
GGs-oro	1	4.62	0.14	1e(II)	0.12						0.02						
Total	523	1382.77	99.81		96.55	0.00	0.09	2.11	0.07	0.16	0.02	0.00	0.00	0.00	0.46	0.21	0.52
					GGs	ef	gn	py	apy	arg	Oro	CGRs	pol	Prou	hm	pea	rt

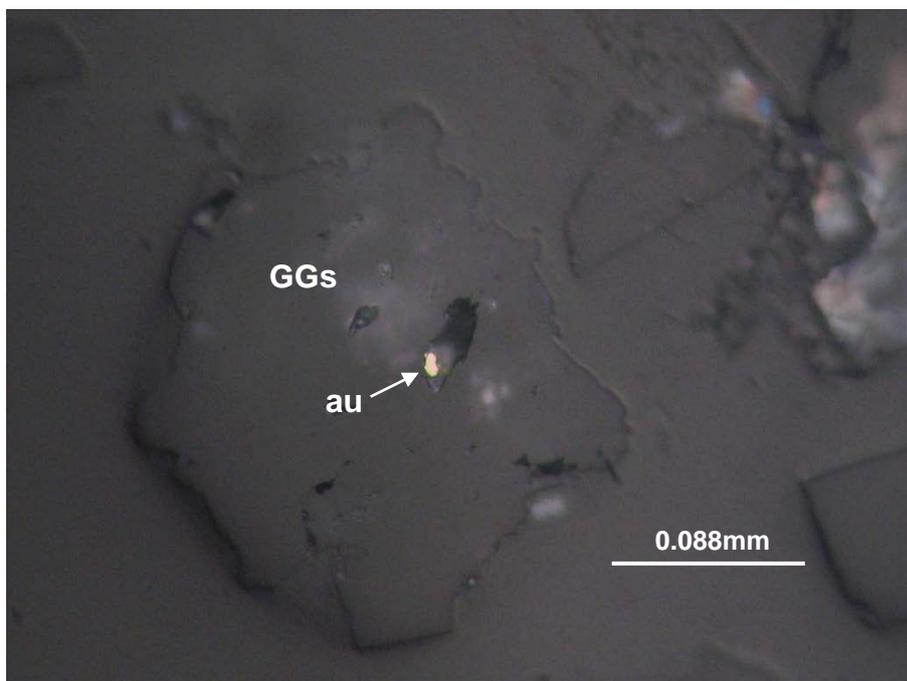


Figura N° 4.17 Microfotografía a 100X del Relave Malla +200.- Grano de oro (au) dentro de cavidad de un grano de gangas (GGs), de 0.006mm de tamaño.

Tabla N° 4.27 Distribución Mineralógica del Relave, Malla + 200

	% Libres	% Mixtos	(%) Grado de Liberacion
GGs	94.95	1.6	98.34
py	1.46	0.65	69.19
arg	0	0	0.00
Oro	0	0.02	0.00
rt	0.31	0.21	59.62
hem	0	0.46	0.00

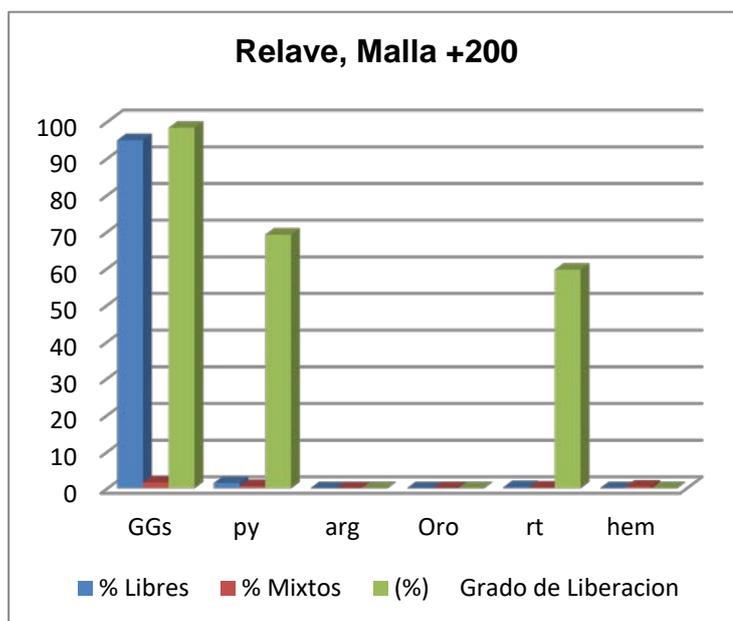


Tabla N° 4.28 Análisis Mineralógica del Relave Malla +270

Minerales Libres	# Granos	# Gr. X P.E.	% Areal	Liberación (%)	GGs	ef	gn	py	apy	arg	Oro	CGRs	pol	Prou	hm	pea	rt
Gangas	629	1635.40	94.45	98.77	94.74												
Esfalerita	0	0.00	0.00	0.00		0.00											
Galena	0	0.00	0.00	0.00			0.00										
Pirita	8	40.40	2.33	84.17				2.34									
Arsenopirita	0	0.00	0.00	0.00					0.00								
Argentita	0	0.00	0.00	0.00						0.00							
Oro	0	0.00	0.00	0.00							0.00						
Cobres Grises	0	0.00	0.00	0.00								0.00					
Polibasita	0	0.00	0.00	0.00									0.00				
Proustita	0	0.00	0.00	0.00										0.00			
Hematita	2	7.60	0.44	52.38											0.44		
Pearceíta	0	0.00	0.00	0.00												0.00	
Rutilo	2	8.50	0.49	81.67													0.49
Min. Asociados				Asociaciones													
GGs-py	3	9.27	0.54	1a(I,II)	0.36			0.18									
GGs-rt	2	5.70	0.33	1d(II), 1e(II)	0.26												0.07
GGs-arg	1	2.84	0.16	1e(II)	0.14					0.02							
py-rt	1	4.93	0.28	1d(II)				0.25									0.04
GGs-hm	3	8.70	0.50	1b(II)	0.30										0.20		
hm-py	1	3.53	0.20	1e(II)				0.01							0.20		
GGs-oro	1	4.58	0.15	1e(I)	0.12						0.03						
Total	653	1731.45	99.89		95.92	0.00	0.00	2.78	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.84	0.00	0.60
					GGs	ef	gn	py	apy	arg	Oro	CGRs	pol	Prou	hm	pea	rt

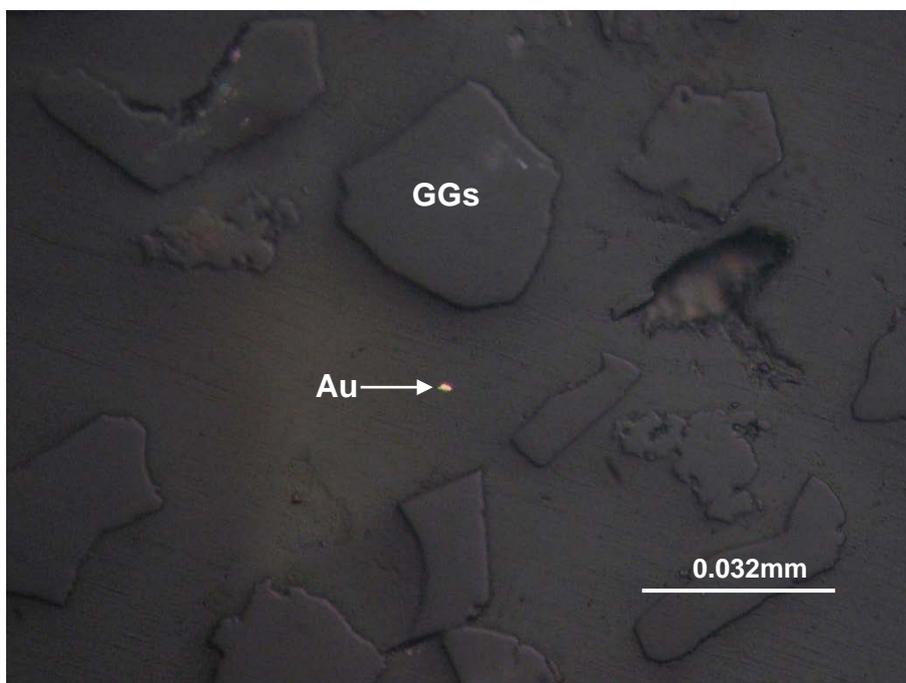


Figura N° 4.18 Microfotografía a 500X del Relave Malla +270.- Grano libre de oro (au) de 0.004mm de tamaño.

Tabla N° 4.29 Distribución Mineralógica del Relave, Malla + 270

	% Libres	% Mixtos	(%) Grado de Liberacion
GGs	94.74	1.18	98.77
py	2.34	0.43	84.17
arg	0	0.02	0.00
Oro	0	0.03	0.00
ru	0.49	0.11	81.67
hem	0.44	0.4	52.38

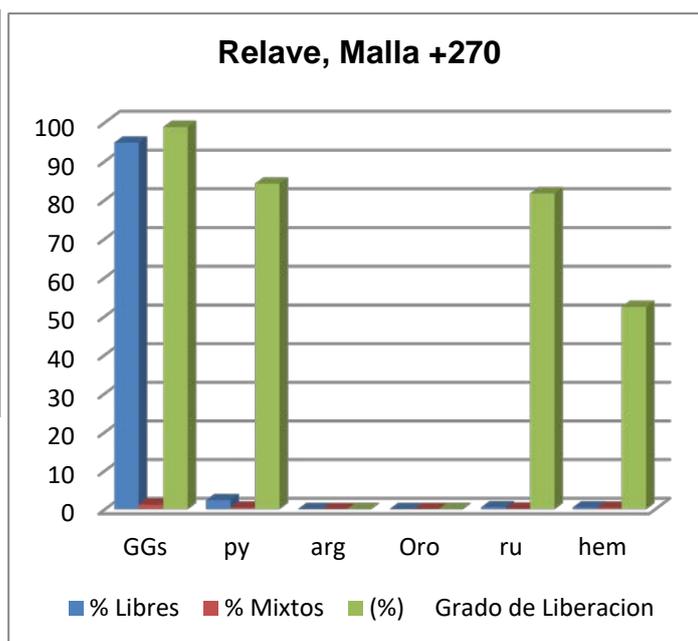


Tabla Nº 4.30 Análisis Mineralógica del Relave Malla +400

Minerales Libres	# Granos	# Gr. X P.E.	% Areal	Liberación (%)	GGs	ef	gn	py	apy	arg	Oro	CGRs	pol	Prou	hm	pea	rt
Gangas	715	1859.00	93.80	98.90	93.80												
Esfalerita	0	0.00	0.00	0.00		0.00											
Galena	0	0.00	0.00	0.00			0.00										
Pirita	9	45.45	2.29	81.49				2.29									
Arsenopirita	0	0.00	0.00	0.00					0.00								
Argentita	0	0.00	0.00	0.00						0.00							
Oro	1	19.30	0.97	86.61							0.97						
Cobres Grises	0	0.00	0.00	0.00								0.00					
Polibasita	0	0.00	0.00	0.00									0.00				
Proustita	0	0.00	0.00	0.00										0.00			
Hematita	2	7.60	0.38	100.00											0.38		
Pearceíta	0	0.00	0.00	0.00												0.00	
Rutilo	3	12.75	0.64	79.01													0.64
Min. Asociados				Asociaciones													
GGs-py	4	11.38	0.57	1d(II), 1e(II)	0.47			0.10									
GGs-oro	1	5.11	0.26	1a(II)	0.11						0.15						
GGs-rt	3	8.46	0.43	1d(II)	0.34												0.09
py-rt	2	9.82	0.50	1d(II)				0.42									0.08
GGs-arg	1	3.07	0.15	1e(II)	0.12					0.04							
Total	741	1981.94	100.00		94.84	0.00	0.00	2.81	0.00	0.04	1.12	0.00	0.00	0.00	0.38	0.00	0.81
					GGs	ef	gn	py	apy	arg	Oro	CGRs	pol	Prou	hm	pea	rt

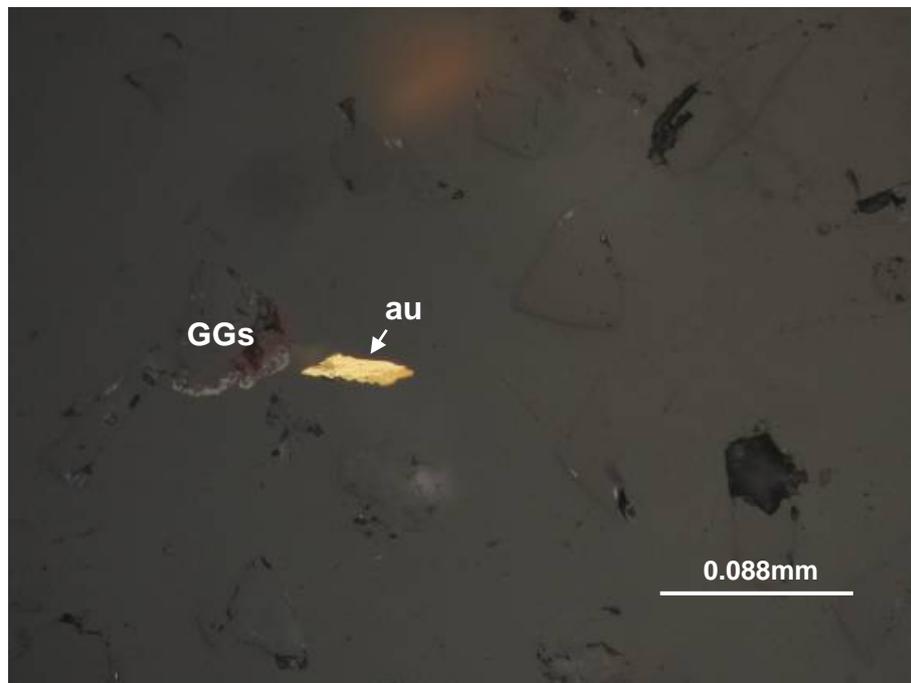


Figura N° 4.20 Microfotografía a 500X del Relave Malla +400.- Grano libre de oro (au) de 0.04mm de tamaño.

Tabla N° 4.31 Distribución Mineralógica del Relave, Malla + 400

	% Libres	% Mixtos	(%) Grado de Liberacion
GGs	93.8	1.04	98.90
py	2.29	0.52	81.49
arg	0	0.04	0.00
Oro	0.97	0.15	86.91
ru	0.64	0.16	79.01
hem	0.35	0	100.00

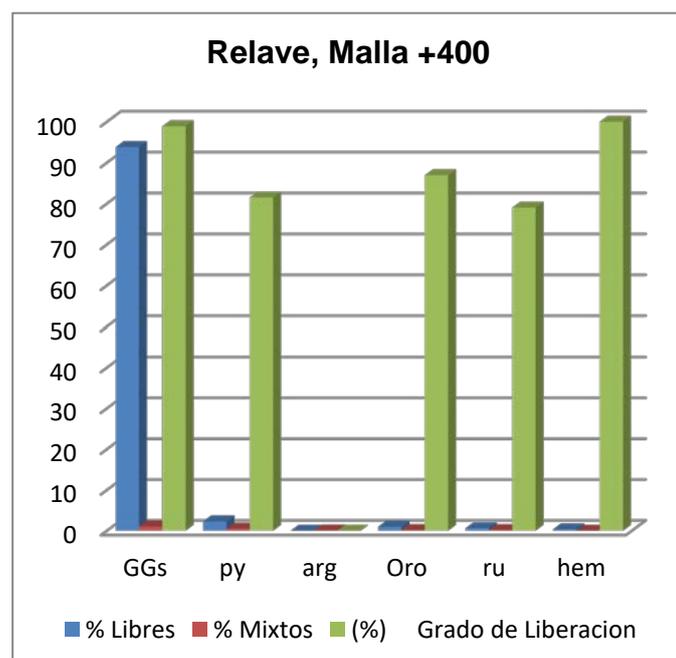


Tabla Nº 4.32 Análisis Mineralógica del Relave Malla - 400

Minerales Libres	# Granos	# Gr. X P.E.	% Areal	Liberación (%)	GGs	ef	gn	py	apy	arg	Oro	CGRs	pol	Prou	hm	pea	rt
Gangas	1257	3268.20	97.07	99.58	97.07												
Esfalerita	0	0.00	0.00	0.00		0.00											
Galena	0	0.00	0.00	0.00			0.00										
Pirita	2	10.10	0.30	57.69				0.30									
Arsenopirita	0	0.00	0.00	0.00					0.00								
Argentita	3	21.90	0.65	100.00						0.65							
Oro	2	38.60	1.15	94.26							1.15						
Cobres Grises	0	0.00	0.00	0.00								0.00					
Polibasita	0	0.00	0.00	0.00									0.00				
Proustita	0	0.00	0.00	0.00										0.00			
Hematita	0	0.00	0.00	0.00											0.00		
Pearceíta	0	0.00	0.00	0.00												0.00	
Rutilo	0	0.00	0.00	0.00													0.00
Min. Asociados				Asociaciones													
GGs-py	2	6.30	0.19	1d(II), 1e(II)	0.12			0.07									
GGs-hm	1	2.96	0.09	4a(I)	0.05										0.04		
py-arg	1	5.10	0.15	1e(II)				0.15		0.00							
GGs-oro	1	4.60	0.14	1e(II)	0.07						0.07						
GGs-rt	3	9.12	0.27	1a(II)	0.17												0.10
Total	1272	3366.88	100.00		97.48	0.00	0.00	0.52	0.00	0.65	1.22	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.10
					GGs	ef	gn	py	apy	arg	Oro	CGRs	pol	Prou	hm	pea	rt

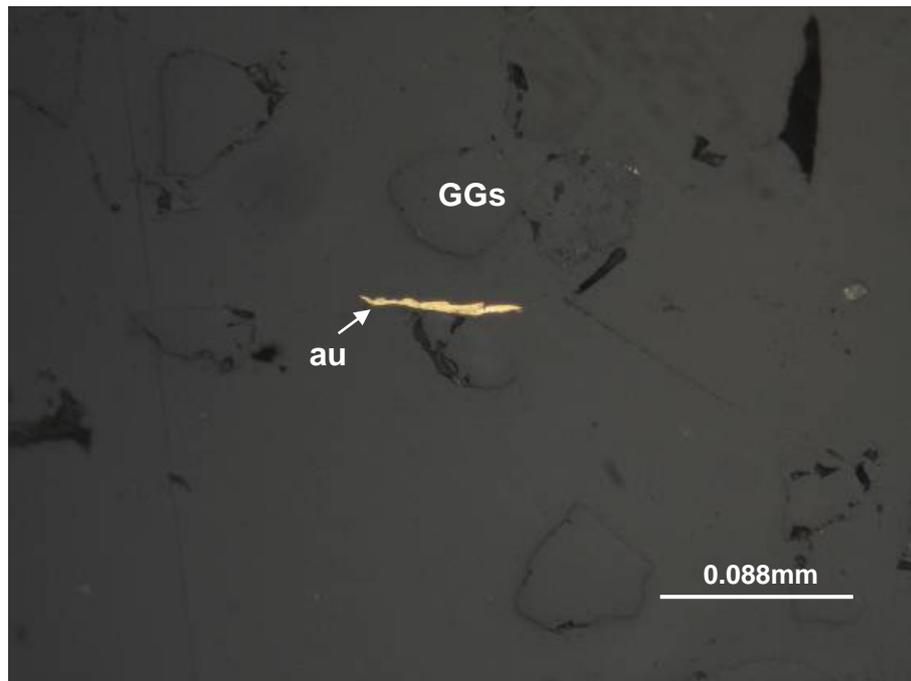


Figura N° 4.21 Microfotografía a 500X del Relave Malla - 400.- Grano libre de oro (au) de 0.056mm.

Tabla N° 4.33 Distribución Mineralógica del Relave, Malla – 400

	% Libres	% Mixtos	(%) Grado de Liberacion
GGs	97.07	0.4	99.58
py	0.3	0.21	57.69
arg	0.65	0	100.00
Oro	1.15	0.07	94.26
ru	0	0.1	0.00
hem	0	0.04	0.00

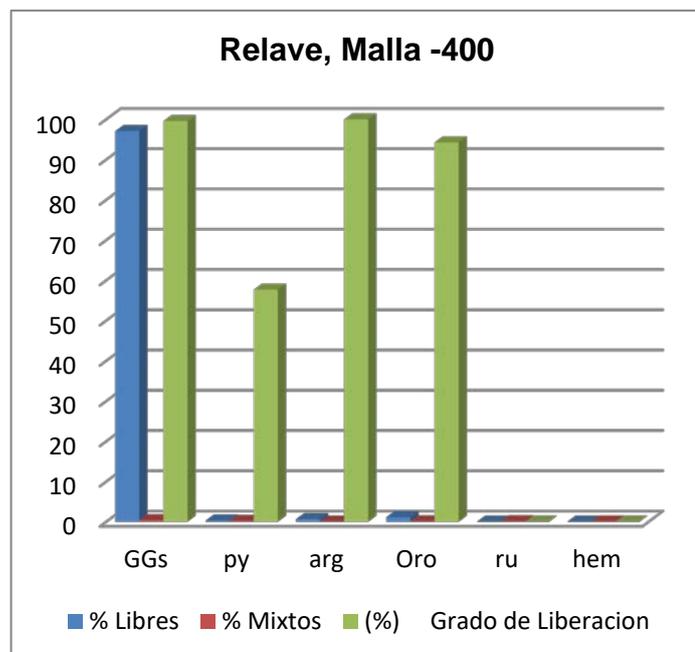


Tabla N° 4.34 % Distribución mineralógica por mallas de granos libres en el relave

	Malla +200	Malla +270	Malla +400	Malla -400
Gangas	94.95	94.74	93.80	97.07
Pirita	1.46	2.34	2.29	0.30
Argentita	0	0.00	0.00	0.65
Oro nativo	0	0.00	0.97	1.15
Rutilo	0.31	0.49	0.64	0.00
Hematita	0	0.41	0.35	0.00

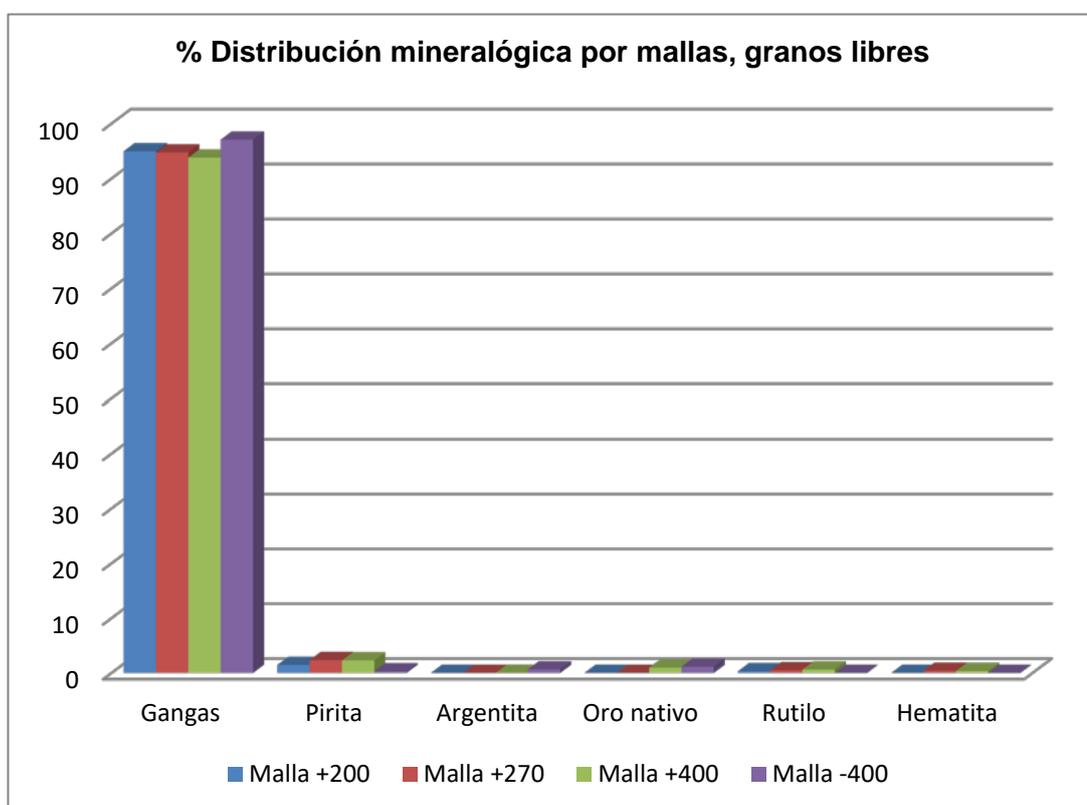


Tabla N° 4.35 % Distribución mineralógica por mallas de granos mixtos en el relave

	Malla +200	Malla +270	Malla +400	Malla -400
Gangas	1.60	1.18	1.04	0.41
Pirita	0.65	0.43	0.52	0.21
Argentita	0.16	0.02	0.04	0.00
Oro nativo	0.02	0.03	0.15	0.07
Rutilo	0.21	0.11	0.16	0.10
Hematita	0.46	0.40	0.00	0.04

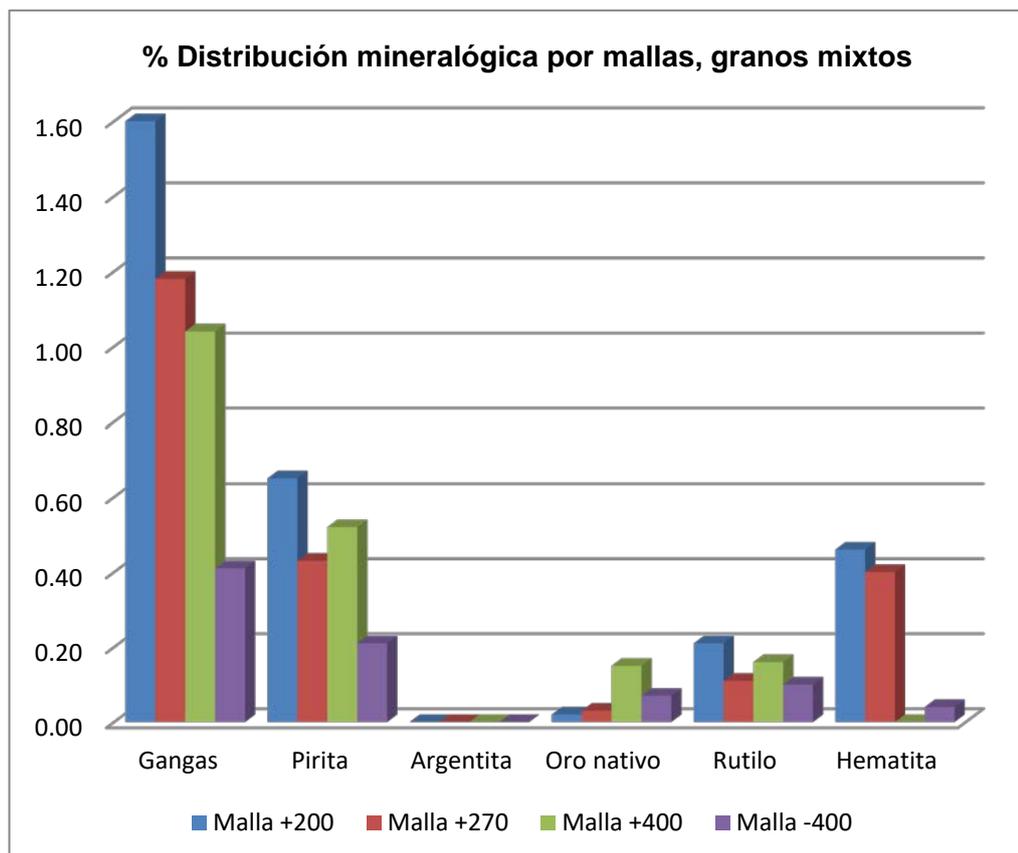
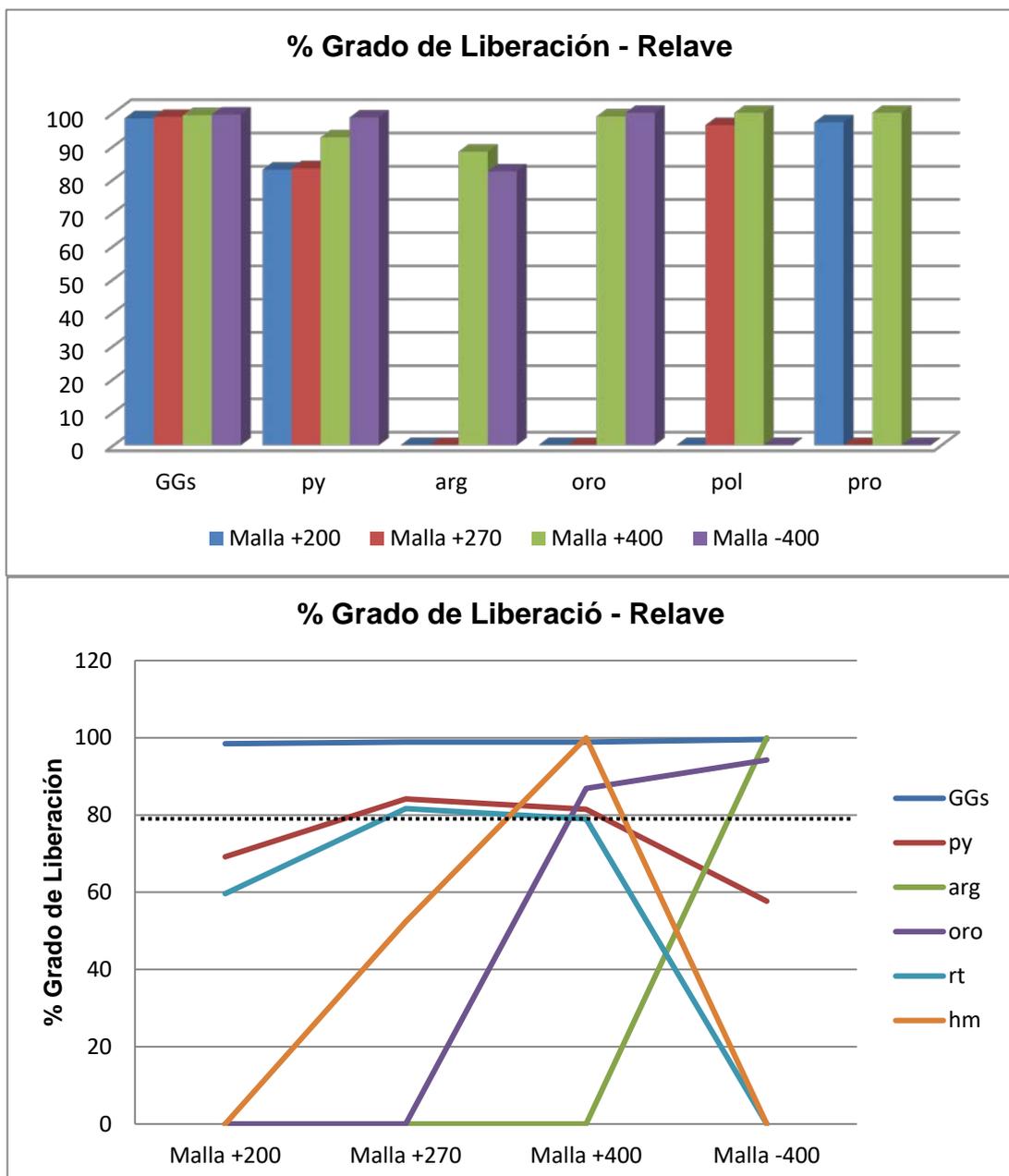


Tabla N° 4.36 % Grado de Liberación, Relave

	Malla +200	Malla +270	Malla +400	Malla -400
GGs	98.34	98.77	99.26	99.45
py	82.88	83.33	92.61	98.62
arg	0	0	88.31	82.35
oro	0	0	98.9	100
pol	0	96.3	100	0
pro	97.14	0	100	0



Resultados del Relave:

- El relave está constituido mayoritariamente por gangas, algo de pirita y escaso porcentaje de rutilos y hematita. Estas especies no fueron identificadas en el mineral de cabeza y concentrados por estar como minerales (asociados y diseminados) en cantidades demasiado pequeñas.
- Los granos mixtos representan menos del 5% de la muestra.
- La plata ocurre asociada a la ganga desde la malla +200.
- El oro nativo está presente principalmente como granos mixtos en todas las mallas y solamente como grano libre en las mallas más finas (+m400 y -m400).
- El % del grado de liberación de las especies denominadas gangas, argentita y oro es mayor a 80% en promedio, lo que indica que se podría recuperar las especies valiosas utilizando otros métodos de recuperación complementarios a los utilizados u optimizando los métodos actuales.
- Se podría concluir que los resultados obtenidos dan a entender que la presencia de oro libre en el relave indica que algo está fallando en los métodos de recuperación utilizados, ya que se puede apreciar partículas libres de oro, lo cual no debe de ocurrir.

CONCLUSIONES

1. Este informe intenta dar a conocer los principios básicos en Microscopía óptica que toda persona debe conocer cuando trabajan con ellos ya sean estos Microscopios Biológicos, Metalográficos o de Polarización. Saber su funcionamiento básico, accesorios principales y nomenclaturas presentes en estos para poder escoger lo correcto a la hora de trabajar con ellos.
2. La importancia de la microscopía se puede dar en el control de calidad en las diferentes etapas del proceso de recuperación de los minerales como ser: controles microscópicos en la etapa de molienda, flotación, remolienda, relave, Clasificadores, etc.
3. Es de especial importancia poner énfasis en los estudios mineralógicos por microscopía óptica sobre muestras representativas de la mineralización que permitirán identificar las especies minerales presentes para que con esa información sea posible predecir cuales elementos químicos podrían ser aprovechados, cuales podrían interferir, que posibilidades y limitaciones existirán para poder liberar una especie de otras, porque algunos minerales no responden al proceso de flotación ocasionando grandes pérdidas por no

reaccionar a los reactivos utilizados o porque estos reaccionan con los minerales no valiosos, que procesos metalúrgicos serán los más apropiados para tratar cierto tipos de menas, etc.

4. La implementación de un laboratorio de Microscopia básico, no representa una inversión fuerte con respecto a los beneficios que se pudieran obtener. La dificultad recaería en la preparación de los microscopistas, los cuales deben de estar familiarizados con los problemas metalúrgicos y que puedan traducir los resultados en aporte de sus colegas metalurgistas. Esto conlleva naturalmente a una preparación adecuada a través de los cursos de microscopia, dedicando algunos capítulos para el ejercicio de este tipo de problemas.
5. Con la Microscopía óptica se puede determinar los requerimientos necesarios para la comercialización del concentrado del cual se debe reportar el o los minerales que generen castigos en la venta del producto.
6. La determinación del grado de liberación no solo es indispensable como investigación previa al diseño de cualquier tipo de proceso de tratamiento, sino que también resulta muy valiosa para evaluar el rendimiento de los equipos de molienda o de clasificación y para incrementar la eficiencia de plantas en operación.
7. Los análisis mineralógicos por microscopia óptica son unos ensayos complementarios a los ya existente que pretenden dar más herramientas al metalurgista para comprobar de cómo está su recuperación y hacerla eficiente, y poder contrastarla con los ensayos químicos.

8. En base a la mineralogía observada en los minerales de cabeza, concentrado y relave tanto como especies libres como asociadas, se puede inferir que la molienda logro un alto grado de liberación en los diferentes minerales

9. Encontrar la forma de mejorar la recuperación del oro nativo ya sea cambiando a un reactivo más específico o variando algunos de los parámetros utilizados.

BIBLIOGRAFÍA

1. ERNEST LEITZ GMBH WETZLAR ALEMANIA. Microscopia de Polarización, Fundamentos, Instrumental y aplicaciones. Pag. 6 - 17
2. RICARDO CASTROVIEJO BOLIVAR. Fundamentos de óptica Minera. Pag. 5 – 12, pag. 20 - 21
3. FELIX GONZALES BONORINO. Mineralogía óptica. Editorial Universitaria de Buenos Aires 1976. Pag. 3 - 15
4. E. CEDILLO P. Control Mineralógico de los Procesos Metalúrgicos (aplicación de la microscopia de luz reflejada) Pag. 1 - 15
5. E. Wm HEINRICH: Identificación Microscópica de los Minerales. Urmo S.A. de ediciones – Bilbao. Pag. 20 - 92
6. A.Z.M. ABOUZEID. Mineral Processing Laboratory Manual. Pag. 11 – 54
7. NACHTIGALL, WERNER: Microscopía. Ediciones Omega S.A. 1 ed (1997)

8. JOSE MANZANEDA CABALA: Procesamiento de Minerales – Microscopia de Opacos. Pag. 346 – 340.
9. KERR P.F. (1965): Mineralogía óptica 3ª. Ed. New York: McGraw-Hill, 433 p.
10. WINCHELL, A.N (1951) – Elements of optical mineralogy. 4a. ed. London. Wiley, 551 p.
11. LOCQUIN, M; LANGERON, M: Manual de microscopía, Editorial Labor, S.A., Barcelona 1985. Pag. 42 - 45
12. OLYMPUS 2011: Conceptos básicos de la microscopia óptica (consulta: agosto del 2011). <http://www.olympusmicro.com>
13. OLYMPUS 2011: Polarización de la luz (consulta: Agosto 2011). <http://www.olympusmicro.com/primer/lightandcolor/polarization.html>
14. SYDNEY H. AVNER: Introducción a la Metalurgia física. Segunda edición McGRAW-HILL. (1979) Pag 27 – 38.
15. Examen Metalográfico, conceptos fundamentales: (consulta: Julio 2011). <http://www.fi.uba.ar/materias>
16. J. BERNIS MATEU: Atlas de microscopía. Ediciones Jover S.A. Barcelona (1986). 86 p.