



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y

Geográfica

Unidad de Posgrado

**Análisis de la caracterización mineralógica de los
pórfidos de cobre para el soporte a los procesos de
flotación relacionado al batolito**

TESIS

Para optar el Grado Académico de Magíster en Geometalurgia

AUTOR

Guillermo Kenneth Christian IRIARTE DÁVILA

ASESOR

Dr. Edmundo Abdul ALFARO DELGADO

Lima, Perú

2022



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Iriarte, G. (2022). *Análisis de la caracterización mineralógica de los pórfidos de cobre para el soporte a los procesos de flotación relacionado al batolito*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Guillermo Kenneth Christian Iriarte Dávila
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41567118
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-8733-4366
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Edmundo Abdul Alfaro Delgado
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	29232604
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-5331-1388
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Alfonso Alberto Romero Baylón
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	31625834
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Jaime César Mayorga Rojas
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10369482
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	José Andrés Yparraguirre Calderón
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10293400
Datos de investigación	

Línea de investigación	No aplica
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Cusco Provincia: Espinar Distrito: Espinar Latitud: -14.7906 Longitud: -71.4240
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2019 - 2020
URL de disciplinas OCDE	Geociencias, Multidisciplinar: http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.01



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

SUSTENTACIÓN PÚBLICA

En la Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Lima, a los veintinueve días del mes de noviembre del año dos mil veintidos, siendo las once horas, se reúnen los suscritos Miembros del Jurado Examinador de Tesis, nombrado mediante Dictamen N° 000677-2022-UPG-VDIP-FIGMMG/UNMSM del 22 de noviembre del 2022, con la finalidad de evaluar la sustentación oral de la siguiente tesis:

TÍTULO

«ANÁLISIS DE LA CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LOS PÓRFIDOS DE COBRE PARA EL SOPORTE A LOS PROCESOS DE FLOTACIÓN RELACIONADO AL BATOLITO»

Presentado por el Bach. **GUILLERMO KENNETH CHRISTIAN IRIARTE DÁVILA**, para optar el **GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER** en **GEOMETALURGIA**.

El Secretario del Jurado Examinador de la Tesis, analiza el expediente N° UNMSM-20210004037, de fecha 01 de febrero del 2021, en el marco legal y Estatutario de la Ley Universitaria, acreditando que tiene todos los documentos y que cumplió con las etapas del trámite según el «Reglamento General de Estudios de Posgrado», aprobado con Resolución Rectoral N° 04790-R-18 del 08 de agosto del 2018.

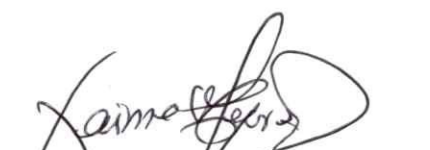
Luego de la Sustentación, se procede con la calificación de la Tesis, de acuerdo al procedimiento respectivo y se registra en el acta correspondiente de conformidad al Art. 100 del precitado Reglamento, correspondiéndole al graduando la siguiente calificación:

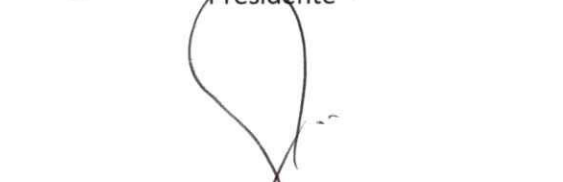
Muy Bueno (17)

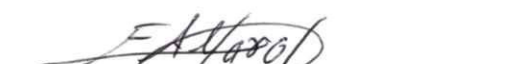
Habiendo sido aprobada la sustentación de la Tesis, el Presidente recomienda a la Facultad se le otorgue el **GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER** en **GEOMETALURGIA** al Bach. **GUILLERMO KENNETH CHRISTIAN IRIARTE DÁVILA**.

Siendo las 12:00 horas, se dio por concluido al acto académico.


DR. ALFONSO ALBERTO ROMERO BAYLÓN
Presidente


DR. JAIME CÉSAR MAYORGA ROJAS
Secretario


MG. JOSÉ ANDRÉS YPARRAGUIRRE CALDERÓN
Miembro


DR. EDMUNDO ABDUL ALFARO DELGADO
Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
UNIDAD DE POSGRADO

Lima, 14 de Septiembre del 2022

INFORME N° 000101-2022-UPG-VDIP-FIGMMG/UNMSM

INFORME DE ORIGINALIDAD

DIRECTOR DE LA UNIDAD DE POSGRADO

Dr. Carlos Del Valle Jurado

OPERADOR DEL PROGRAMA INFORMÁTICO DE SIMILITUDES

Tec. Wendy María Sanca Bernabé

DOCUMENTO EVALUADO:

Tesis para optar el Grado Académico de Magister en Geometalurgia titulado:
**“ANÁLISIS DE LA CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LOS PÓRFIDOS
DE COBRE PARA EL SOPORTE A LOS PROCESOS DE FLOTACIÓN
RELACIONADO AL BATOLITO”**

AUTOR DEL DOCUMENTO:

BACH. GUILLERMO KENNETH CHRISTIAN IRIARTE DAVILA

FECHA DE RECEPCIÓN DEL DOCUMENTO:

03/09/2022

FECHA DE APLICACIÓN DEL PROGRAMA INFORMÁTICO DE SIMILITUDES:

03/09/2022

SOFTWARE UTILIZADO

Turnitin

CONFIGURACIÓN DEL PROGRAMA DETECTOR DE SIMILITUDES

- Excluye textos entrecomillados
- Excluye fuentes para buscar similitud
- Excluye Bibliografía
- Excluye cadenas menores a 40 palabras

**PORCENTAJE DE SIMILITUDES SEGÚN PROGRAMA DETECTOR DE
SIMILITUDES**

Nueve por ciento (09 %)

FUENTES ORIGINALES DE LAS SIMILITUDES ENCONTRADAS

• oa.upm.es	2%
• Submitted to Universitat Politècnica de València	1%
• hdl.handle.net	1%
• repositorio.uwienr.edu.pe	1%
• docplayer.es	1%
• Submitted to Universidad de Lima	<1%
• Submitted to Universidad Nacional de Colombia	<1%





UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
UNIDAD DE POSGRADO

• Repositorio.Unsa.Edu.Pe	<1%
• orcid.org	<1%
• www.sgs.pe	<1%
• bibliotecas.unsa.edu.pe	<1%
• upcommons.upc.edu	<1%
• repositorio.uchile.cl	<1%
• Submitted to Universidad Cesar Vallejo	<1%
• repositorio.undac.edu.pe	<1%
• Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru	<1%
• zagan.unizar.es	<1%
• www.slideshare.net	<1%
• Submitted to Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO) - Sede Ecuador	<1%
• ri.ues.edu.sv	<1%

OBSERVACIONES

Ninguna

CALIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD

Documento cumple criterios de originalidad, sin observaciones

- **14/09/2022**

CARLOS DEL VALLE JURADO
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE POSGRADO

RRL/wsb



DEDICATORIA

A mi familia, por su apoyo incondicional, por enseñarme a crecer y por ser las bases que me ayudaron a llegar hasta aquí.

AGRADECIMIENTO

Debo agradecer de manera especial a mi asesor Dr. Edmundo Alfaro Delgado por su guía y haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, a los docentes de la unidad de posgrado de la maestría en Geometalurgia de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, quienes me han proporcionado los elementos teóricos y prácticos.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
LISTA DE CUADROS	X
LISTA DE FIGURAS	XII
RESUMEN	XVII
ABSTRACT	XVIII
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Situación Problemática	1
1.2 Formulación del Problema	2
1.2.1 Problema General	2
1.2.2 Problema Específico	2
1.3 Justificación Teórica	3
1.4 Justificación Práctica	3
1.5 Justificación Económica	3
1.6 Objetivos de la Investigación	5
1.6.1 Objetivo General	5
1.6.2 Objetivos Específicos	5
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	6
2.1 Marco epistemológico de la investigación	6
2.2 Antecedentes del Problema	8
2.3 Bases Teóricas	10
2.3.1 Mineralogía y el proceso productivo	10
2.3.1.1 Mineralogía de Pórfidos de cobre	11
2.3.1.2 Pórfidos de cobre en Batolitos del Perú	15
2.3.1.3 Procesos de concentración mineral	18
2.3.2 Técnicas analíticas utilizadas	27
2.3.2.1 Qemscan (“Quantitative Evaluation of Minerals by Scanning Electron Microscopy”)	27
2.3.2.2 Microscopia	27
2.3.2.3 Difracción de Rayos X	30
2.3.2.4 Pruebas de flotación de minerales	32
2.3.3 Programa QA/QC	34
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	36
3.1 Tipo y Diseño de Investigación	36

3.1.1. Tipo de investigación.	36
3.1.2 Diseño de Investigación.	37
3.2 Unidad de análisis	39
3.3 Población de estudio	39
3.4 Tamaño y Selección de muestra	39
3.5. Técnicas de recolección de datos, análisis e interpretación de la información	41
3.5.1. Condiciones de las muestras	41
3.5.1.1 Mineralogía para caracterización Minerales por Qemscan.	41
3.5.1.2 Mineralogía para caracterización microscópica.	42
3.5.1.3 Preparación de muestras para análisis por difracción de rayos X de polvo	43
3.5.1.4. Preparación Mecánica de las Muestras (Flotación – Work Index)	43
3.5.2 Método de análisis de datos	45
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
4.1. Análisis de Resultados, interpretación y discusión de resultados	47
4.1.1 Modelo de Análisis	47
4.1.1.1 Analisis de la Caracterización Química	48
4.1.1.2 Analisis de las Pruebas de Flotación Cinética Rougher	51
4.1.1.3 Analisis de las Pruebas de Flotación de Limpieza	53
4.1.2 Interpretación de resultados	62
4.1.2.1 Evaluación de Resultados	64
4.1.3 Discusión de resultados	69
4.1.3.1 Validez Interna	69
4.1.3.2 Validez externa	71
4.1.3.3 Integración	71
4.2. Pruebas de hipótesis	72
4.2.1. Hipótesis general:	72
4.2.2 Hipótesis específicas:	72
4.2.3 Identificación de variable:	73
4.2.3.1 Variable Independiente	73
4.2.3.2 Variable Dependiente	73
4.3. Presentación de resultados	75
4.3.1 Identificación de muestras	75
4.3.2 Resultados de los Análisis Mineralógicos	79

4.3.3 Resultados de las pruebas de análisis químico y difracción de rayos X	97
4.3.4 Resultados de análisis de Qemscan	103
4.3.5 Resultados de pruebas de flotación	121
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	127
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS	129
ANEXO	

LISTA DE CUADROS

- *Cuadro 1: Producción nacional de cobre según método de beneficio empleado en el periodo 2016-2020*
- *Cuadro 2: Tipos de alteraciones principales con mineralogía típica, impacto en un circuito de molienda y flotación y potencial económico inferido*
- *Cuadro 3: Descripción general de algunos minerales comunes en los depósitos de pórfido de cobre, con una indicación de la zona(s) en la que suelen ocurrir*
- *Cuadro 4: Ejemplos de varias texturas de mineral comunes que pueden impactar el procesamiento.*
- *Cuadro 5: Resumen de las siete causas comunes de baja calidad en el concentrado y pérdidas en la flotación.*
- *Cuadro 6: Tipo y Diseño de Investigación*
- *Cuadro 7: Método de investigación*
- *Cuadro 8: Técnicas de recolección de datos.*
- *Cuadro 9: Resumen de análisis químico*
- *Cuadro 10: Promedio de ley de cobre, hierro, plata, oro y azufre total*
- *Cuadro 11: Factor K*
- *Cuadro 12: Condiciones para Pruebas Cinéticas Rougher*
- *Cuadro 13: Rango de cobre –colector Z-11*
- *Cuadro 14: Pruebas de optimización*
- *Cuadro 15: Recuperación menores a 80%*
- *Cuadro 16: Recuperación menores a 80% a 85%*
- *Cuadro 17: Grado de liberación en la muestra de relave 20845003*
- *Cuadro 18: Recuperación menores a 86% a 90%*
- *Cuadro 19: Recuperación mayores a 91%*
- *Cuadro 20: Estadística*

- **Cuadro 21: Descripción de tipo de roca y fotografía de la muestras y resultados de análisis químico de cobre (%).**
- **Cuadro 21: Descripción de tipo de roca y fotografía de la muestras y resultados de análisis químico de cobre (%). (Continuación)**
- **Cuadro 21: Descripción de tipo de roca y fotografía de la muestras y resultados de análisis químico de cobre (%). (Continuación)**
- **Cuadro 21: Descripción de tipo de roca y fotografía de la muestras y resultados de análisis químico de cobre (%). (Continuación)**
- **Cuadro 22: Las muestras de roca contienen los principales minerales de mena y ganga**
- **Cuadro 23: Resumen de mineralogía de mena y ganga - Muestra AN17-76 275.65**
- **Cuadro 24: Las muestras de roca contienen los principales minerales de mena y ganga**
- **Cuadro 25: Resumen de mineralogía de mena y ganga - Muestra AN17-76 (178.37)**
- **Cuadro 26: Las muestras de roca contienen los principales minerales de mena y ganga**
- **Cuadro 27: Resumen de mineralogía de mena y ganga - Muestra ATA-032 (203.76)**
- **Cuadro 28: Las muestras de roca contienen los principales minerales de mena y ganga**
- **Cuadro 29: Resumen de mineralogía de mena y ganga - Muestra ATA-057 274.85**
- **Cuadro 30: Resultados de las pruebas de análisis químico**
- **Cuadro 31: Resultados de la difracción de Rayos X**
- **Cuadro 32: Resumen de resultados de la difracción de Rayos X.**
- **Cuadro 33: Resultados comparativos de análisis químico vs TIMA**
- **Cuadro 34: Resultados comparativos de análisis químico vs TIMA**
- **Cuadro 35: Resultados del análisis Modal**
- **Cuadro 36: Resultados del análisis Modal (Continuación)**

- *Cuadro 37: Resultados del análisis Department*
- *Cuadro 39: Distribución de tamaño de las partículas*
- *Cuadro 40: Mineralogía normalizada al cobre en muestras de cabeza*
- *Cuadro 41: Grado de liberación de minerales de cobre normalizado de relaves*
- *Cuadro 42: Resultados de Asociaciones normalizado de sulfuros de cobre (cabeza)*
- *Cuadro 42: Resultados de las pruebas de flotación de cobre, oro, plata.*
- *Cuadro 43: Resultados de las pruebas de flotación de Limpieza de cobre y hierro.*
- *Cuadro 44: Mineralogía normalizada al cobre en muestras de relaves*
- *Cuadro 45: Grado de liberación de minerales de cobre normalizado de relaves*
- *Cuadro 46: Resultados de grado liberación para sulfuros de cobre (cabeza)*
- *Cuadro 47: Resultado de Análisis de grado liberación para sulfuros de cobre (relaves)*

LISTA DE FIGURAS

- **Figura 1. Exportaciones de cobre 2011-2020.** *Fuente:* Anuario Minero 2020, p 63. Ministerio de Energía y Minas, (2021).
- **Figura 2: Las texturas del mineral pueden ser equigranulares (derecha) con granos de tamaño similar, o inequigranular donde los minerales tienen dos o más distribuciones de tamaño (izquierda y centro).**
- **Figura 3 - Ejemplo de cómo la deposición de cobre a través de múltiples minerales y texturas influirá directamente en el tamaño de molienda objetivo y el potencial de liberación.** *Fuente:* Evans (2010).
- **Figura 4: Principales Batolitos del Perú.** *Fuente:* Atherton (1990) modificado por Iriarte (2020)
- **Figura 5: Cluster del Batolito de Andahuaylas-Yauri.** *Fuente:* Perelló et al. (2003)
- **Figura 6: Recuperación vs ley.**
- **Figura 7: Imagen de microscopio electrónico de barrido de dos granos de las muestras de residuos recolectadas durante los estudios de plantas en Kennecott Utah Copper Corporation (KUCC). (A) Grano de calcopirita y (B) una partícula de 'insol' con precipitados finos y finos en la superficie.** *Fuente:* Bradshaw, Triffett y Kashuba (2011).
- **Figura 8 - Ejemplos de minerales de sulfuro de cobre alojados dentro de la pirita en el mineral de la Cúpula oeste de Telfer.** *Fuente:* Seaman et al, 2012a.
- **Figura 9: Microscopio electrónico.** *Fuente:* (Dexter, 2020)
- **Figura 10: Funcionamiento por dentro de un microscopio electrónico de barrido.** *Fuente.* (Dexter 2020)
- **Figura 11: Difractómetro de polvo típico.**
- **Figura 12: Portamuestras de difracción de polvo,** *Fuente:* USGS (2020)
- **Figura 13: Proceso de estudios de caracterización mineralógica generalizada.** *Fuente:* Instituto de Geología Económica Aplicada-Chile (2013), Proceso de estudios de caracterización mineralógica (p. 5), por

dominio público.

- *Figura 14: Equipo de Qemscan. Fuente: Advanced Mineralogy Facilities (2021)*
- *Figura 15: Secciones analizadas por el microscopio electrónico de barrido (Izq.). Secciones delgadas pulidas (Der.)*
- *Figura 16: Divisor Rotatorio*
- *Figura 17: Esquema de proceso de Flotación Cinética Rougher*
- *Figura 18: Histograma de ley de cobre (%)*
- *Figura 19: Ley de cabeza calculada vs Ley de cabeza con análisis químico.*
- *Figura 20: Histograma de Factor K*
- *Figura 21: Esquema de proceso para Pruebas de Flotación Cleaner (TCA)*
- *Figura 22: Ley cobre Concentrado VS Cu CN %*
- *Figura 23: Ley hierro Concentrado VS Cu CN %*
- *Figura 24: Rec. Estándar vs Rec. Optimizada*
- *Figura 25: Efecto en la recuperación por ley de Cu en Cabeza*
- *Figura 26: Efecto en la recuperación por Cu soluble en H₂SO₄*
- *Figura 27: Efecto en la recuperación por ley de Fe en Cabeza*
- *Figura 28: Efecto en la recuperación por ley de Fe en Cabeza*
- *Figura 29: Efecto del contenido de carbonatos*
- *Figura 30: Efecto del contenido de Ankerita*
- *Figura 31: Efecto del contenido de Arcillas*
- *Figura 32: Liberación mineral vs % R, en diorita*
- *Figura 33: Liberación mineral vs % R, en pórfidos*
- *Figura 34: Liberación mineral vs % R, en Skarn*
- *Figura 35: Liberación mineral vs % R, en stock work*
- *Figura 36: Work Index vs % R*
- *Figura 37: Work Index vs Tiempo de molienda*
- *Figura 38: Work Index por litologías vs % Recuperación*
- *Figura 39: Correlación de Pearson, Cobre de análisis químico vs cobre de análisis difracción.*
- *Figura 40: Rec. Estándar vs Rec. Optimizada*

- **Figura 41:** Minerales de ganga identificados como ferromagnesianos, plagioclasas, apatito, magnetita, feldespatos y carbonatos identificados como calcita.
- **Figura 42:** Imagen, composición y espectro de calcopirita
- **Figura 43:** Minerales de ganga identificados como esfena, ferromagnesianos alterados a clorita, carbonatos, plagioclasas y apatito.
- **Figura 44:** Imagen, composición y espectro de filosilicato identificado como clorita.
- **Figura 45:** Minerales de gangas identificados como baritina, carbonatos como calcita y siderita y cuarzo.
- **Figura 46:** Imagen, composición y espectro de carbonatos con contenidos de calcio, hierro y magnesio.
- **Figura 47:** Minerales de ganga identificados como plagioclasas, feldespatos, filosilicatos del grupo de las micas, cuarzo y carbonatos (calcita).
- **Figura 48:** Imagen, composición y espectro de calcosita (de la Figura 51).
- **Figura 49:** Imagen, composición y espectro de bornita (de la Figura 51).
- **Figura 50:** Histograma de %Cu, Ag g/t, Au g/t y %Fe
- **Figura 51:** Correlación de Pearson de Cobre.
- **Figura 52:** Análisis Modal
- **Figura 53:** Gráfico de distribución de Resultados comparativos de análisis químico vs TIMA de cobre y hierro.
- **Figura 54:** Gráfico de distribución de Resultados comparativos de análisis químico vs TIMA de cobre y hierro.
- **Figura 55:** Composición mineralógica – Alimentación
- **Figura 56:** Categoría Free: partículas liberadas mayor al 95% de su área
- **Figura 57:** Categoría Liberated: partículas liberadas <95% & >= 80% de su área.
- **Figura 28:** Categoría Midds: partículas liberadas <80% & >= 50% de su área.
- **Figura 59:** Categoría Sub-Midds: partículas liberadas <50% & >=20% de su área.
- **Figura 60:** Categoría Sub-Midds: partículas liberadas <20% de su área.
- **Figura 61:** Grado de Liberación de los minerales de cobre - Alimentación

- *Figura 62: Asociaciones mineralógicas de los sulfuros de cobre - Alimentación*
- *Figura 63: Análisis de la distribución de tamaño de las partículas*
- *Figura 64: Análisis de la distribución de tamaño de las partículas*
- *Figura 65: Gráfico de Resultados de Asociaciones normalizado de sulfuros de cobre.*
- *Figura 66: Gráfico de Resultados de Asociaciones normalizado de sulfuros de cobre (Continuación)*
- *Figura 67: Composición mineralógica – muestras de Relave*
- *Figura 68: Grado de Liberación de los minerales de cobre - muestras de relave*
- *Figura 69: Grado de Liberación de relave VS Ley Cu en relave*
- *Figura 70: Asociaciones mineralógicas de los sulfuros de cobre en muestras de relaves*

RESUMEN

Los procesos de beneficios de minerales de cobre deben ser evaluados en forma rutinaria y continuamente para obtener resultados eficientes. La caracterización mineralógica se ha convertido en un proceso de diagnóstico teniendo en cuenta tres grandes procesos como son: Identificación de los minerales, cuantificación de los minerales y por último las razones de las dificultades en la flotación de los minerales económicos.

La investigación tuvo como objetivo analizar la caracterización mineralógica; luego contrastar el comportamiento de los minerales en el proceso de flotación de minerales en los yacimientos de pórfidos de cobre relacionados con un Batolito y con ello implementar mejoras.

Las técnicas utilizadas fueron la difracción de rayos X, microscopía óptica-electrónica (SEM-QEMSCAN) y análisis químico. Otorgaron una confiabilidad y un soporte para determinar cualitativa y cuantitativamente las fases minerales que ocasionan problemas en la flotación de minerales de cobre.

Las características mineralógicas son la clave que influyen en la recuperación de cobre y en el grado en el concentrado. Para esta investigación los principales minerales de mena (cobre) son: calcopirita, y trazas de bornita. Siendo la ley promedio de cobre de 0.3968 mientras que los principales minerales de ganga asociados a la mena son: cuarzo, plagioclasas (minerales de dureza > 6 en la escala de Mohs), carbonatos y ferromagnesianos. Las cloritas y Ferromagnesianos, generan problemas reológicos, baja calidad de la espuma, tiempos largos de sedimentación, absorben bastante agua generando que la cantidad de filtros aumente, y presentan alta flotabilidad perjudicando la recuperación del cobre. Los minerales de ganga como los carbonatos (calcita), generan efectos de variaciones del pH en el proceso y problemas en la formación de las burbujas, por lo que la dosificación del espumante aumenta. A partir de las pruebas de optimización los resultados de caracterización mineralógica que se emplearon para un mejor entendiendo de las propiedades del mineral resultaron positivas con un aumento de la recuperación del 3.06%, es decir de 83.95% Rec. Cu a 87.17%.

La conclusión principal es que la caracterización mineralógica abarca actividades que utilizan una mejor comprensión de las propiedades del mineral y los residuos, que impactan positiva o negativamente en el valor del producto. Las propiedades no solo incluyen aquellas que impactan en la eficiencia del procesamiento, sino también aquellas de materiales que impactarán en otras acciones tales como estabilidad de rocas, granallado y eliminación de desechos. Las empresas que adoptan el enfoque geometalúrgico podrán integrar la información geológica, mineralógica y metalúrgica lo cual permitirá predecir cuantitativamente la gestión de la producción.

Palabras claves: Cobre, mineralogía, microscopía, recuperación.

ABSTRACT

Copper ore beneficiation processes must be routinely and continuously evaluated for great results. Mineralogical characterization has become a diagnostic process having three major processes such as: Identification of minerals, determination of minerals and finally the reasons for the inconveniences in the flotation of economic minerals.

The objective of this research was to analyze the mineralogical characterization; then to contrast the behavior of the minerals in the process of flotation of minerals in the copper porphyry deposits related to a Batholith and to implement improvements.

The objective of this research was to know the behavior and analyze the influence of the mineralogical characterization in the mineral flotation process in the porphyry copper deposits related to a Batholith.

The techniques used were X-ray diffraction, optical-electron microscopy (SEM-QEMSCAN) and chemical analysis. They provided reliability and support to determine qualitatively and quantitatively the mineral phases that cause problems in the flotation of copper minerals.

Mineralogical factors are the key influencing the recovery of copper and the degree in the concentrate. For this research the main ore ores (copper) are: chalcopyrite, and traces of bornite. The average copper grade is 0.3968, while the main ganga minerals associated with the ore are: quartz, plagioclase (minerals of hardness > 6 on the Mohs scale), carbonates and ferromagnesians. The chlorites and Ferromagnesians, generate rheological problems, low quality of the foam, long sedimentation times, absorb enough water generating that the amount of filters increases, and present high buoyancy harming the recovery of copper. Ganga minerals such as carbonates (calcite), generate effects of pH variations in the process and problems in the formation of bubbles, so the dosage of the foam increases. From the optimization tests the results of mineralogical characterization that were used for a better understanding of the properties of the mineral were positive with an increase of the recovery of 3.06%, or 83.95% Rec. Cu to 87.17%.

The main conclusion is that mineralogical characterization encompasses activities that utilize a better understanding of the properties of the ore and residues, which impact

positively or negatively on the value of the product. The properties include not only those that impact the processing efficiency, but also those of materials that will impact other actions such as rock stability, blasting and waste disposal. Companies adopting the geometalúrgic approach will be able to integrate geological, mineralogical and metallurgical information, which will allow quantitative prediction of production management.

Keywords: Copper, mineralogy, microscopy, recovery.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Situación Problemática

En el año 2021, la industria minera de los yacimientos tipo pórfidos de cobre, procesan minerales complejos y de baja ley (Romero Toledo, 2017). Uno de los problemas relacionados a esta práctica, es el tipo de mineral, perjudicando el tratamiento minero – metalúrgico que incide en el consumo de energía excesiva y en la recuperación crítica de minerales económicos (Mudd, 2019). Los minerales como las gangas (silicatos-carbonatos) generan un problema, esto es a causa de su adherencia predominante a la superficie de las burbujas, la que "aparta" a los minerales de cobre recolectados a las burbujas, siendo analizado por diferentes investigadores (p. Ej., Hagni, 1982; Henley, 1983; Hagni, 1986; Baum et al., 2004). Las impurezas en los concentrados de cobre representan problemas críticos, los cuales, además de ser penalizados en los pagos, pueden significar una emisión de contaminantes al medio ambiente y perjuicios a la salud de las personas (Tchobanov, 2016).

En el Perú toda operación minera, presenta variabilidad natural de las reservas mineras del plan de producción que, de no ser gestionadas oportunamente, generan efectos críticos sobre los indicadores técnicos del proceso como es la flotación; y finalmente en la rentabilidad del negocio minero. En particular, en el proceso de concentración de minerales, una de las variables importantes que influyen en la eficiencia de recuperación, es la granulometría del mineral

alimentado a flotación, siendo el grado de liberación de las partículas, la calidad del concentrado y el contenido de pirita. Los datos empíricos muestran que las principales causas de pérdida de recuperación, están en los extremos de la distribución granulométrica. Un factor importante en la recuperación de cobre es el tamaño de partícula, las fracciones de partículas finas ($<20\ \mu\text{m}$), la recuperación disminuye a valores inferiores al 50% esto debido al comportamiento de fluido dinámico, mientras que el otro extremo para fracciones gruesas ($> 150\ \mu\text{m}$) la recuperación de cobre es menor al 50% esto debido a un déficit del grado de liberación (Concha, 2013).

Existe un problema al predecir el espectro de liberación que se produce cuando los procesos de concentración ocurren simultáneamente al de reducción de tamaño. Un deficiente conocimiento de la caracterización mineralógica tiene como resultado un inadecuado procesamiento de menas, presentando una molienda excesiva e innecesaria y con ella costos que debieron ser evitados, mientras que una molienda insuficiente conducirá a una deficiente liberación.

1.2 Formulación del Problema

1.2.1 Problema General

¿De qué manera influye la falta de análisis de la caracterización mineralógica en el proceso de flotación de minerales en la explotación de los pórfidos cobre en un batolito?

1.2.2 Problema Específico

¿Cómo se influye el deficiente análisis de la caracterización de las especies mineralógicas, el grado de liberación, tamaño de grano y las asociaciones por análisis en los procesos metalúrgicos como consecuencia de la mineralogía que presenta en los yacimientos de pórfidos de cobre y que concentraciones críticas provocan problemas en la recuperación de cobre?

1.3 Justificación Teórica

La investigación propuesta aborda la aplicación de conceptos teóricos y considera la existencia de diferentes enfoques: modelos de análisis, optimización y consolidación de información teórica desde el sistema de la mineralización de los pórfidos de cobre y la recuperación de minerales con la finalidad de facilitar el entendimiento y manejo, en una realidad concreta.

1.4 Justificación Práctica

En el empleo de aspectos cuantitativos; los cuales constituyen en herramientas, para realizar el análisis cualitativo de la causalidad y efecto para la comprensión y resolución de problemas durante las etapas del procesamiento de minerales, como la flotación. El conocimiento y seguimiento de la mineralogía cualitativa y cuantitativa permitirá un análisis para optimizar etapas de procesamiento y concentración de los minerales.

Las empresas mineras que procesan minerales sulfurados como son los yacimientos de cobre, en caracterización mineralógica de procesos se obtienen datos cuantitativos sobre los rasgos mineralógicos influyentes en el comportamiento de los minerales. En la investigación, las técnicas mineralógicas permitirán proporcionar gran cantidad de datos mineralógicos de manera rápida y precisa.

1.5 Justificación Económica

La investigación tiene un enfoque en la industria de cobre debido a que este metal es el más importante dentro de las exportaciones nacionales. La flotación de minerales fue el método más usado para la recuperación de este metal. El ministerio de Energía y Minas, en el anuario minero 2020, publicó la producción nacional de cobre, ver cuadro 1, donde se observa que el método de beneficio empleado en el 2020 fue el de flotación para el caso del cobre, con un 97.3%.

Cuadro 1. Producción nacional de cobre según método de beneficio empleado en el periodo 2016-2020

PROCESO	2016		2017		2018		2019		2020	
TOTAL	2,353,859		2,445,585		2,437,035		2,455,440		2,150,126	
FLOTACIÓN	2,279,974	97%	2,383,140	97%	2,370,759	97%	2,389,102	97%	2,082,996	97%
LIXIVIACIÓN	76,854	3%	62,414	3%	66,257	3%	66,295	3%	63,432	3%
GRAVIMETRIA	31	0%	31	0%	18	0%	42	0%	3,698	0%

Fuente. Anuario Minero 2020 (p. 65). Ministerio de Energía y Minas, (2020)

En las exportaciones cobre en el periodo 2011-2020, ver Figura 1, se representa las exportaciones de cobre de Perú, el volumen en millones de toneladas métricas (TM) y la cotización del precio del cobre (centavos de dólar por libras CTVS.US\$/LB), donde alcanzó el 57.4% de las exportaciones mineras (US\$ 12,742 millones), superior a las exportaciones de oro con 9.5% (US\$ 7,850 millones) (Ministerio de Energía y Minas, 2021).

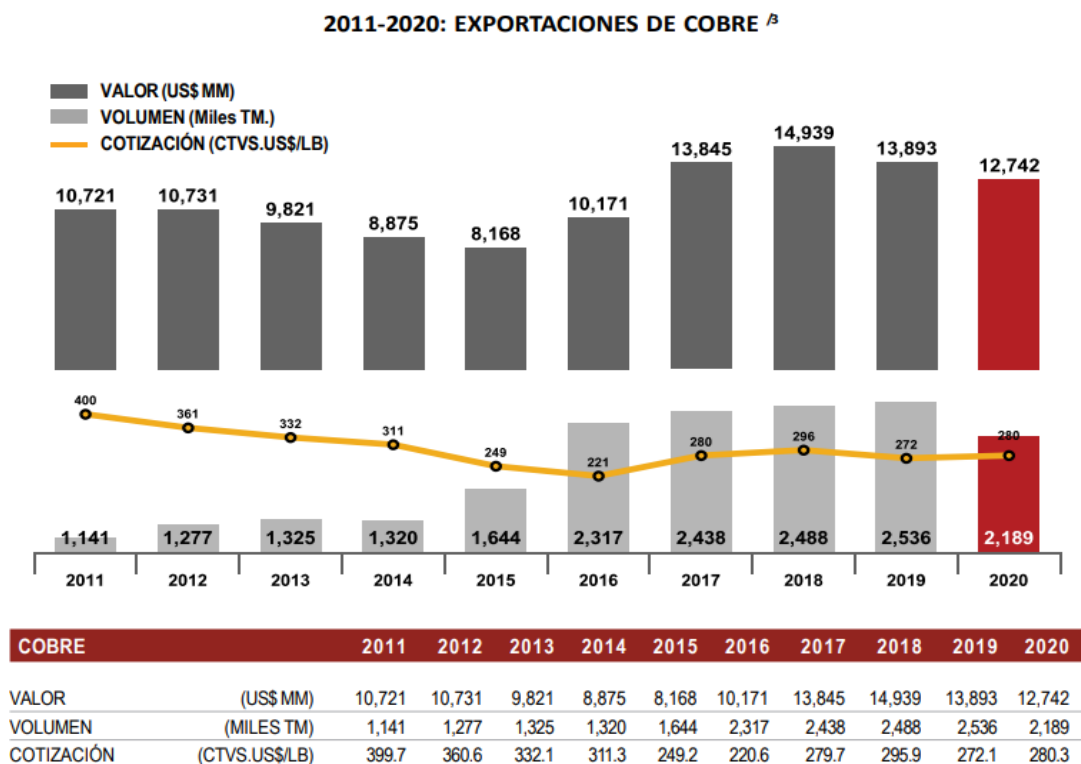


Figura 1. Exportaciones de cobre 2011-2020. *Fuente:* Anuario Minero 2020, p 63. Ministerio de Energía y Minas, (2021).

En cuanto a las perspectivas de producción de cobre para el 2021, existen proyectos como: Tía María (Arequipa), Mina Justa (Ica), Pulkaqaqa (Huancavelica), Magistral (Áncash) y Río Blanco (Piura) que representan una inversión en conjunto de US\$ 6,014 millones e iniciarán operaciones entre el 2021 y 2024. En el caso de proyectos la ampliación está: La Arena (La Libertad), Toromocho (Junín) y Conga (Cajamarca) que estarían empezando operaciones entre 2021 y 2022, representando una inversión total de US\$ 6,346 millones (Rodríguez, J., Mendez, M., Suclupe, P, Chávez D, & Campaña, G., 2020).

Los yacimientos descritos se encuentran relacionados a pórfidos de cobre en batolitos, los cuales han producido el 82% del cobre en el Perú (Acosta, Cardozo, & Bustamante, 2019).

1.6 Objetivos de la Investigación

1.6.1 Objetivo General

Analizar la importancia de efectuar la caracterización mineralógica en el proceso de flotación en yacimientos tipo pórfido de cobre que esté relacionado al Batolito.

1.6.2 Objetivos Específicos

Analizar los efectos de la caracterización de las especies mineralógicas, el grado de liberación, tamaño de grano y asociaciones por análisis (Microscopía óptica, microscópica, Qemscan) que contribuyen a optimizar la flotación de yacimientos de pórfidos de cobre, determinando las concentraciones críticas que provocan problemas de recuperación.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Marco epistemológico de la investigación

A inicios del siglo XX, los estudios mineralógicos de menas fueron una herramienta utilizada por algunos geólogos para poder determinar las paragénesis minerales y la génesis de yacimientos.

Los primeros autores que empezaron a utilizar los estudios mineralógicos como fuente de información para los metalurgistas fue Schwartz (1923), quién a su vez, cita el trabajo de Head (1921) como la única información que analiza la aplicación del análisis mineralógico para establecer el tratamiento de una determinada mena mediante flotación. Cuando se desarrolló la flotación se impulsó la aplicación de estudios mineralógicos para su aplicación en el procesamiento de minerales. A partir de esto la mineralogía empezó a utilizarse como algo habitual al momento de establecer parámetros de funcionamiento de los circuitos de flotación de minerales. Schwartz (1938) elaboró una guía de estudio que permitía determinar las propiedades mineralógicas a observar en un estudio metalúrgico. La guía de estudio fue estudiada por otros autores, como son: Edwards (1965), Freund (1966), Ramdohr (1980), que entendieron la importancia de los estudios mineralógicos en los procesos de concentración de minerales. También los mineralogistas y geólogos de ese momento realizaron estudios y publicaron la influencia de la mineralogía en los procesos de concentración de minerales, existen obras que tratan sobre los análisis mineralúrgicos en la Flotación (Gaudin, 1932) y “Principles of mineral dressing” (Gaudin, 1939) el mismo que resalta la importancia de la mineralogía de procesos. Es este último, Gaudin

(1939) fue el primero en plantear un modelo matemático para determinar la liberación mineral y en describir técnicas de medida aplicadas a la liberación de menas. Para modelar es necesario obtener datos cuantitativos, entonces Gaudin introduce la obligación de cuantificar las propiedades minerales. Pero Gaudin no podría hacerlo ya que no tenía los instrumentos necesarios para obtener de forma continua un número suficiente de datos, en la práctica la utilidad de los análisis de liberación no llegaba a concretarse (King and Schneider, 1998). Aún con las limitaciones Gaudin aportó a la mineralogía de procesos significativos.

A inicios de la segunda mitad del siglo XX se empezó a realizar el contador de puntos para estudios de mineralogía de procesos (Chayes, 1949). Los mayores avances se dieron a partir de los años 60, fundamentalmente impulsados por la utilización de analizadores de imagen fundados en equipos de TV y programas informáticos y al desarrollo de ordenadores, asistidos en la morfología matemática (Serra 1982) y estereología cuantitativa (Underwood, 1970). El análisis digital de imagen empieza en los años 70 y aparecen sistemas semiautomáticos que se centran en microscopía óptica como “Imanco Quantimet 720 o Leitz Tax -Texture Analyzing System” (Henley, 1983). Luego aparece “Geoscan- Minic”, uno de los primeros sistemas de análisis de imágenes centrado en el uso de microsonda electrónica e imágenes digitales (Jones y Shaw, 1973). En la década de los 80 CSIRO desarrollo uno de los primeros equipos llamado QEM*SEM (“Quantitative evaluation of mineralogy by scanning electron microscope”) (Miller et al., 1982), en cuya tecnología se apoya QEMSCAN (“Quantitative evaluation of mineralogy by scanning electron microscope”). CANMET desarrolla un sistema de análisis de imagen apoyado en la microscopía electrónica (“MP-SEM-IPS image analysis system”) (Petruk, 1987), con singularidades parecidas al actual MLA (“Mineral Liberation Analyzer”) desarrollado por el JKMRC (“Universidad de Queensland, Australia”) (Gu, 2003) y que salió a la venta a inicios del año 2000.

A inicios del siglo XXI la mineralogía de procesos se empezó a afianzar como una herramienta crucial en el ámbito minero debido básicamente a la emergencia de la Geometalurgia (Jackson et al., 2011; Dunham et al., 2011). “Dada la enorme cantidad de información que se necesita por esta disciplina, tanto el hardware como el software de los sistemas automatizados (QEMSCAN y MLA) se encuentran en permanente

evolución. Por otro lado, la necesidad de información cada vez más exacta está estimulando la aparición de técnicas de análisis de mineralogía en tres dimensiones, como puede ser la tomografía de Rayos-X” (Miller y Lin, 2012).

2.2 Antecedentes del Problema

En primer lugar, es posible referenciar a Barnuevo, L. P. (2014) en su tesis doctoral hace referencia al desarrollo de un método para caracterizar automáticamente el tipo de intercrecimiento que un determinado mineral presenta en las partículas minerales. “Esta caracterización, que debe incluir tanto la identificación del tipo de intercrecimiento como su cuantificación en términos mineralúrgicos, es especialmente importante a la hora de predecir el comportamiento de las partículas minerales durante molienda o remolienda, flotación y lixiviación, por lo que este trabajo se centra inicialmente en la caracterización de los tipos de intercrecimiento más significativos para estos procesos de tratamiento mineral. Los resultados fueron que la caracterización del tipo de intercrecimiento es necesaria cuando existe textura compleja y alto grado de encapsulamiento. En ese caso, la información derivada de las curvas de liberación puede conducir a error, ya que si el mineralurgista se apoya únicamente en los datos de liberación volumétrica esperará obtener una recuperación mayor que la que realmente podrá alcanzar”. En estos casos, el método desarrollado resulta especialmente útil, ya que proporciona información detallada sobre las características texturales de las partículas en cada tramo de la curva de liberación.

Igualmente, Alexandrov Tchobanov, V. (2016) en la investigación se resaltó el objetivo de enlazar el grado de liberación de sulfuros de Cobre con la información mineralógica y textural de Qemscan, la información de dureza, BWI y SPI, y la definición mineralógica y textural de las secciones transparentes y pulidas disponibles. Los resultados muestran que la liberación >90% del global está controlada por la liberación >90% en los tamaños menores a 150µm., y guarda poca relación con los tamaños mayores a 150µm. Por esto, se concluye que la liberación se ubica entre el tamaño -1000/+150 y -150/+53 µm.

En el artículo de Tijsseling, L. T., Dehaine, Q., Rollinson, G. K., & Glass, H. J. (2020) explora la complejidad de modelar la flotación de mineral de sulfuro de cobre-cobalto

en función de la mineralogía de alimentación, que será la única variable cambiante en los experimentos. Se investigará la relación entre la mineralogía cuantitativa obtenida con Qemscan y la constante de velocidad, la recuperación de equilibrio y la ley final del proceso de flotación. Esta investigación explora la complejidad de modelar la flotación de mineral de sulfuro de cobre-cobalto en función de la mineralogía de alimentación, que será la única variable cambiante en los experimentos. Se investigará la relación entre la mineralogía cuantitativa obtenida con Qemscan y la constante de velocidad, la recuperación de equilibrio y la ley final del proceso de flotación.

Así mismo es posible referenciar a Manzaneda, J., (2002) en su investigación tenía como objetivo la aplicación de la microscopía óptica con el criterio de grado de liberación como una herramienta importante para la toma de decisiones y los resultados obtenidos fueron la regresión lineal de los elementos químicos aplicados al criterio mineralógico y posterior estudio de la microscopía óptica.

También se puede referenciar a Contreras S. (2019), en su investigación tuvo como objetivo Caracterizar el efecto de la composición de la fracción arcillosa, y salinidad del medio, sobre los parámetros reológicos de suspensiones de relaves, provenientes de la explotación y procesamiento de yacimientos tipo pórfido cuprífero, utilizando relaves sintéticos. Su resultado fue Respecto a los factores que determinan el comportamiento reológico de suspensiones arcillosas, luego de la concentración volumétrica, la mineralogía constituyente resultó ser determinante. Las muestras con bentonita exhibieron tensiones de frecuencia considerables desde concentraciones volumétricas bajas, incluso generando para MQ (10% bentonita) equivalentes a KK (20% caolinita). Las relaciones entre caolinita y bentonita, y arcillas y cuarzo no son aditivas, dando cuenta de interacciones no lineales entre las especies constituyentes. En términos de estabilidad derivada de la potencial zeta, las suspensiones híbridas MK se comportan más bien como bentonitas, sin embargo, la respuesta reológica mostró ser mucho menos sensible al contenido de esta última, pareciéndose a la respuesta de la caolinita pura. Se mostró además la potencialidad de aprovechar la no linealidad de las interacciones para conseguir tratar minerales arcillosos mezclándolos con otros que son comparativamente inocuos, reduciendo los esfuerzos de frecuencia que las suspensiones exhiben en estado puro considerablemente.

Por último, Cardenas del Rio E. (2015) en su investigación presenta como objetivo el estudio es definir criterios parámetros geoquímicos de caracterización mineral cuantitativa para su posterior uso en modelamiento espacial. “De esta manera, se plantea construir un modelo cuantitativo de alteraciones hidrotermales basado en datos geoquímicos, mineralógicos y mapeo de sondajes para ser utilizado en la predicción del comportamiento del material durante el procesamiento metalúrgico”. Uno de los resultados fue los datos geoquímicos y mineralógicos indican que las alteraciones hidrotermales tendrían una evolución propia de un sistema de tipo pórfido cuprífero caracterizadas por un núcleo potásico con sobreimposición filica a medida que la distancia aumenta a partir de éste. “La alteración SCC es una zona de alteración caracterizada por variaciones de la razón clorita: sericita con la distancia al núcleo potásico, aumentando la predominancia de la sericita. Este comportamiento se aprecia en la unidad de lavas andesíticas, en la cual se predomina la alteración filica a medida que aumenta la distancia de la unidad de pórfido feldespático”.

2.3 Bases Teóricas

2.3.1 Mineralogía y el proceso productivo

La mineralogía de procesos proporciona información mineralógica necesaria para desarrollar y optimizar los procesos de flotación mineral (Barnuevo, L. P., 2014).

Los procesos productivos se soportan en datos mineralógicos diferentes y cada proceso demanda una caracterización mineralógica específica, es por este motivo que la mineralogía de procesos proporciona la información necesaria en cada etapa del proceso. De esta manera, se tendrá información sobre los minerales económicos y cuáles componen la ganga, grado liberación de la mena y los posibles procesos de concentración aplicables, la ley y la recuperación mineral en los concentrados, etc.

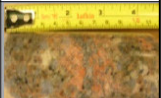
En las etapas de producción, la mineralogía de procesos brinda información sobre la calidad de los concentrados, posibles pérdidas de mineral económico detectadas en el residuo o de penalizaciones en el concentrado, o con el comportamiento de las partículas minerales en una etapa de remolienda, entre otras. En la etapa del proceso como son los relaves, el análisis mineralógico debe

anticipar posibles daños medioambientales mediante la caracterización del comportamiento del residuo (Barnuevo, L. P., 2014).

2.3.1.1 Mineralogía de Pórfidos de cobre

Para este trabajo se estudia específicamente los yacimientos de pórfidos de cobre A. Zonificación .- Las cuatro zonas comunes en la mayoría de los depósitos de pórfidos de cobre son: potásica, sericitica (filica), argílica y propilitica, aunque no siempre están presentes y/ o puede haber otras zonas (Lodder et al, 2010; Jorge, 1998; John, 1978; Cooke et al, 2006). Estas zonas distintas con su mineralogía característica, tienen diferentes requisitos de procesamiento (Yildirim, Bradshaw, Powell, & Clark, 2013), se proporciona un cuadro que resume los principales tipos de alteración-mineralización y algunas de sus implicaciones de procesamiento (con referencia específica a la molienda y la flotación), el cuadro 2 sería el siguiente:

Cuadro 2: Tipos de alteraciones principales con mineralogía típica, impacto en un circuito de molienda y flotación y potencial económico inferido

Tipo de alteración (nombre alternativo)	Posición en el sistema (abundancia)	Minerales esenciales	Ensamble de minerales esenciales	Potencial Económico	Efecto en Molienda	Efecto en Flotación	Foto de core
Potasico (K-silícico)	Zona Centrales de los porfidos de cobre	Biotita, feldespato potasico	Pirita, Calcopirita, bornita, digenita y chalcocita	Principal contribuyente de minerales	Alto	Bajo	
Cloritizacion-sericitica (arcillas-cloritas)	Partes superiores de Zonas núcleo de pórfido Cu	Clorita, sericitita, illita, hematita.	Pirita, Calcopirita	Contribuyente común de mineral	Moderado	Moderado	
Sericita (Filica)	Partes superiores de Zonas núcleo de pórfido Cu	Cuarzo, sericitita	Pirita, calcopirita, enargita, tenanita, bornita, esfarelita.	Contribuidor de mineral débil a moderado	Moderado	Moderado	
Argilico avanzado	Por encima de los depositos de porfidos de cobre, constituye lithocaps	Cuarzo, alunita, pirofilita, dickita, caolinita	Pirita, enargita, chalcocita, covelita	Localmente constituye mineral	Bajo	Alto	
Propilitico	Parte marginal de sistemas debajo de lithocaps	Actinolita, hematita, magnetita	Pirita, esfarelita, galena.	Estéril, poco probable que sea de grado mineral	N/A	N/A	
Sodico-Calcico	Profundo, incluso por debajo de los depositos de porfido de cobre (no comun)	Albita, oligoclasa, actinolita, magnetita	Tipicamente ausente	Estéril, poco probable que sea de grado mineral	N/A	N/A	

Nota: Las fotografías están tomadas de la mina de cobre de Highland Valley (Columbia Británica, Canadá), excepto la alteración sódica-cálcica, que es de un prospecto de pórfido de Cu en Turquía.

Fuente. Yildirim et al (2013), modificado por G. Iriarte (2021).

B. Mineralogía característica

La mineralogía de los depósitos de pórfido de cobre es variada en el Cuadro 2 tiene como objetivo resumir los minerales clave que se encuentran comúnmente en las tres zonas principales de mineral: potásico, sericitico y argílico.

Cuadro 3: Descripción general de algunos minerales comunes en los depósitos de pórfido de cobre, con una indicación de la zona(s) en la que suelen ocurrir

Assemblage	Typical minerals	Chemical composition	Potassic	Sericitic	Argillic
Primary Cu-bearing minerals	Chalcopyrite	CuFeS_2	✓	✓	
	Bornite	Cu_5FeS_4	✓		
Secondary Cu-bearing minerals	Diginite	Cu_2S_2	✓		
	Enargite	Cu_3AsS_4		✓	✓
	Tennantite	$(\text{Cu,Fe})_{12}\text{As}_4\text{S}_{32}$		✓	
	Chalcoite	Cu_2S			✓
	Covellite	CuS			✓
	Malachite	$\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$			✓
	Native Cu	Cu			✓
	Cuprite	Cu_2O			✓
	Enargite	Cu_3AsS_4			✓
	Chrysocolla	$(\text{Cu,Al})_2\text{H}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_2 \cdot n(\text{H}_2\text{O})$			✓
Other sulfides	Pyrite	FeS_2	✓	✓	✓
	Sphalerite	ZnS		✓	
	Galena	PbS		✓	
Gangue	Biotite	$\text{K}(\text{Mg,Fe})_2(\text{Al,Fe})\text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH,F})_2$	✓		⊕
	K-Feldspar	KAlSi_3O_8	✓		⊕
	Muscovite	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	✓	✓	
	Sericite	$\text{KAl}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	✓	✓	⊕
	Quartz	SiO_2	✓	✓	✓
	Chlorite	$(\text{Mg,Fe})_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	✓	✓	⊕
	Illite	$\text{K}_{0.9}\text{Al}_{1.1}\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$			⊕
	Phlogopite	$\text{KMg}_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH,F})_2$	✓		
	Anhydrite	CaSO_4	✓		
	Actinolite	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	✓		
	Epidote	$\text{Ca}_2\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_2(\text{OH})$	✓	✓	
	Albite	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	✓		
	Kaolinite	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$		✓	✓
	Montmorillonite	$(\text{Na,Ca})_{0.33}(\text{Al,Mg})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$		✓	⊕
	Calcite	CaCO_3		✓	
	Dolomite	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$			⊕
	Alunite	$\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$			✓
	Pyrophyllite	$\text{Al}_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2$			✓
	Hornblende	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5\text{AlSi}_8\text{O}_{22}(\text{OH,F})_2$			⊕
	Diaspore	AlO(OH)			⊕
	Dickite	$\text{Al}_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_4$			✓
	Tourmaline	$(\text{Ca,K,Na})(\text{Al,Fe,Mg,Mn,Li})(\text{Al,Cr,Fe,V})_3(\text{BO}_3)\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH,F})_4$	✓	✓	⊕
	Corundum	Al_2O_3			⊕
	Topaz	$\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_2(\text{F,OH})_2$			⊕
	Magnetite	$\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$	✓		
	Hematite	Fe_2O_3		✓	

✓ Indicate common mineralogy; ⊕ indicate less common mineralogy.

Fuente: Composiciones de <http://mindat.org>.

C. *Texturas del mineral*

La configuración geológica y la historia de la alteración influirán en la textura del mineral. Amstutz (1961) introduce el concepto de clasificación de las texturas de grano de mineral y su vinculación a las características de transformación (Cuadro 4), mientras que Butcher (2010) describe la distribución del tamaño de los minerales como equigranular o inequigranular y proporciona un ejemplo de cambio de textura a través de la oxidación (Figura 3).

Cuadro 4: Ejemplos de varias texturas de mineral comunes que pueden impactar el procesamiento.

Tipo	Microestructura típica	Descripción
Tipo 1a		Intercrecimiento simple o Tipo de bloqueo; límites rectilíneos o suavemente curvados. Tipo más común, muchos ejemplos.
Tipo 1b		Moteados, manchados o ameba-Tipo bloqueo o intercrecimiento. Patrón común simple; muchos ejemplos.
Tipo 1c		Tipo gráfico, mirmekítico o eutéctico. Común; ejemplos: calcopirita y estannita; cuarzo y feldespatos, etc.
Tipo 1d		Tipo diseminado, en forma de emulsión, en forma de gota, perdigones o salpicado. Común; ejemplos: calcopirita en esfalerita; y sericita, etc. en feldespatos.
Tipo 2a		Recubierto, manto, envuelto, en forma de corona, borde, anillo, concha o atolón. Ejemplos: calcocita o covellita alrededor de pirita, esfalerita, galena.
Tipo 2b		Concentrilo-esferulítico o múltiple Tipo. Bastante común; ejemplos: uraninita con galena, calcopirita, bornita.
Tipo 3a		En forma de vena, en forma de larguerrillo o en sandwich Tipo. Común; ejemplos: molibdenitapirita; silicatos; carbonatos; fosfatos, etc.
Tipo 3b		Laminillas, estratificadas o poli-sintético Tipo. Menos común; ejemplos: pirrotita-pentlandita; cloritas-arcillas, etc.
Tipo 3c		Tipo de Red, boxwork o Tipo Widmanstatter. Menos común; ejemplos: heam atita-ilmenita-magnetita; bornita o cubanita en calcopirita, etc.

Fuente: Evans (2010) basado en el trabajo de Amstutz (1961).

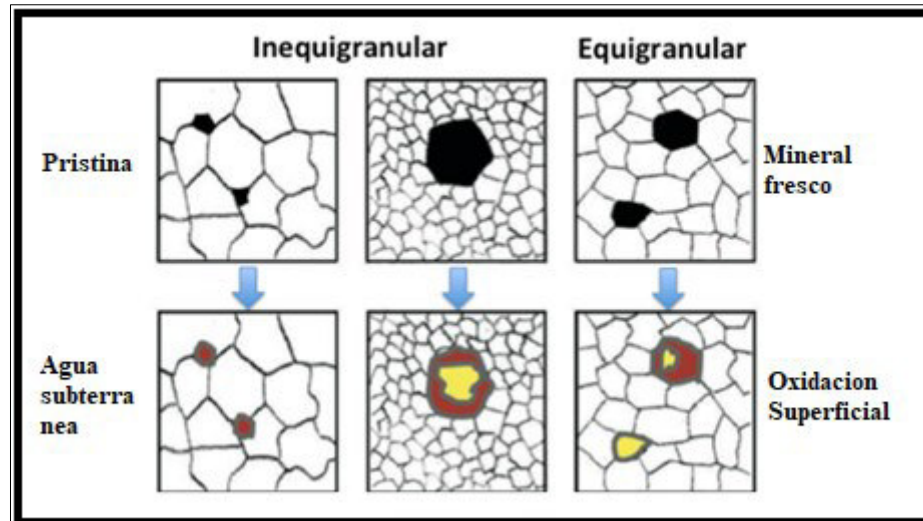


Figura 2: Las texturas del mineral pueden ser equigranulares (derecha) con granos de tamaño similar, o inequigranular donde los minerales tienen dos o más distribuciones de tamaño (izquierda y centro). La fila inferior de ejemplos muestra cómo prístino (fila superior) texturas pueden ser alteradas por las aguas subterráneas y la oxidación.

Fuente: Butcher, (2010).

A modo de aclaración, en este trabajo un grano se clasifica como un solo mineral, mientras que una partícula se compone de uno o más granos de mineral. A continuación, se hace referencia a las texturas del mineral y como influenciara:

- Tamaño de partícula ideal para la alimentación de flotación
- Grado de liberación del mineral(s) objetivo, tamaño de partícula ideal
- área superficial específica de fase del mineral(s) objetivo disponible para la interacción de burbujas
- Cantidad de finos
- Número y tipo de partículas compuestas.

El cobre en los depósitos de pórfido, por ejemplo, puede contener muchos minerales, como lo demuestra Butcher (2010) modificado de Evans (Figura 4), cada uno de los cuales puede tener distribución equigranular o inequigranular, tienen múltiples texturas y/o han sufrido alteraciones posteriores; lo que lleva a otras complejidades texturales.

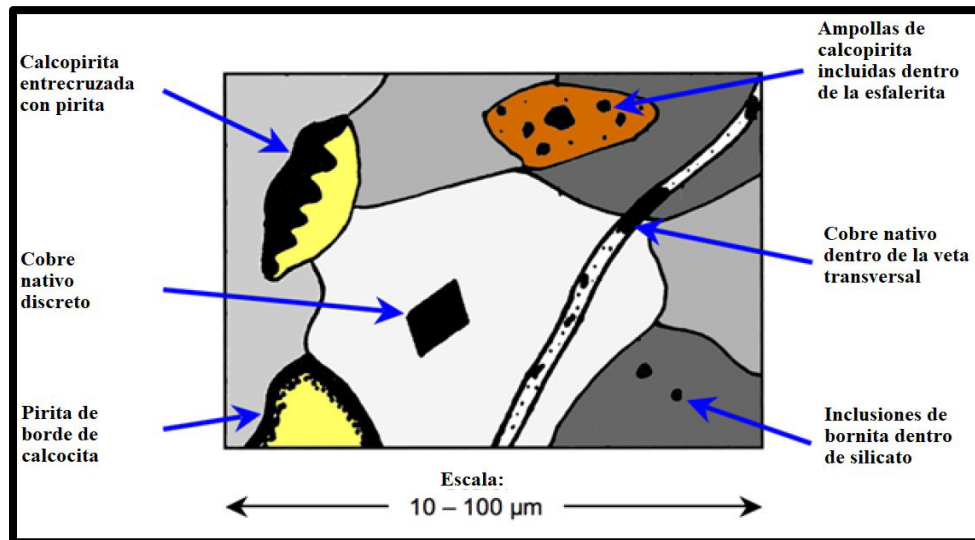


Figura 3 - Ejemplo de cómo la deposición de cobre a través de múltiples minerales y texturas influirá directamente en el tamaño de molienda objetivo y el potencial de liberación.

Fuente: Evans (2010).

2.3.1.2 Pórfidos de cobre en Batolitos del Perú

La investigación se basa en yacimientos de cobre que estén relacionados a un batolito, para lo cual un batolito es descrito identificando los plutones y conociendo las edades de los mismos, para determinar la secuencia de intrusión. Definir el número de plutones que lo componen, la forma, su asociación con los diques si los hubiera, y la variación de la composición (Figura 5).

Un pulso importante de esta actividad magmática está representado por las rocas intrusivas voluminosas que componen el batolito de Andahuaylas-Yauri.

Se han realizado importantes investigaciones en este ámbito batolítico, entre las que destacan Perelló, (2004), Carlier, (1989), Bonhomme & Carlier (1990). La conclusión general de todas estas investigaciones pone de relieve el gran potencial del batolito de Andahuaylas-Yauri.



Figura 4: Principales Batolitos del Perú. Se resalta el batolito de Abancay de donde se obtuvieron las muestras estudiadas.

Fuente: Atherton (1990) modificado por Iriarte (2020)

Este cinturón se encuentra entre la Cordillera Occidental y el Altiplano de las regiones de Ayacucho, Cusco y Puno. El cinturón está delimitado al norte por una estructura regional conocida como la deflexión de Abancay, y al Este por el sistema de fallas de Urcos-Sicuani-Ayaviri (Carlotto, 1998). Los controles estructurales de las zonas sur y oeste son difíciles de interpretar porque la cubierta volcánica del Mioceno esconde cualquier rasgo estructural pre-Mioceno. Se cree que estas fallas fueron los límites de una cuenca tecto-sedimentaria que controlaba la sedimentación mesozoica, generalmente compuesta de rocas caliza (Formación Ferrobamba Albiano-Turoniano), y rocas siliciclásticas (Formación Yura Jurásico-Cretácico, y Formación Altiplano Mara). (Perelló et al., 2003).

Más de dos docenas de distritos mineros se encuentran al oeste, sur y suroeste de Cusco, definiendo una provincia alargada que se extiende más de 300 km desde Andahuaylas en el noroeste hasta el sureste en Yauri, cubriendo un área aproximada de 25.000 km cuadrados. (Bellido & DeMontreuil, 1972). Desde un punto de vista geológico, las rocas intrusivas tienen el mayor potencial económico.

Las correlaciones espaciales y temporales sugieren que el batolito está relacionado con las ocurrencias minerales, con edades que van de 48 a 30 M.A. (Carlotto, 1998).

Algunos yacimientos minerales han sido reconocidos en este sector, pero para una mejor comprensión, han sido nombrados en grupos, que contienen más de un yacimiento mineral con características geológicas que indican que están estrechamente relacionados (Figura 6):

El Cluster de Tintaya (“Tintaya, Quechua y Antapaccay”), Katanga (“Katanga, Monte Rojo y San José”), Las Bambas (“Sulfobamba, Querobamba, y Chalcobamba”), Cotabambas (“Azulccaca, Ccalla, Huacclle y Ccarayoc”), y finalmente el cluster de Morosahuas (“Llocellaca, Cha-Cha, Quenco, Chicaccasa”) (Perelló et al. 2003). Todos los depósitos mencionados se encuentran en la parte oriental del batolito de Andahuaylas-Yauri. Sin embargo, la presencia de muchos sucesos también se conoce en la parte

occidental, como Angostura, Trapiche, Utupara, Santa Rosa de Virando, Lahuani, Antilla, San Diego, Yuringa, Jara, Leonor, Los Chancas, Haquira, Cristo de los Andes, etc.

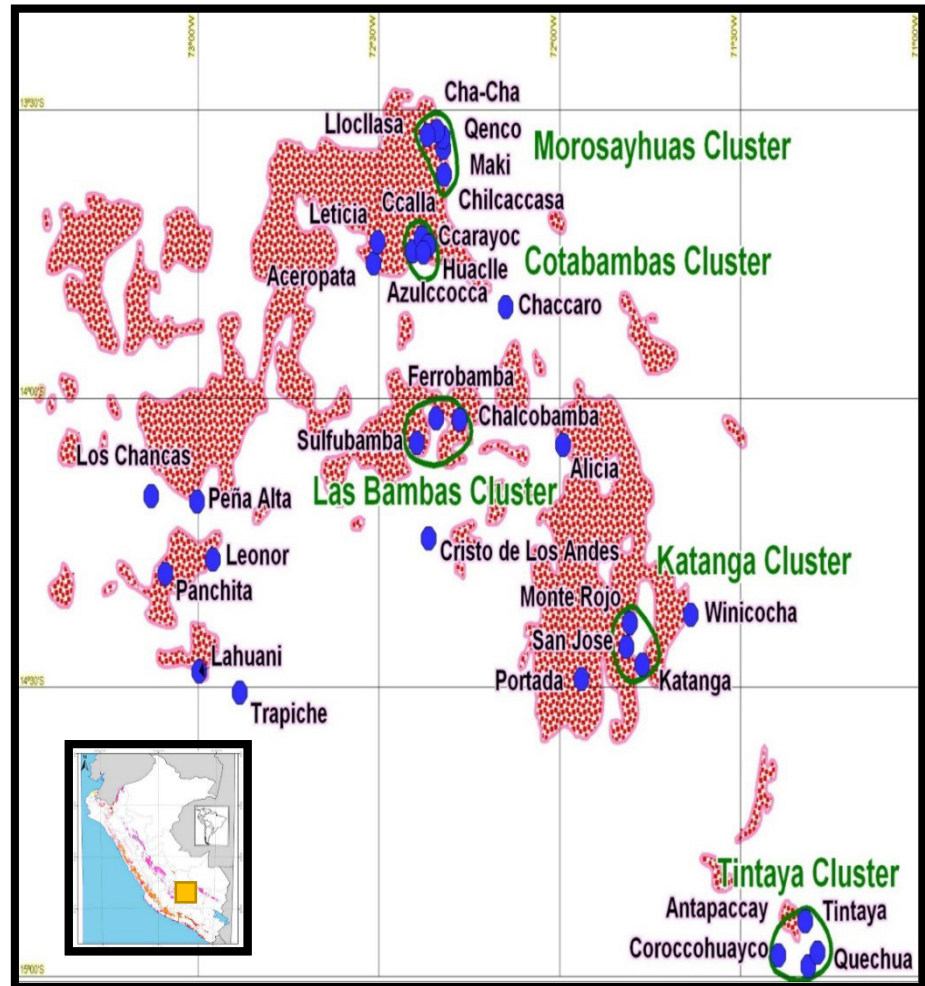


Figura 5: Cluster del Batolito de Andahuaylas-Yauri.

Fuente: Perelló et al. (2003)

Este cinturón se considera actualmente como una extensión del Cinturón Eoceno -Oligoceno de Chile, donde se pueden encontrar importantes depósitos de tipo pórfido.

2.3.1.3 Procesos de concentración

La textura de las partículas en un alimento flotante juega un papel fundamental tanto en la recuperación como en el grado del concentrado. Se pueden generar curvas teóricas para indicar la máxima recuperación-grado posible para un

mineral de alimentación dado, y si el concentrado real se traza por debajo de esta curva (como inevitablemente sucede), esto es el resultado de la textura y mineralogía del alimento de mineral o de las condiciones de funcionamiento del circuito de flotación (figura 7).

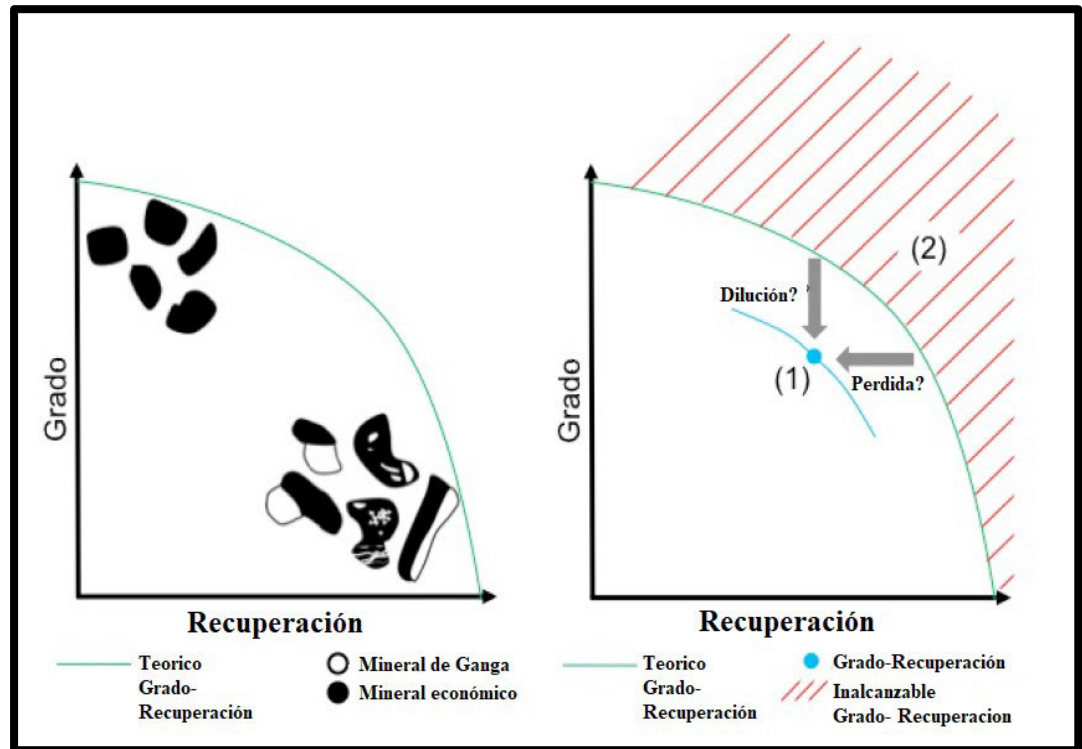


Figura 6: Recuperación vs ley. Izquierda: la textura del mineral define la curva de recuperación-grado teórico. Las imágenes de partículas se utilizan para mostrar la alta recuperación de minerales objetivo también típicamente significa recuperación de minerales de ganga, reduciendo el grado. Derecha: si el grado/recuperación real es menor que el teórico, entonces las condiciones operacionales pueden ser cambiadas para mejorar este (1). Si se requiere un grado/recuperación por encima de la curva teórica, entonces la textura de la alimentación tendrá que cambiar (2).

Esta curva teórica de recuperación vs grado, establece un límite fundamental; ninguna cantidad de cambios en las condiciones de la planta (reactivos, pH, etc.) mejorará la recuperación del concentrado de flotación de grado Cu más allá de esta curva, debido a la limitación física establecida por la textura del mineral de alimentación (y en particular la liberación, el área de superficie y la deposición). Para mejorar el grado o la recuperación más allá de esta curva

teórica, es necesario realizar cambios en la alimentación; por ejemplo, aumentar la liberación.

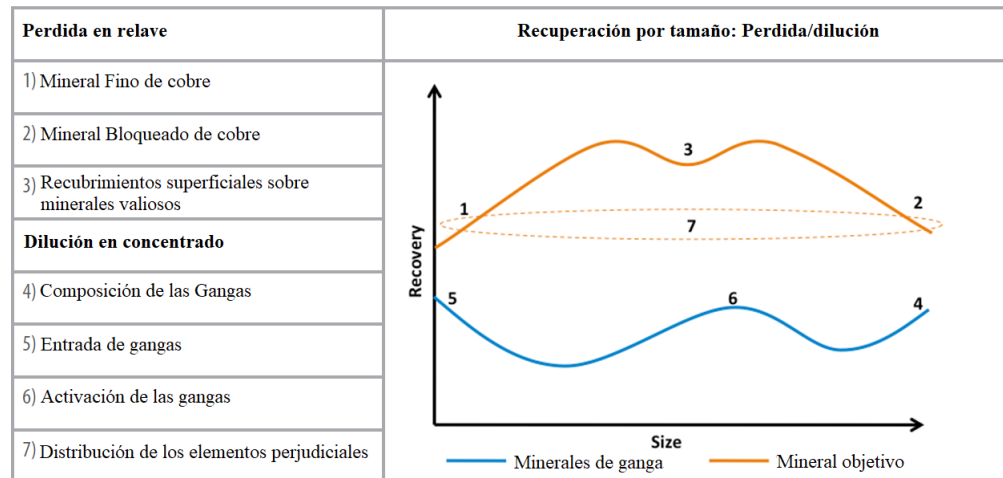
- Las partículas gruesas pueden ser compuestos (es decir, contienen múltiples granos) de minerales que contienen cobre y minerales ganga. La recuperación de estos aumentará, pero disminuirá el grado, ya que la ganga bloqueada, por necesidad, también se recuperará. Rechazarlos significará que la ley no se verá comprometida, pero los granos objetivo se perderán en los relaves, reduciendo así la recuperación general.
- Las partículas finas comprenden en gran medida granos liberados. Las partículas finas de mineral pueden tener una menor probabilidad de colisión partícula-burbuja y por lo tanto tienen una probabilidad reducida de ser recuperadas. El material de ganga muy fino puede recogerse por arrastre y recuperarse hasta el concentrado final.
- Normalmente se considera que las partículas intermedias están total o parcialmente liberadas y, por lo tanto, pueden separarse en un circuito de flotación, con la recuperación de los minerales sin una degradación significativa del grado; Sin embargo, no siempre es así. Los recubrimientos superficiales pueden reducir la susceptibilidad de la superficie de un mineral a la adherencia a la burbuja, reduciendo la recuperación, mientras que el grado concentrado puede reducirse cuando la superficie de los minerales de ganga se activa causando que floten.

Existen siete factores mineralógicos que influyen en la recuperación del cobre en el concentrado de flotación.

1. Los minerales finos de cobre
2. Minerales de cobre bloqueados
3. Los recubrimientos superficiales de minerales valiosos
4. Compuestos ganga
5. El ingreso de la ganga
6. Ganga activada
7. Distribución de elementos nocivos

Las condiciones de funcionamiento del circuito de flotación no se tienen en cuenta en esta discusión, pero las influencias típicas de la mineralogía y la textura se han resumido en la Cuadro 7; Cada uno de los cuales se discute con más detalle en las siguientes secciones:

Cuadro 5: Resumen de las siete causas comunes de baja calidad en el concentrado y pérdidas en la flotación.



Nota: El gráfico se utiliza para resaltar cada uno de ellos y cómo el tamaño de las partículas se relaciona con el mineral o material ganga.

Fuente. (Goodall, Cropp, & Bradshaw, 2013)

1. Los minerales finos de cobre

Los granos primarios de sulfuro de cobre como la calcopirita y bornita pueden ser tan grandes como 1 mm en algunos minerales pórfidos diseminados; sin embargo, la mayoría son más pequeños (Anderson, Szholz y Strobell, 1955). De hecho, un porcentaje considerable (hasta el 70%) de calcopirita y bornita puede producirse en granos de 10 micras (Pincheira et al, 1998). Cuando estos se reportan a los finos y se liberan, la presencia de estos granos de cobre muy fino significará una menor probabilidad de lograr una interacción partícula-burbuja, haciéndolos más lentos para flotar y por lo tanto reduciendo la probabilidad de recuperación al concentrado de flotación.

2. Minerales de cobre bloqueados

Los minerales que contienen cobre pueden permanecer bloqueados en partículas compuestas porque:

- Son de grano fino
- Tienen una distribución bimodal del tamaño del grano (resultante de los granos inequigranulares en un mineral, o a partir de material mezclado de minerales con diferentes distribuciones de tamaño) donde el tamaño de molienda objetivo se optimiza para el mayor de los tamaños de distribución

- Son de un tipo de mineral nuevo/diferente con un P80 inferior al tamaño de molienda objetivo del mineral actual. Estos pueden no ser recuperados en el circuito de flotación porque o bien son demasiado pesados para flotar o carecen de la superficie libre para ser recogidos. Bradshaw, Triffett y Kashuba (2011) comparan la recuperación de dos tipos de mineral, un mineral de monzonita que representa uno de los minerales pórfidos comunes con una recuperación típica de Cu y Mo; y un mineral de skarn con roca caliza con recuperación pobre de Cu (y Mo), con cantidades similares de cobre total, pero tasas de recuperación muy diferentes, se examinaron la naturaleza y las proporciones de la textura y los minerales de ganga, incluida la distribución del tamaño de las partículas después de la molienda.

3. Los recubrimientos superficiales de minerales valiosos

El –Ca y Fe-hidróxidos y fosfatos, y Ca- y Mg- puede llevar aluminio-silicatos, pueden ser una causa principal de contaminación superficial en minerales objetivo, particularmente en el mineral de skarn con caliza (Gerson et al, 2012). donde la introducción de un LSN resultó en una mayor proporción de minerales que contienen Mg y Ca que la que se encontró en el mineral alimenticio típico de monzonita porfírica. Mientras que la biotita, la flogopita y el clorita fueron los principales minerales que contienen Mg en el mineral de pórfido de monzonita y se distribuyeron uniformemente a través de todas las fracciones, el anfíbol, el talco y el piroxeno fueron los principales minerales que contienen Mg en el LSN con considerablemente más anfíbol en el -fracción de 20 μm . Se cree que esta mayor cantidad de magnesio en la fracción de -20 μm dio lugar a un recubrimiento superficial de los minerales de cobre, reduciendo la recuperación general de cobre al concentrado de flotación en todas las fracciones de tamaño. La Figura 12 muestra un ejemplo de un grano de calcopirita, y un grano con partículas finas en la superficie. Una mayor proporción de calcita en el LSN puede contribuir aún más al agravar el recubrimiento superficial con iones Ca adicionales.

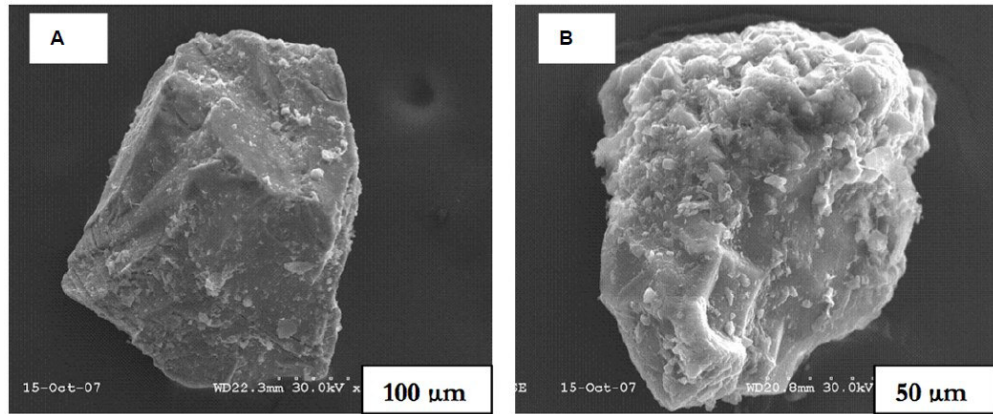


Figura 7: Imagen de microscopio electrónico de barrido de dos granos de las muestras de residuos recolectadas durante los estudios de plantas en Kennecott Utah Copper Corporation (KUCC). (A) Grano de calcopirita y (B) una partícula de 'insol' con precipitados finos y finos en la superficie. Fuente: Bradshaw, Triffett y Kashuba (2011).

La discusión sobre filosilicatos y minerales arcillosos se limita a esta sección para negar el riesgo de repetición; sin embargo, algunos puntos pueden tener relevancia para otras secciones como la ganga atrapada. Los minerales arcillosos, y en particular las esmectitas como la montmorillonita (Gorodetskii et al, 1973; Fuerstenau, 1995) y el talco, juegan un papel importante durante la flotación, y son prevalentes en la zona argílica y las áreas superiores de los depósitos de pórfido donde se ha producido la alteración supergénica. Por ejemplo, pueden:

- Aumentar el deslizamiento
- Aumentar la viscosidad de la pulpa
- Reducir la velocidad de flotación
- Arrastrar partículas de ganga fina
- Adscribir agua y reactivos
- Alterar la composición iónica de la pulpa
- Aumentar la estabilidad de la espuma
- Reducir la selectividad de la adsorción del colector de partículas ultra finas.

Bulatovic, Wyslouzil y Kant (1998) discuten cómo los minerales de arcilla en los depósitos de cobre porfídico chileno varían desde la caolinita simple a los minerales complejos del grupo chamosita/illita, mientras que Cook (1988)

destaca cómo la mitad del cobre en la mina Lakeshore (Arizona) se encuentra en fenocristales alterados de biotita y plagioclasa, y posteriormente en arcilla. Los finos y revestimientos sericíticos tendrán un impacto menor que los de caolinita, y a su vez la montmorillonita. Inversamente, la caolinita y la montmorillonita tendrán un efecto más grande en la pulpa al aumentar la viscosidad. La cantidad total de agua retenida por la caolinita fina y la montmorillonita alcanza el 50% y el 70% del peso de los sólidos respectivamente (Malghan, 1984).

Peng y Zhao (2011) demuestran que, en condiciones normales de molido, una pequeña adición de alrededor del 5 % (masa) de bentonita podría dar lugar a una reducción significativa de la cinética de flotación del calcocito. Seaman et al (2012b) discute el tema de los minerales arcillosos y los recubrimientos superficiales que se absorben a las superficies de los minerales de cobre, reduciendo su susceptibilidad a la recuperación por flotación. En este caso, se encontró que un dispersante aniónico introducido en el circuito de flotación se absorbía preferentemente a la superficie de los minerales arcillosos, evitando que estos minerales de ganga hidrófilos se uniesen a granos de calcocito y en menor medida, la calcopirita.

4. *Compuestos ganga*

Las partículas compuestas, particularmente en los middlings donde las partículas contienen minerales de cobre con el objetivo para ser recuperadas fácilmente al concentrado de flotación, pueden contener material de ganga bloqueado. Esta ganga puede tener una amplia gama de composiciones dependiendo de la mineralogía del mineral, y puede ser sulfuro o no sulfuro. La pirita se utiliza aquí como un ejemplo de recuperación de compuestos ganga, escogida debido a su importancia particularmente con respecto a las ramificaciones ambientales. La pirita recuperada en el concentrado puede causar altos niveles de emisiones de SO₂ en la fundición, mientras que la pirita rechazada terminará en los relaves, potencialmente impulsando el drenaje de rocas ácidas (Parbhakar-Fox, 2012).

La pirita se encuentra típicamente en las concentraciones más altas en la zona sericitica (filica) de un pórfido. Se puede recuperar en el concentrado de cobre de varias maneras: ya sea intencionalmente o no, en partículas compuestas, como granos liberados con superficies activadas o a través de arrastre. La pirita tiene propiedades de flotación similares a la calcopirita (Malghan, 1984), y aunque la calcopirita generalmente flota más rápido que la pirita en circuitos más ásperos y limpios (Lynch et al, 1981), cabe señalar que la calcopirita puede tener tasas variables de flotación (Evans, 2010).

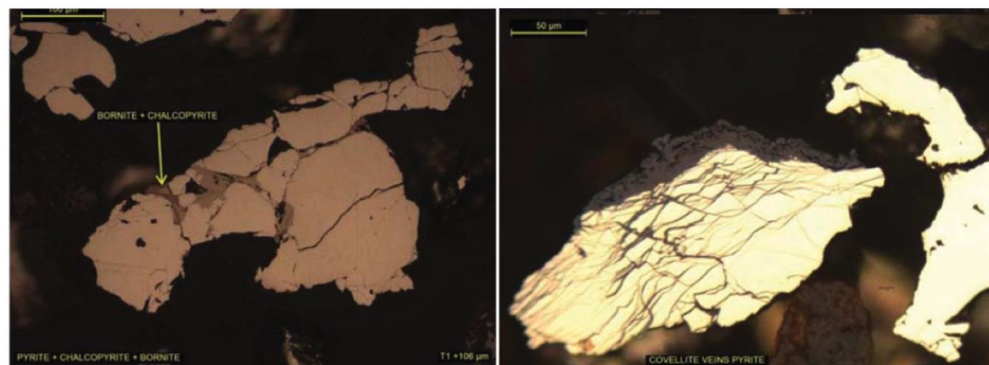


Figura 8 - Ejemplos de minerales de sulfuro de cobre alojados dentro de la pirita en el mineral de la Cúpula oeste de Telfer.

Fuente: Seaman et al, 2012a.

5. El ingreso de la ganga

Según Seaman et al (2012a) las gangas disminuyen los concentrados en el depósito de pórfidos de cobre, por arrastre excesivo de ganga no sulfuro, minerales en el circuito de flotación de cobre como un contribuyente significativo. En respuesta a esto, se añadió un circuito de flotación más limpio en forma de dos células de Jameson frente al circuito de limpieza de dos etapas existente para aliviar esto. Estos estaban destinados a rechazar la ganga no sulfurada, permitiendo la recuperación de minerales valiosos (tanto finos liberados como compuestos), y para reemplazar el NSG que se recupera con pirita que contiene oro.

El talco, flogopite, micas y anfíboles pueden introducir flúor en el concentrado de flotación porque se recuperan a través del arrastre como material fino liberado (o porque flotan como partículas compuestas).

6. Ganga activada

La alta superficie específica de la calcopirita y la bornita de grano muy fino, y cualquier mineral de cobre secundario presente, puede liberar iones cobre en solución durante la flotación, alterando la química de flotación. Esto reducirá la eficiencia de la recuperación de calcopirita primaria y bornita, así como la activación de las superficies de otros sulfuros como pirita, arsenopirita, esfalerita y galena, causando que se recuperen al concentrado de cobre.

7. Distribución de elementos nocivos

El arsénico puede estar asociado con minerales que contienen cobre y oro, y con minerales de ganga, y por lo tanto una comprensión de la deposición es crítica para determinar si los minerales que contienen arsénico van a los relaves o se recuperan para el concentrado. En relaves, el depósito definirá el potencial de liberación en el medio ambiente, mientras que su asociación potencial con el cobre y el oro puede convertirlo en un objetivo de recuperación.

En el depósito de pórfidos de cobre, el arsénico (As) se puede encontrar en calcocita, covelita, bornita y calcopirita alrededor de 390 - 880 ppm, aunque el principal mineral que contiene As es enargita. Estos se combinan para constituir el 80% del arsénico en los concentrados. El arsénico se presenta como un halo alrededor de las reservas de pórfido como resultado de la alteración hidrotermal, con una distribución irregular tanto horizontal como vertical, disminuyendo con la profundidad.

El promedio de ley de arsénico es de 72 ppm. El mineral de cobre de mayor grado se encuentra a menudo con los grados más altos de arsénico, hasta 1000 ppm dentro de brechas y en la parte superior de la zona enriquecida con supergenes, cerca del contacto con la zona lixiviada (Pérez-Segura y Zendejas Mendivil, 1991). La tennantita y la cobaltita también pueden contener trazas de arsénico. Kappes et al (2009) presentan un estudio de caso que examina la deposición de arsénico debido a su asociación con el oro en el mineral de Carlin Trend. La arsenopirita y la pirita arsenical (pirita enriquecida con arsénico) se citan como objetivos potenciales para la recuperación por flotación.

2.3.2 Técnicas analíticas utilizadas

Existen diferentes técnicas utilizadas como son:

2.3.2.1 Qemscan (*“Quantitative Evaluation of Minerals by Scanning Electron Microscopy”*)

La “Evaluación cuantitativa de minerales por microscopía electrónica de barrido” QEMSCAN es un sistema de microanálisis totalmente automatizado que permite el análisis químico cuantitativo de materiales y la generación de mapas e imágenes de minerales de alta resolución, así como la estructura (Gottlieb et al., 2000). Utiliza una plataforma de microscopía electrónica de barrido (SEM) presenta una fuente de haz de electrones que pueden combinarse con espectrómetros de rayos X de dispersión de energía (EDS). Los espectros de emisión de rayos X secundarios inducidos por electrones retrodispersados medidos se utilizan para clasificar la mineralogía de la muestra. Se puede obtener una variedad de información cuantitativa, incluida la distribución, composición y angularidad de los minerales, y el tejido, distribución, textura y porosidad de los materiales.

2.3.2.2 Microscopia

A.- Microscopía óptica

- La mineralogía óptica implica estudiar rocas y minerales mediante el estudio de sus propiedades ópticas.
- Hoy en día, la mayor parte de la mineralogía óptica implica examinar secciones delgadas con un microscopio petrográfico.
- La luz que entra en un cristal puede refractarse o reflejarse.
- Los microscopios petrográficos tienen fuentes de luz polarizadas que iluminan una sección delgada.
- Se examina las secciones delgadas en dos modos: luz polarizada plana y luz polarizada cruzada.
- En luz plana polarizada se puede distinguir minerales opacos y no opacos; se puede ver la forma del cristal, el hábito, el color y el pleocroísmo y el relieve.
- En luz de polarización cruzada, se distinguen los minerales anisotrópicos de isotrópicos, se observan colores de interferencia relacionados con la birrefringencia y pueden ver asociaciones y características relacionadas.

- Se usa luz de polarización cruzada para aprender la clase óptica y el signo óptico de un cristal, para medir los ángulos de extinción y el signo de alargamiento, y para medir 2V.
- Una combinación de propiedades ópticas nos permite identificar minerales en sección delgada e interpretar historias geológicas.

B.- SEM (Microscopio electrónico de barrido)

Los microscopios convencionales usan luz visible para examinar una muestra pequeña o, a veces, una sección delgada. Un microscopio electrónico utiliza un haz de electrones en lugar de luz. Los microscopios electrónicos pueden ampliar las muestras miles de veces más que los microscopios ópticos convencionales, lo que nos permite ver granos y detalles minerales muy finos. La mayor ampliación y resolución son posibles porque la longitud de onda efectiva de un electrón es mucho menor que la longitud de onda de la luz. En consecuencia, la óptica electrónica puede enfocarse en áreas mucho más pequeñas que la óptica de luz.

Hay varios tipos diferentes de microscopios electrónicos; los microscopios electrónicos de barrido (SEM) son, con mucho, los más comunes. En un microscopio electrónico de barrido, como el que se muestra en la figura 19, se generan electrones de alta energía (típicamente 15-20 keV) en la parte superior de la columna de la izquierda. Los electrones se enfocan en un haz estrecho que escanea hacia adelante y hacia atrás (rásteres) a través de una muestra en la parte inferior de la columna para producir una imagen. Los SEM pueden escanear áreas muy pequeñas, operando en una amplia gama de aumentos, hasta 250,000x cuando se optimizan adecuadamente. Pueden resolver características topográficas o de composición de solo unos pocos nanómetros de tamaño. Se pueden mostrar varios tipos diferentes de imágenes en la pantalla de un monitor según las necesidades del usuario.



Figura 9: Microscopio electrónico.

Fuente: (Dexter, 2020)

Imágenes SEM

Varias cosas importantes ocurren cuando el haz de electrones interactúa con una muestra (Figura 20). Algunos electrones se reflejarán en la superficie de la muestra sin pérdida de energía. A estos electrones los se le llaman electrones de *retrodispersión*. Además, la ionización produce *electrones secundarios de menor energía* cuando los *electrones* originales de alta energía interactúan con los electrones de valencia en la muestra. Para obtener imágenes SEM estándar, un detector mide la intensidad de los electrones secundarios (SE) emitidos por la muestra a medida que el haz la atraviesa. Esto permite la creación de una imagen con brillo proporcional al número de electrones que llegan al detector.

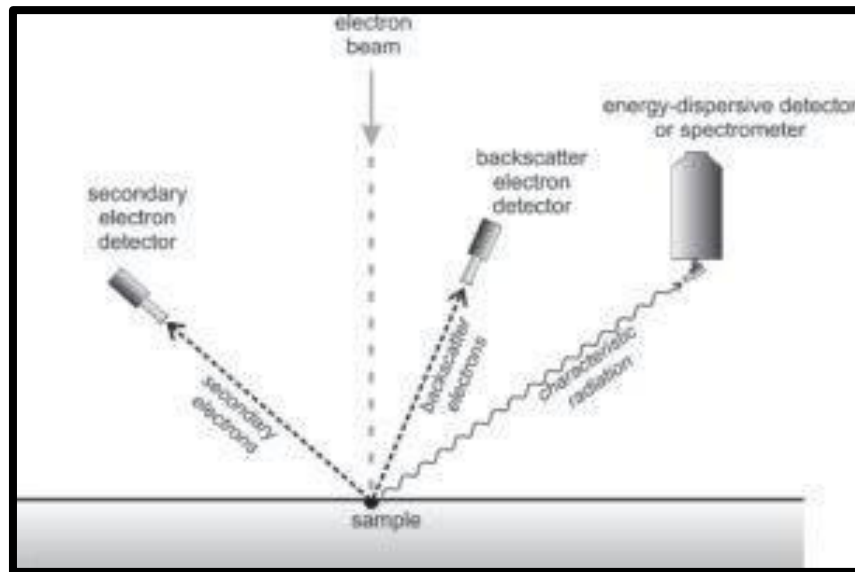


Figura 10: Funcionamiento por dentro de un microscopio electrónico de barrido.

Fuente. (Dexter, 2020)

2.3.2.3 Difracción de Rayos X

Hay dos técnicas fundamentales de difracción de rayos X: difracción de polvo y difracción de monocristal. La difracción de polvo es mucho más común; se usa para la identificación de minerales de rutina y para determinar las dimensiones de las celdas unitarias. A veces también se puede usar esta técnica para aprender las proporciones de diferentes minerales en una roca u otra mezcla de minerales. La difracción monocristalina proporciona la información necesaria para determinar el grupo espacial de un cristal y la disposición de los átomos en la celda unitaria de un cristal. Normalmente, no se usa la difracción de polvo para averiguar las disposiciones atómicas en cristales porque los datos de difracción de polvo son más ambiguos para este propósito que los datos de monocristal. Los diferentes picos de rayos X corresponden a diferentes cristales en la muestra en polvo, y los datos no revelan las orientaciones de los cristales o planos que causan la difracción. El método Rietveld, una extensión del análisis de difracción de polvo normal, a veces supera estas complicaciones.

Por ahora, centrarse en la discusión en la difracción de polvo. En la figura 23 muestra un difractómetro de polvo típico. El armario mide unos 2 metros de altura.



Figura 11: Difractómetro de polvo típico. Los difractómetros de rayos X constan de tres elementos básicos: un tubo de rayos X, un portamuestras y un detector de rayos X.

Fuente: serc.carleton.edu

Para preparar una muestra para difracción de polvo, se trituran hasta obtener un polvo fino. El objetivo es tener un número casi infinito de cristales finos en orientaciones aleatorias. Se carga el polvo en soportes, como el de la Figura 24 o lo se coloca en un portaobjetos de vidrio. Cuando se toman rayos X de muchos cristales en diferentes orientaciones, muchos cristales cumplirán la ley de Bragg para cada conjunto de planos (hkl). Por lo tanto, cuando un haz de rayos X golpea la muestra, cientos o miles de haces difractados irán en diferentes direcciones. Algunos haces difractados tendrán una intensidad alta y otros tendrán una intensidad media o baja.

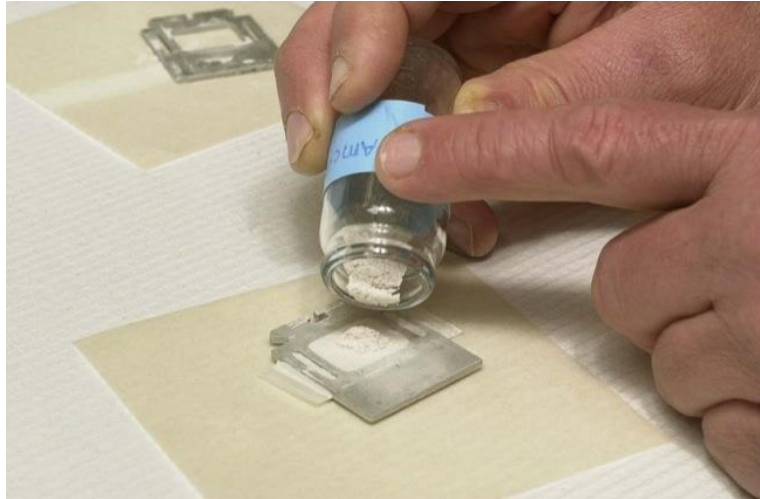


Figura 12: Portamuestras de difracción de polvo,

Fuente: USGS (2020)

2.3.2.4 Pruebas de flotación de minerales

Las pruebas de flotación de laboratorio por lotes comienzan con los 3 tipos fundamentales de procesos o métodos de flotación que se pueden clasificar como:

- Flotación a granel
- Flotación diferencial
- Flotación secuencial

Si bien todos los procesos de flotación son selectivos o diferenciales en el sentido de que un mineral o grupo de minerales flota lejos de la ganga acompañante, la flotación a granel generalmente se refiere a la separación de tipos de minerales diferentes, como los sulfuros de los no sulfuros. La flotación diferencial (ejemplificada, por ejemplo, por la concentración y posterior eliminación sucesiva de sulfuros de Cu, Pb, Zn y Fe de un solo mineral), por otro lado, está restringida a operaciones que involucran la separación de tipos minerales similares.

La prueba de flotación de espuma por lotes es un medio de tratar una pulpa de mineral finamente molido para que produzca el mineral valioso o deseado en un concentrado que será susceptible de procesamiento adicional. El proceso implica la impartición de un carácter repelente al agua (hidrófobo) a las partículas minerales deseadas mediante productos químicos que se denominan colectores o promotores.

En condiciones favorables, estas partículas recubiertas químicamente se adhieren al aire que burbujea a través de la pulpa y, por lo tanto, “flotan” en la superficie.

A. Ensayos de flotación en laboratorio

Si la tensión superficial de la pulpa se reduce luego con un segundo químico, llamado espumador, se formará una espuma estabilizada que contiene las partículas minerales deseadas en la superficie de la pulpa. Esta espuma luego se puede quitar para producir un concentrado en el que el mineral deseado está presente en un porcentaje mucho más alto que en el mineral original.

Al realizar un experimento de flotación, se deben completar los siguientes procedimientos antes de comenzar las pruebas.

B. Planificación de la prueba de flotación del laboratorio:

Deben establecerse los objetivos de la prueba y, por lo tanto, la información requerida de los resultados (por ejemplo, calibres, ensayos, tasas de flotación y tratamiento de productos, etc.). Conociendo la información que se requiere, la prueba se puede planificar con respecto a lo siguiente:

- Tipo y tamaño de celda que se utilizará
- Peso de la muestra de alimento requerido para cada prueba
- Calidad y cantidad de agua a utilizar
- Densidad de flotación, etc.
- Reactivos de flotación

Todos los reactivos que se utilizarán durante la prueba deben prepararse con las concentraciones requeridas antes de comenzar. La frescura de algunos reactivos es importante. Recuerde que cuanto más diluido sea el reactivo, más precisa será la tasa de adición, pero mayor será la adición de volumen a la celda.

C. Preparación del equipo de flotación

Todo el equipo debe limpiarse a fondo antes de la prueba (y después de completar la prueba), y todas las bandejas de productos y dispensadores de reactivos deben etiquetarse adecuadamente.

D. Origen de la muestra

A veces es útil obtener información de pruebas anteriores de un tipo similar o realizadas en la misma fuente de alimento, para estar al tanto de cualquier problema que pueda ocurrir durante la prueba (por ejemplo, cantidad y naturaleza de los sulfuros, distribución del tamaño del alimento, problemas de formación de espuma, etc.).

E. Laboratorio Metalurgico.

Planta de prueba de laboratorio por lotes

Toda mina lo suficientemente grande como para justificar la instalación de un molino concentrador debería poder aumentar sus ganancias mediante la instalación de un laboratorio de preparación de minerales convenientemente dispuesto. El laboratorio puede constar de unos pocos elementos esenciales o de una instalación muy completa, según el tamaño de la mina y la complejidad de los problemas de extracción de minerales encontrados.

Muchas escuelas de minería en todo el mundo se han estandarizado prácticamente en equipos de laboratorio por lotes y han realizado instalaciones completas de plantas de prueba de laboratorio por lotes. Esta amplia aceptación se debe no solo a resultados metalúrgicos confiables, sino también al hecho de que las máquinas de laboratorio demuestran los principios de las máquinas comerciales estándar. Los laboratorios de pruebas gubernamentales y privados utilizan máquinas de laboratorio porque requieren unidades de las que se puedan obtener resultados estándar y precisos y resultados que se puedan duplicar en la práctica comercial.

2.3.3 Programa QA/QC

El aseguramiento y el control de calidad (QA/QC) es fundamental en todos los programas. El muestreo y las pruebas metalúrgicas deben integrarse plenamente en los estudios geometalúrgicos. La necesidad de una gestión de calidad es relativamente bien comprendida por la mayoría de los profesionales de la minería. Hay una serie de herramientas disponibles para aquellos que gestionan los datos de calificación; aunque en algunos casos hay una comprensión mínima de por qué se están llevando a cabo

actividades de control de calidad o cómo interpretar los resultados. El muestreo metalúrgico tradicional es crítico para el diseño de la planta y es una parte inherente de la geometalurgia.

En un estudio geometalúrgico, se utilizan múltiples pruebas a pequeña escala distribuidas espacialmente como proxies para los parámetros del proceso. Estos serán validados con los resultados de pruebas tradicionales. Las prácticas de gestión de la calidad deben aplicarse ahora a las variables geometalúrgicas, lo que requiere la aplicación de los conceptos de TOS y control de procesos estadísticos. Ehrig, Liebezeit y Macmillan y Dominy et al. hacen algunas recomendaciones generales (Ehrig, Liebezeit, & Macmillan, 2017).

Los errores son aditivos en toda la cadena de valor del muestreo y generan pérdidas tanto monetarias como intangibles. El objetivo es recoger muestras representativas para describir con precisión el material en cuestión. La recogida de muestras va seguida de una reducción de la masa y del tamaño del fragmento para proporcionar una submuestra para el ensayo o ensayo. Todo este proceso puede ser particularmente difícil en el entorno de bajo grado (por ejemplo, los metales preciosos) y puede requerir protocolos especiales.

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

3.1 Tipo y Diseño de Investigación

El estudio corresponde según los propósitos a una investigación aplicada y según el alcance de los resultados es de tipo experimental, las investigaciones experimentales debido a los datos obtenidos son directamente de la realidad sin que estos sean modificados o alterados y luego correlacionados, debido a que se busca la aplicación de la investigación a problemas concretos, en circunstancias y características concretas (León & Montero, 2003).

Esta forma de investigación se dirige a su aplicación inmediata y no al estudio de teorías (Tamayo, 2007).

3.1.1. Tipo de investigación.

El tipo de investigación es aplicada o tecnológica ya que utiliza los conocimientos en la práctica, para aplicarlos en la mayoría de los casos en provecho de la minería.

Además, como mencionan Campbell y Stanley: "Precisamente porque hay falta de control experimental total, es imprescindible que el investigador conozca a fondo cuales son las variables particulares que su diseño específico no controla. Así, estará más pendiente de su posible influencia y tendrá mejores elementos para evaluarla". La ausencia de asignación al azar hace que se ponga

especial atención al interpretar los resultados y se tenga sumo cuidado de no caer en interpretaciones erróneas (Campbell & Stanley, 1966).

3.1.2 Diseño de Investigación.

El diseño que se emplea es experimental, según Esquivel y Venegas, ofrece un grado de validez suficiente ya que, con las muestras previamente constituidas, los mismos deben ser seleccionados con la técnica de muestreo aleatorio (Esquivel & Venegas, 2013).

El diseño de investigación es el siguiente:

O ₁	X	O ₂
----------------	---	----------------

Donde:

- O₁: Analizar la relación de la caracterización de las especies mineralógicas, el grado de liberación, tamaño de grano y asociaciones por análisis (Microscopía óptica, microscópica, Qemscan)
- X: Si se determinara la caracterización mineralógica que influirá en el comportamiento del proceso de flotación en yacimientos tipo pórfidos de cobre que estén relacionados al Batolito.
- O₂: Interpretar y analizar los resultados de caracterización mineralógica que influyen en la flotación de pórfidos de cobre y determinar las concentraciones críticas que provocan problemas de recuperación.

Cuadro 6: Tipo y Diseño de Investigación

Características	Investigación Cuantitativa o Cualitativa
Percepción de la realidad	Es cuantitativa porque es objetiva; es decir se estudia el mineral. Es cualitativo porque es subjetivo, se estudia el entorno de la actividad.
Razonamiento	Es cuantitativo porque es deductivo; es decir parte de teorías y formulaciones existentes.
Finalidad	Es cuantitativa porque se realiza una comprobación de los resultados obtenidos, mediante balances

	metalúrgicos. Es cualitativa porque se efectúa un análisis de los minerales
Perspectiva del Investigador	Es cualitativa porque se realizan los procesos metalúrgicos. Es cuantitativa porque la perspectiva es un análisis desde fuera; es decir al margen de los datos.
Causalidad	Es cualitativo por la interacción de factores o variables del proceso.
Axiología	Es cuantitativa porque los valores que se toman son libres y dependen de las características del mineral.
Punto fuerte	Es cuantitativo porque la investigación tiene un carácter de fiabilidad; es decir los datos que se obtienen son sólidos y repetibles.
Validez	Es cuantitativo porque la validez de la investigación tiene un significado estadístico, utilizando balances metalúrgicos.

El método de estudio será el método científico positivista (el positivismo eran modelados en las ciencias naturales y ponía vigor en la cuantificación y en el uso de las matemáticas como método de análisis, siendo su objetivo la aplicación y búsqueda de relaciones causales postulado de Augusto Comte)

En esta investigación experimental, la asignación a los grupos de muestras experimentales y de control se realizó de forma aleatoria, con la finalidad principal de lograr una igualación, lo más cercana posible, de las características de los sujetos que conforman esos grupos.

El paradigma cuantitativo se caracteriza por una concepción global situada en el positivismo lógico, el uso del método hipotético deductivo, orientado a los resultados, y el supuesto de la objetividad. En palabras de Denzing y Lincoln (1994): "El positivismo afirma que se pueden lograr explicaciones objetivas del mundo". En este enfoque el interés de la investigación educativa se centra en explicar, predecir y controlar los fenómenos objeto de estudio, identificando las regularidades sujetas a leyes que actúan en su configuración (Denzin & Lincoln, 1994).

La metodología cuantitativa, corresponden a técnicas definidas según el esquema de (Bisquerra , 2009).

Cuadro 7: Método de investigación

Paradigma	Objetivo	Metodología	Método	Técnicas
Positivismo	Explicar, relacionar y predecir variables	M. cuantitativa	Experimental	Instrumentos (cuantificación de los datos), Test, observación sistemática

Fuente. Modificado de Bisquerra (2009)

3.2 Unidad de análisis

Yacimientos de Pórfidos de cobre asociados a un batolito, muestreo de rocas (Mineral Mena y Ganga).

3.3 Población de estudio

Estará conformada por los sondeos realizados dentro del área de estudio en yacimientos de pórfido de cobre.

3.3.1 Criterios de Inclusión y de exclusión de la muestra

A.- Criterios de Inclusión

- Muestras pertenecientes a pórfidos de cobre.
- Muestras que contengan minerales de cobre.

B.- Criterios de exclusión

- Muestras que pertenezcan a otros tipos de yacimientos o proyectos que aún no han sido definidos como pórfidos de cobre.
- Muestras que no tenga ubicación física.

3.4 Tamaño y selección de muestra

Un desafío que un programa de muestreo necesita resolver inicialmente es definir cuántas muestras son necesarias para diferentes ensayos y técnicas involucradas en el desarrollo de un modelo confiable. Si el número de muestras es demasiado pequeño, el modelo puede ser inexacto o incluso defectuoso.

El tamaño y la selección de las muestras será aplicado según los datos geológicos acompañados de la experiencia interna de los procesos de beneficio y yacimientos minerales, de las cuales se determinó que serían 35 muestras.

En la figura 27, se observa el proceso de estudios generalizada para caracterizar mineralógicamente, empezado por estudios de mineral in situ hasta el estudio de las colas y concentrado.

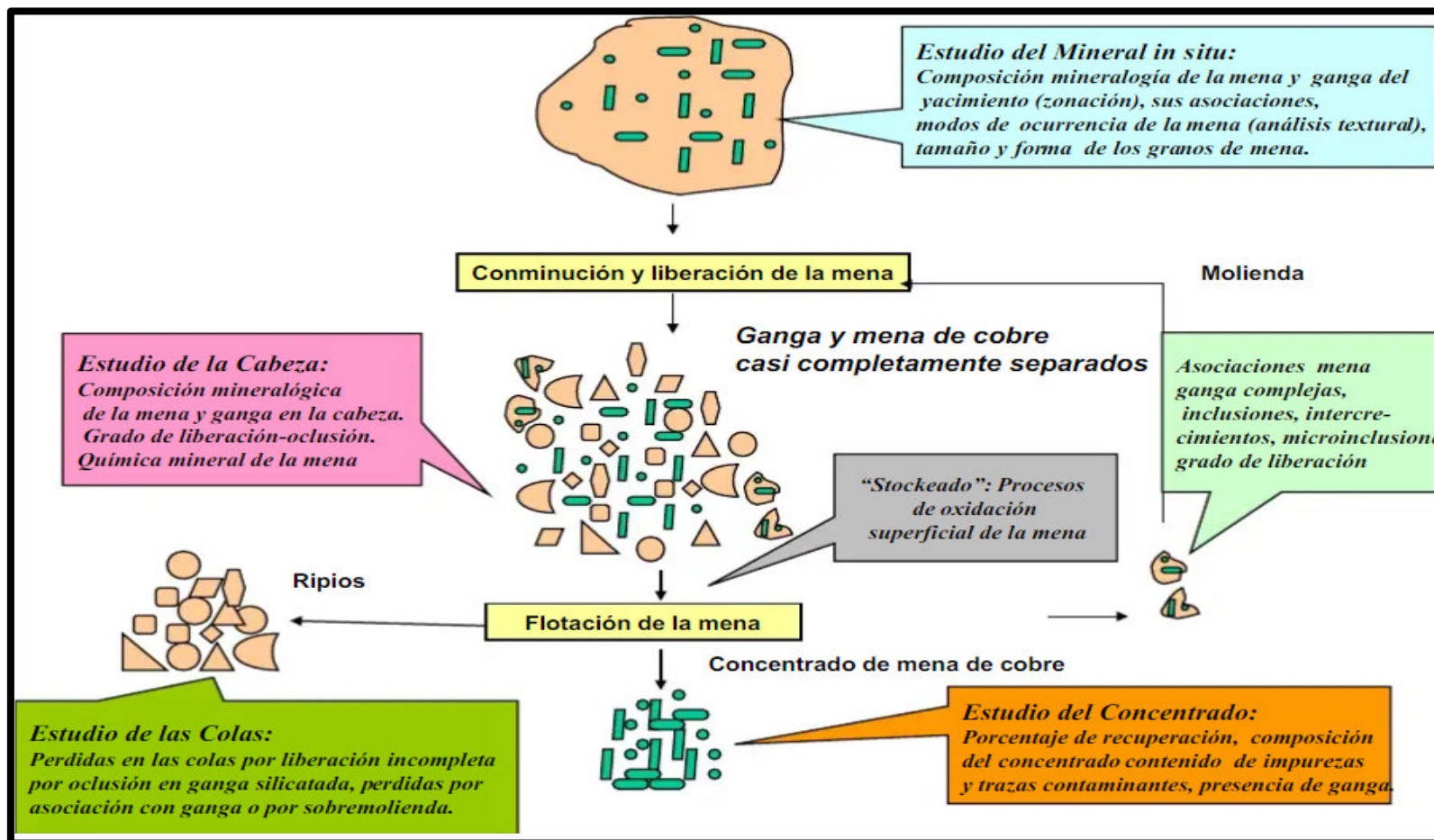


Figura 13: Proceso de estudios de caracterización mineralógica generalizada

Fuente: Instituto de Geología Económica Aplicada-Chile (2013), Proceso de estudios de caracterización mineralógica (p. 5), por dominio público.

3.5. Técnicas de recolección de datos, análisis e interpretación de la información

Para la recolección de datos se usó las técnicas e instrumentos del siguiente esquema (Cuadro 9):

Cuadro 8: Técnicas de recolección de datos.

Técnica	Instrumento	Aplicación
Análisis bibliográfico y documental.	Fichas bibliográficas	Para elaborar el marco teórico
Observación de campo	Guía de observación	Muestras de rocas
Análisis de resultados	Test	Muestras de rocas

3.5.1. Condiciones de las muestras

Se seleccionaron 35 muestras de las cuales se realizaron una observación macroscópica con esto se determinó el tipo de roca. A continuación, se muestrearon 15 kg de sondaje y se seleccionaron muestras para caracterización mineralógica:

3.5.1.1 Mineralogía para caracterización Minerales por Qemscan.

- Aprox. 1000 g de muestra, (seca), de tamaño correspondiente al P80 de proceso.
- Este análisis fue de cabeza y relaves.
- Las muestras no deben ser pulverizadas.



Figura 14: Equipo de Qemscan. Fuente: Advanced Mineralogy Facilities (2021)

3.5.1.2 Mineralogía para caracterización microscópica óptica y electrónica.

- Muestras de rocas de tamaño aproximado de 10 cm, (“puño de mano”).
- Deberá asegurar que cada muestra sea representativa del yacimiento.
- Con cada trozo de roca, se preparará la muestra para generar lámina delgada pulida.

Preparación de muestras

Recepción, inventario y secado de muestras a una temperatura controlada de 60°C hasta mantener un peso constante confirmado en secado total.

Fabricación de lámina delgada pulida, para evaluación por microscopía óptica de luz transmitida.



Figura 15: Secciones analizadas por el microscopio electrónico de barrido (Izq.). Secciones delgadas pulidas (Der.)

3.5.1.3 Preparación de muestras para análisis por difracción de rayos X de polvo

Se disgrega la muestra previamente seca en forma natural o en horno a baja temperatura (menor de 50 °C). Se toman aproximadamente 100 g de muestra y se homogeneizan, luego se extraen alrededor de 5 g y se muelen hasta obtener una fracción menor de 50 μm . Se tamiza en malla 325 y se coloca en probeta para su análisis.

3.5.1.4. Preparación Mecánica de las Muestras para Flotación

Todas las muestras fueron recibidas en condiciones de masa y granulometría adecuadas para las diversas pruebas. Se hizo una verificación de humedad de todas las muestras, encontrando un valor de humedad alrededor de 0.9 %. También se verificó, que la granulometría cumpliera con el tamaño requerido para las pruebas.

Para las pruebas de flotación, las muestras fueron fraccionadas con el divisor rotatorio, (Figura 30), para disponer de cargas individuales de 1 Kg (100% malla #10).



Figura 16: Divisor Rotatorio

Determinación de tiempo y condiciones de molienda

Se utilizaron tres cargas de 01 kg de mineral de +/- 1,000 g a 100% - 10# ASTM, de cada una de las 100 muestras, para la determinación de la curva cinética de molienda. Con ello se determina el tiempo adecuado de molienda en molino de laboratorio para lograr el tamaño P80 que se definió para la Flotación de Minerales.

Condiciones de Molienda, en actual proceso:

- Molino: De bolas de acero inoxidable
- Dimensiones: 8.8" X 6.5" (L x D)
- Carga bolas: 100 % de bolas de 1 pulg
- Alimentación mineral: +/- 1000 g a 100% menos 10# ASTM
- Velocidad Molino: 70 RPM
- % Sólidos (Molienda): 65%
- Agua: 536 ml de agua potable

Con estas condiciones se determinan las curvas cinéticas de molienda de las muestras. También se procede con una molienda adicional para comprobar la obtención del P80 requerido; esto basado en la Curva

Cinética de Molienda obtenida.

Durante la ejecución de las pruebas, se efectuaron variaciones en la dosificación de reactivo espumante F-501; con el objetivo de obtener las mejores condiciones de espumas, recuperación y ley de concentrado. En aplicación de procedimiento de QA/QC, se repitió la Flotación en el 10 % de las muestras procesadas. Se observa repetitividad aceptable en muestras flotadas en duplicado.

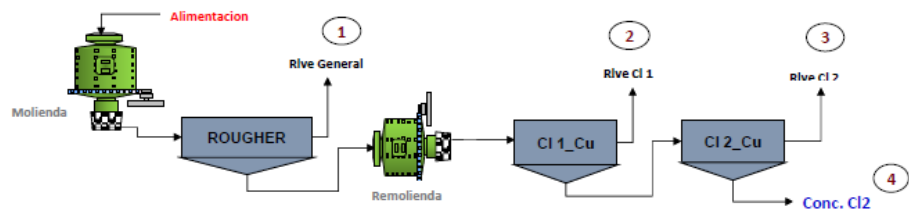


Figura 17: Esquema de proceso de Flotación Cinética Rougher

Para cada una de las muestras, se determinan los valores de Recuperación Metálica y Leyes de los concentrados finales obtenidos. Es importante destacar que en el balance de materiales se contrasta los valores de ley de “Cabeza Calculada” y “Cabeza Ensayada”. La semejanza de estos dos valores es indicación de evaluación adecuada de la prueba.

3.5.2 Método de análisis de datos

- Para el análisis de la información obtenida se necesita emplear estadística como:
 - La Distribución de frecuencias
 - La Media aritmética
- La comprobación de la hipótesis se efectuaron mediante una prueba de medias.
- La discusión de los resultados se hizo mediante la confrontación de los mismos con las conclusiones de las tesis citadas en los antecedentes y con los planteamientos del marco teórico.
- Las conclusiones se expresan teniendo en presente los objetivos planteados y los resultados obtenidos.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El propósito de la investigación fue analizar la relación de la caracterización de las especies mineralógicas, el grado de liberación, tamaño de grano y asociaciones por análisis (Microscopía óptica, microscópica, Qemscan) e Interpretar y analizar los resultados de caracterización mineralógica que influyen en la flotación de pórfidos de cobre y determinar las concentraciones críticas que provocan problemas de recuperación.

4.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados

4.1.1 Modelo de Análisis

Se obtuvieron 35 muestras de sondajes diamantinos con diferente litología para realizar los diferentes análisis. Las muestras se trabajaron de la siguiente forma:

15 kg. para pruebas metalúrgicas de las cuales se seleccionó 1kg para análisis de Qemscan, análisis de relaves y también se seleccionó una muestra para análisis de microscopía óptica.

Se realizó la caracterización mineralógica siendo utilizados las siguientes técnicas como son: la microscopía (Electrónica – óptica), la difracción de rayos X y Qemscan. Bajo estas técnicas se realizaron análisis de comportamiento mineralúrgico de las partículas minerales y como identificadores del tipo de intercrecimiento mineral.

4.1.1.1 Análisis de la Caracterización Química

Las muestras minerales que se procesaron, provienen de diversas zonas espaciales. Corresponden a muestras obtenidas por perforación diamantina, que fueron clasificadas y procesadas para reducción de tamaño.

De cada una de las 35 muestras se tomó una fracción de mineral representativa, (debidamente homogeneizada y cuarteada, en el divisor rotatorio) para efectuar el Análisis Químico. Se verifica la homogeneidad de cuarteo con envío de muestras duplicadas. A cada una de las muestras se analizaron los siguientes elementos: Cu, Fe, Mo, Ag; Au; Cobre Secuencial, Cobre soluble en ácido cítrico, Azufre Total, Insolubles.

La evaluación de Análisis Químico por Cobre Secuencial, comprende la medición de Cobre Soluble en Ácido Sulfúrico; Cobre Soluble en Cianuro de Sodio; Cobre Residual. Se basa en que la solubilidad de las especies de cobre se produce como se describe en el cuadro 10:

Esta medición corresponde a una aproximación de identificación mineralógica de las especies minerales de cobre. Para la flotación, sirven de guía muy referencial para prever niveles de recuperación, ya que permite identificar a priori la presencia de cobre oxidado, sulfuros secundarios y sulfuros primarios. Las muestras fueron evaluadas por tipo de roca, esto con la finalidad de poder identificar indicios de efectos de la caracterización química sobre la recuperación metalúrgica.

En la revisión de los resultados, considerando el promedio simple se resalta el contenido de hierro y azufre en las rocas identificadas como Endoskarn y Skarn; los contenidos son elevados, esto en referencia a las otras rocas que presentan contenidos promedios en hierro menor a 3 % y azufre menor a 1 %; esta apreciación podría ser relevante para definir el comportamiento metalúrgico del yacimiento. En el cuadro 9, Caracterización química se detallan los valores individuales obtenidos de la caracterización química de las muestras.

Cuadro 9: Resumen de análisis químico

ITEM	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA	Cu %	Fe %	Ag g/t	Au g/t	S_Tot al %	Cu_Ox %	Cu_SS %		Cu_CN %		Cu_R %		ROCA
1	200837001	0.66	2.55	1.52	0.15	0.47	0.05	0.05	7%	0.24	37%	0.35	55%	Diorita
2	200837004	0.67	2.60	1.18	0.05	0.44	0.07	0.07	11%	0.32	50%	0.25	39%	Diorita
3	200839003	0.42	2.53	1.39	0.06	0.57	0.02	0.02	4%	0.06	14%	0.35	82%	Diorita
4	200840006	0.51	3.37	1.06	0.02	0.71	0.03	0.03	6%	0.10	22%	0.35	72%	Diorita
5	200841003	0.39	2.75	0.68	0.04	0.26	0.04	0.03	7%	0.17	47%	0.17	46%	Diorita
6	200841005	1.04	2.69	2.52	0.06	1.20	0.06	0.05	5%	0.21	21%	0.72	74%	Diorita
7	200843002	0.63	2.58	1.63	0.04	0.49	0.05	0.05	9%	0.17	28%	0.37	63%	Diorita
8	200844006	0.75	2.84	1.22	0.10	0.76	0.04	0.04	6%	0.16	23%	0.50	71%	Diorita
9	200845007	0.54	3.38	2.26	0.09	0.98	0.03	0.03	6%	0.13	24%	0.36	69%	Diorita
10	200845005	0.13	3.85	0.33	0.01	0.23	0.06	0.03	23%	0.03	23%	0.07	54%	Diorita
11	200835001	0.17	1.37	0.30	0.01	0.16	0.02	0.01	6%	0.03	20%	0.12	74%	Diorita
12	200836005	0.16	1.76	0.17	0.01	0.27	0.01	0.00	3%	0.01	6%	0.15	91%	Diorita
13	200836006	0.33	3.31	1.64	0.03	0.35	0.01	0.01	3%	0.02	7%	0.28	90%	Diorita
14	200838004	0.15	3.14	0.56	0.01	0.24	0.01	0.00	2%	0.01	6%	0.14	92%	Diorita
15	200843005	0.24	2.50	0.66	0.02	0.29	0.01	0.01	5%	0.03	12%	0.19	82%	Diorita
		0.45	2.75	1.14	0.05	0.49	0.03	0.03	7%	0.11	23%	0.29	70%	Diorita
16	200835003	0.82	6.46	3.57	0.03	1.07	0.05	0.09	11%	0.66	83%	0.05	6%	Endoskarn/Skarn
17	200836001	0.17	6.40	0.15	<0.005	0.46	0.00	0.00	2%	0.01	6%	0.15	93%	Endoskarn/Skarn
18	200837002	0.21	13.91	0.46	<0.005	6.31	0.00	0.01	4%	0.02	10%	0.17	86%	Endoskarn/Skarn
19	200850002	0.45	16.11	0.75	<0.011	0.66	0.02	0.02	4%	0.16	36%	0.25	59%	Skarn
20	200838002	0.16	3.78	0.22	<0.005	0.36	0.02	0.02	15%	0.06	40%	0.07	45%	Endoskarn/Skarn
		0.36	9.33	1.03	0.01	1.77	0.02	0.03	7%	0.18	35%	0.14	58%	Endoskarn/Skarn
21	200848003	0.66	2.18	3.25	<0.009	0.85	0.04	0.02	4%	0.17	27%	0.43	69%	Porfido
22	200837007	0.23	2.44	0.56	<0.039	0.15	0.04	0.03	13%	0.14	59%	0.07	28%	Porfido
23	200843007	0.57	2.84	1.21	<0.147	0.46	0.05	0.04	7%	0.17	32%	0.32	60%	Porfido
24	200847007	0.31	1.05	0.78	<0.163	0.16	0.04	0.02	6%	0.24	79%	0.05	15%	Porfido
25	200847002	0.14	1.72	0.26	<0.011	0.13	0.05	0.03	25%	0.04	26%	0.07	49%	Porfido
26	200849002	0.20	2.03	0.52	<0.010	0.42	0.01	0.01	3%	0.01	7%	0.18	91%	Porfido
27	200836002	0.22	2.50	0.48	<0.015	0.14	0.03	0.03	13%	0.13	58%	0.07	29%	Porfido
28	200838003	0.16	2.77	0.99	<0.025	0.97	0.01	0.00	2%	0.02	10%	0.13	88%	Porfido
29	200840003	0.28	3.72	1.68	<0.028	2.10	0.01	0.01	2%	0.03	10%	0.23	88%	Porfido
30	200842004	0.29	2.90	0.82	<0.037	0.23	0.03	0.02	8%	0.11	40%	0.14	52%	Porfido
31	200846007	0.19	3.07	0.39	<0.040	0.42	0.02	0.01	7%	0.06	29%	0.12	63%	Porfido
32	200848006	0.28	2.92	0.59	0.05	0.15	0.04	0.03	10%	0.19	69%	0.06	21%	Porfido
		0.29	2.51	0.96	0.05	0.52	0.03	0.02	8%	0.11	37%	0.15	54%	Porfido
33	200845003	1.37	3.08	3.61	<0.254	1.29	0.05	0.03	2%	0.24	19%	1.04	79%	Stock work
34	200847004	0.12	2.22	0.26	<0.018	1.14	0.00	0.00	2%	0.01	8%	0.11	91%	Stock work
35	200850001	0.28	1.44	0.29	<0.009	0.34	0.02	0.01	3%	0.02	7%	0.24	91%	Stock work
		0.59	2.25	1.38	0.09	0.92	0.02	0.01	2%	0.09	11%	0.46	87%	Stock work

El promedio de la ley de cobre es de 0.40% (cuadro 14), el hierro es 3.56%, la plata es 1.08g/t, el oro está en 0.05 g/t y el azufre en 0.72% (cuadro 10).

Cuadro 10: Promedio de ley de cobre, hierro, plata, oro y azufre total

N°	Identificación	Cu	Fe	Ag	Au	S_Total
	Muestras	%	%	g/t	g/t	%
	Promedio	0.40	3.56	1.08	0.05	0.72
	Max	1.37	16.11	3.61	0.25	6.31
	Min	0.12	1.05	0.15	0.01	0.13

En el histograma se puede observar que existen dos poblaciones, la primera de baja ley y la segunda de alta ley (Figura 18).

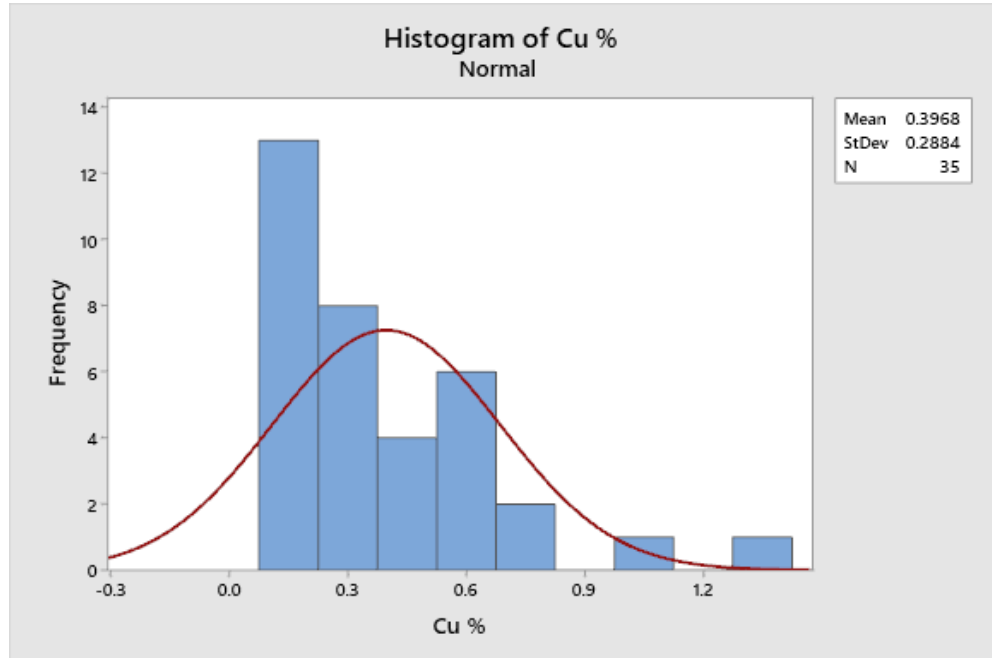


Figura 18: Histograma de ley de cobre (%)

El análisis de control de calidad se realizó entre Ley de cabeza calculada (esta ley se obtiene sumando los contenidos metálicos de los productos) VS Ley de análisis químico. Teniendo una correlación de 0.9991 (ver figura 19) lo cual permite establecer que los análisis fueron realizados de una forma correcta.

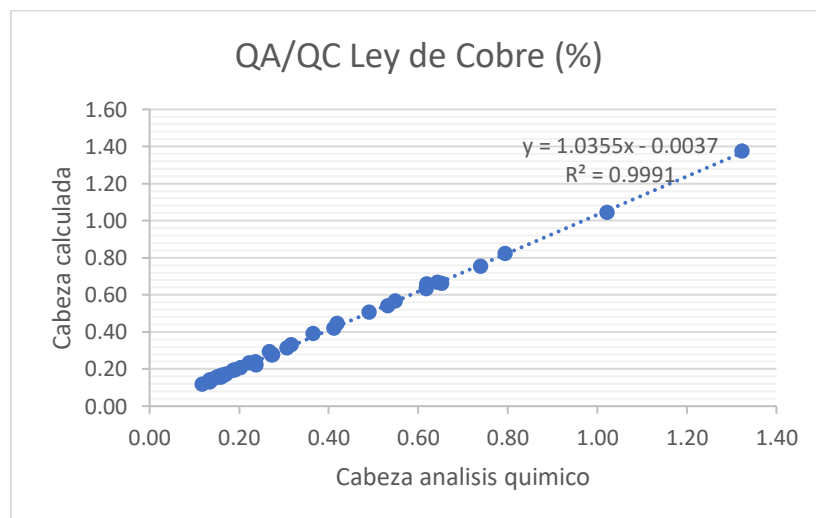


Figura 19: Ley de cabeza calculada vs Ley de cabeza con análisis químico.

El factor K es la razón de cobre soluble con respecto al cobre total de una muestra. Para obtener un cobre total, se realizan digestiones de agua regia inversa, de agua regia o de dos ácidos, entre otras. Se efectúan digestiones tanto de dos ácidos y de agua regia con combinaciones de HNO_3 y HCl . Después de que la digestión de la muestra se realiza, la solución se examina mediante espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP-AES), espectrometría de masas de plasma acoplados inductivamente (ICP-MS) o espectrometría de absorción atómica (AAS)(ver cuadro 11). En el histograma de la figura 20 observa una distribución normal de los datos siendo una media de 3.334.

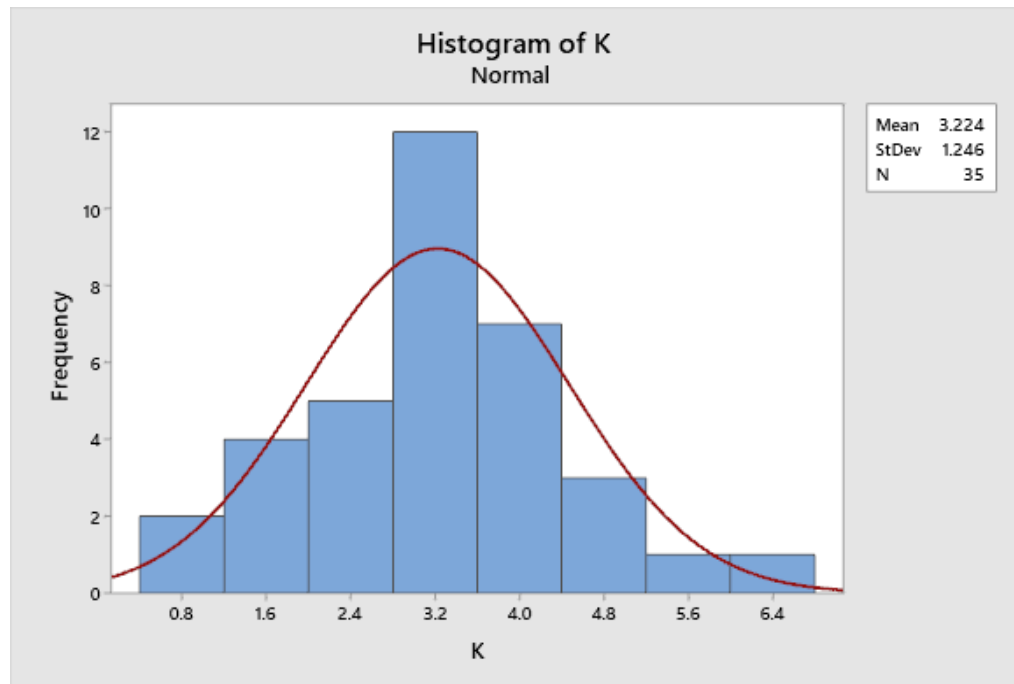


Figura 20: **Histograma de Factor K**

Cuadro 11: Factor K

ITEM	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA	Cu %	Cu_Ox %	Cu_SS %	Cu_CN %	Cu_R %	ROCA	K
1	200848003	0.66	0.04	0.02	0.17	0.43	Porfido	6.52
2	200837001	0.66	0.05	0.05	0.24	0.35	Diorita	3.62
3	200837004	0.67	0.07	0.07	0.32	0.25	Diorita	3.62
4	200837007	0.23	0.04	0.03	0.14	0.07	Porfido	4.53
5	200839003	0.42	0.02	0.02	0.06	0.35	Diorita	3.37
6	200840006	0.51	0.03	0.03	0.10	0.35	Diorita	2.84
7	200841003	0.39	0.04	0.03	0.17	0.17	Diorita	3.65
8	200841005	1.04	0.06	0.05	0.21	0.72	Diorita	3.74
9	200843002	0.63	0.05	0.05	0.17	0.37	Diorita	2.37
10	200843007	0.57	0.05	0.04	0.17	0.32	Porfido	2.76
11	200844006	0.75	0.04	0.04	0.16	0.50	Diorita	3.34
12	200845003	1.37	0.05	0.03	0.24	1.04	Stock work	1.85
13	200845007	0.54	0.03	0.03	0.13	0.36	Diorita	3.32
14	200847007	0.31	0.04	0.02	0.24	0.05	Porfido	4.11
15	200845005	0.13	0.06	0.03	0.03	0.07	Diorita	2.14
16	200847002	0.14	0.05	0.03	0.04	0.07	Porfido	3.44
17	200847004	0.12	0.00	0.00	0.01	0.11	Stock work	3.07
18	200849002	0.20	0.01	0.01	0.01	0.18	Porfido	2.90
19	200835001	0.17	0.02	0.01	0.03	0.12	Diorita	5.97
20	200836002	0.22	0.03	0.03	0.13	0.07	Porfido	2.99
21	200836005	0.16	0.01	0.00	0.01	0.15	Diorita	3.35
22	200836006	0.33	0.01	0.01	0.02	0.28	Diorita	2.89
23	200838002	0.16	0.02	0.02	0.06	0.07	Exoskarn clástico/Diorita	1.46
24	200838003	0.16	0.01	0.00	0.02	0.13	Porfido	1.98
25	200838004	0.15	0.01	0.00	0.01	0.14	Diorita	3.23
26	200840003	0.28	0.01	0.01	0.03	0.23	Porfido	2.44
27	200842004	0.29	0.03	0.02	0.11	0.14	Porfido	4.81
28	200843005	0.24	0.01	0.01	0.03	0.19	Diorita	2.28
29	200846007	0.19	0.02	0.01	0.06	0.12	Porfido	4.40
30	200848006	0.28	0.04	0.03	0.19	0.06	Porfido	4.28
31	200850001	0.28	0.02	0.01	0.02	0.24	Stock work	4.66
32	200850002	0.45	0.02	0.02	0.16	0.25	Skarn	3.47
33	200836001	0.17	0.00	0.00	0.01	0.15	Skarn/Endoskarn	1.15
34	200837002	0.21	0.00	0.01	0.02	0.17	Skarn/Endoskarn	0.70
35	200835003	0.82	0.05	0.09	0.66	0.05	Endoskarn/Skarn	1.62

4.1.1.2 Análisis de las Pruebas de Flotación Cinética Rougher

Las pruebas de flotación Cinética Rougher se orientaron a definir las curvas cinéticas de flotación de cada una de las 35 muestras y las recuperaciones metálicas correspondientes de los minerales de Cobre. Es decir, definir el tiempo adecuado para lograr la recuperación metálica en el proceso de flotación.

Para cada una de las pruebas de Flotación Cinética Rougher, se utilizaron las condiciones establecidas en el Cuadro 12.

Cuadro 12: Condiciones para Pruebas Cinéticas Rougher

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA	Molienda, Segundos	P80, μm	pH muestra	Cal kg/t	pH Flotación	AP-8761 g/t	AP-404 g/t	PAX g/t	F-501 g/t
200848003	609	230	8.35	0.15	9.20	8	6	25	40
200837001	497	240	8.41	0.06	9.20	8	6	25	20
200837004	494	240	8.40	0.23	9.20	8	6	25	20
200837007	573	240	8.36	0.12	9.20	8	6	25	20
200839003	523	240	8.39	0.28	9.20	8	6	25	25
200840006	537	240	8.52	0.15	9.20	8	6	25	25
200841003	473	240	8.07	0.27	9.20	8	6	25	35
200841005	393	240	8.34	0.12	9.20	8	6	42	20
200843002	456	240	8.39	0.16	9.20	8	6	25	35
200843007	431	240	8.24	0.23	9.20	8	6	25	20
200844006	475	240	8.26	0.31	9.20	8	6	29	35
200845003	345	240	8.47	0.18	9.20	8	6	54	30
200845007	643	240	8.22	0.19	9.20	8	6	25	20
200847007	423	230	8.25	0.24	9.20	8	6	25	25
200845005	501	240	8.27	0.25	9.20	8	6	25	30
200847002	760	230	8.32	0.21	9.20	8	6	25	30
200847004	676	230	8.14	0.29	9.20	8	6	25	30
200849002	665	230	8.01	0.23	9.20	8	6	25	30
200835001	448	240	8.46	0.08	9.20	8	6	25	20
200836002	629	240	8.13	0.29	9.20	8	6	25	20
200836005	444	240	8.73	0.16	9.20	8	6	25	25
200836006	458	240	8.77	0.15	9.20	8	6	25	30
200838002	433	240	8.44	0.17	9.20	8	6	25	25
200838003	270	240	7.72	0.15	9.20	8	6	25	20
200838004	531	240	8.12	0.16	9.20	8	6	25	25
200840003	305	240	8.23	0.34	9.20	8	6	25	20
200842004	565	240	8.18	0.29	9.20	8	6	25	30
200843005	390	240	8.38	0.27	9.20	8	6	25	25
200846007	601	230	8.34	0.28	9.20	8	6	25	30
200848006	678	230	8.32	0.25	9.20	8	6	25	30
200850001	775	230	8.19	0.25	9.20	8	6	25	30
200850002	230	230	8.18	0.33	9.20	8	6	25	30
200836001	332	240	8.57	0.24	9.20	8	6	25	20
200837002	203	240	8.55	0.19	9.20	8	6	25	20
200835003	342	240	8.55	0.24	9.20	8	6	29	20

Las pruebas se realizaron a un tiempo de 16 minutos de flotación, considerando como tiempos de medición: 1', 2', 4', 8', 10', 16'.

Durante el desarrollo de las pruebas, se observaron diferentes respuestas metalúrgicas; es así que se tomó nota de condiciones que podrían ser asociadas al comportamiento metalúrgico de cada muestra y que dificulta la recuperación de los minerales de cobre.

Las observaciones anotadas se asocian a lo siguiente:

- Asociación con minerales de hierro; Es uno de los problemas principales de las muestras en estudio. La gran mayoría de las muestras registran bajo contenido de hierro con valores menores a 3 %; las especies presentes mayormente son minerales de óxido de hierro, posiblemente magnetita y en menor presencia sulfuros de hierro (pirita). Al parecer parte de estos minerales se encuentran formando asociaciones con las especies de cobre, lo que estaría condicionando la recuperación y calidad del concentrado de cobre.
- Contenido de arcillas; Es otro factor a considerar, se ha observado contenido de arcillas en un gran número de muestras, afectando la flotabilidad de los minerales de cobre, el cual, requiere mayor tiempo de flotación para mejorar la recuperación, asimismo el desplazamiento de las arcillas presenta problemas importantes de dilución del concentrado.
- Asociación con la ganga; con la ayuda de un estereoscopio, se ha observado en muestras de relaves de flotación, partículas de cobre asociadas a la ganga. La falta de liberación de estas partículas de cobre, evitan que se logre una mayor recuperación.
- Contenido de óxido de cobre; por naturaleza, los minerales de óxido de cobre no flotan, por tal razón, la recuperación de los minerales de cobre en algunas muestras estaría limitada.
- Mayor consumo de espumante; En un gran número de muestras, se ha incrementado la adición del reactivo espumante para conseguir una adecuada formación de espumas en la flotación de los minerales de cobre. La variación de consumo de este reactivo se muestra a continuación:

4.1.1.3 Análisis de las Pruebas de Flotación de Limpieza

Las pruebas de Flotación de Limpiezas, realizadas en esquema de circuito abierto, (TCA); se realizaron para identificar la calidad de los concentrados de las 35 muestras, que se obtienen con tres etapas de limpieza.

Para cada una de las pruebas de Flotación Cleaner, se utilizaron las condiciones que se indican en el Cuadro 16 y se procedió según el esquema que se describe en la Figura 21. Es importante recalcar que se trata de evaluaciones de Limpieza en Circuito Abierto, lo que implica que los relaves de cada una de las tres etapas, no retorna al proceso de limpieza.⁴

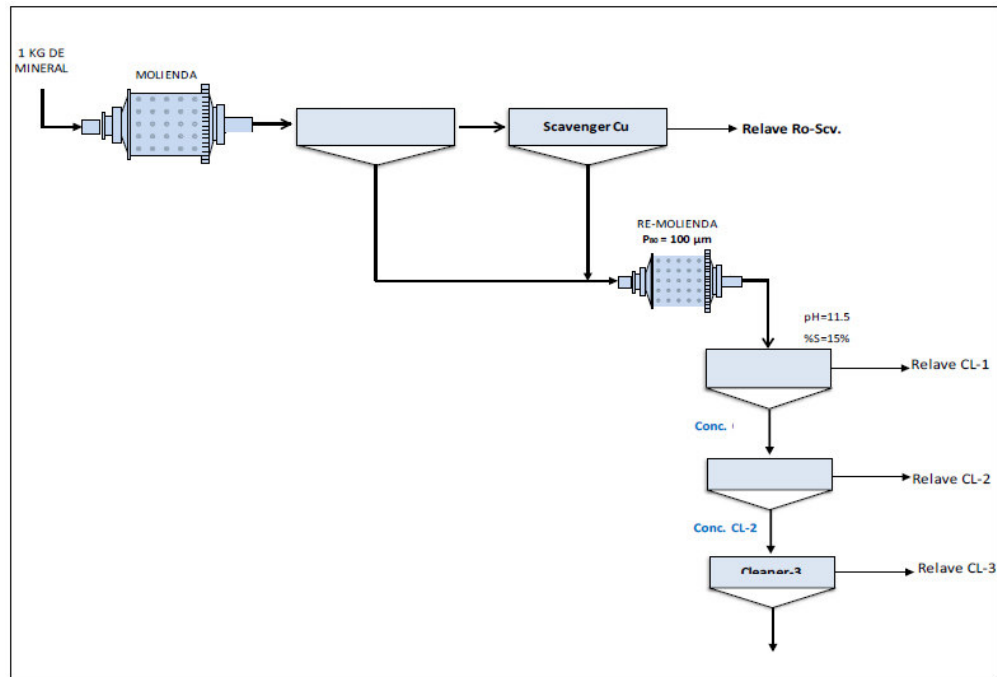


Figura 21: Esquema de proceso para Pruebas de Flotación Cleaner (TCA)

Los concentrados obtenidos en la tercera limpieza, fueron analizados por; cobre, hierro.

Durante el desarrollo de las pruebas, se observaron diferentes respuestas metalúrgicas y se anotaron los posibles factores que condicionan la calidad del concentrado.

La calidad de los concentrados, ha sido afectada principalmente por las posibles asociaciones de las menas de cobre con los minerales de hierro y otras gangas. En menor frecuencia la calidad de los concentrados ha sido afectada por el contenido de arcillas, que causan problemas de dilución de concentrados.

En las Pruebas de Flotación de Limpieza; se registraron un gran número de muestras, donde solo se emplearía una etapa de limpieza para obtener concentrado final, con ley de cobre alrededor de 30 %. Sin embargo, también se registraron muestras que van a requerir necesariamente de tres etapas de limpiezas para obtener valores alrededor de 30% de cobre.

Del conjunto de muestras evaluadas, existen alrededor de 11 muestras, que posiblemente presenten asociaciones muy complejas, entre los minerales de cobre y los minerales de hierro, que no permiten obtener un concentrado final superior a 20 % de ley de cobre.

- En las gráficas inferiores, se observa Relaciones de presencia de cobre secundario, (soluble en cianuro), en el mineral de cabeza, vs. los contenidos de cobre y de hierro en los concentrados obtenidos.

En las figuras 22 y 23 muestras en la que se supera el 30% de Cu, en el concentrado final, se explica por la presencia de mayor cantidad de Cu secundario en la muestra de cabeza; a su vez, el contenido de hierro en estos concentrados es bajo; lo que contribuye para alcanzar más alto grado de Cu.

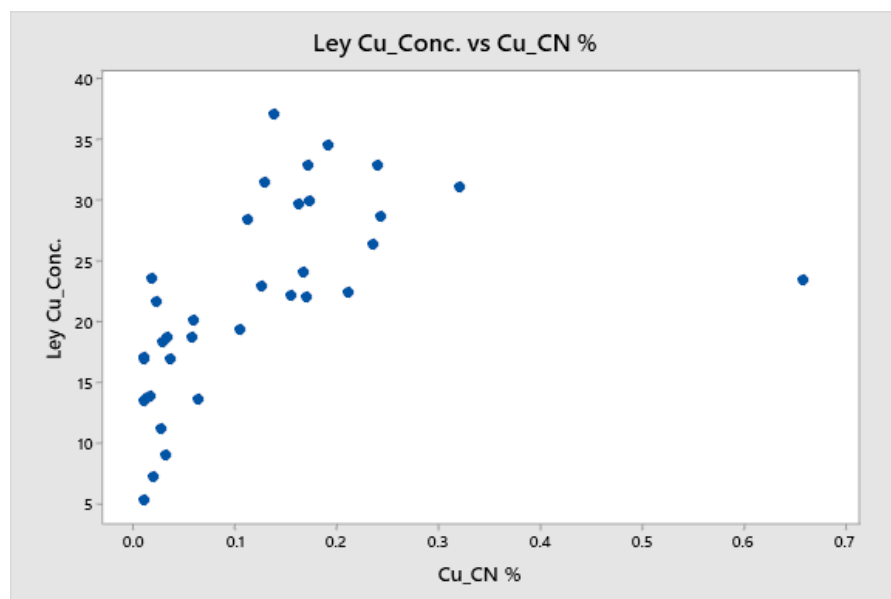


Figura 22: Ley cobre Concentrado VS Cu CN %

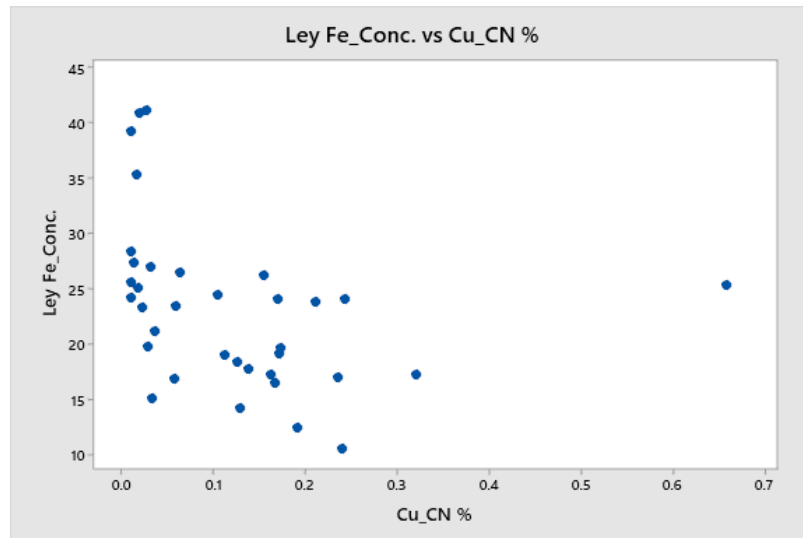


Figura 23: Ley hierro Concentrado VS Cu CN %

- Otro factor muy importante en las características del concentrado, es la presencia de arcillas. Por lo general los contenidos de estas oscilan entre cada muestra. En la gran mayoría se denota que a menor contenido de arcillas en la cabeza mayor probabilidad de obtener leyes superiores a 30 % de Cu; y esto se torna más notorio cuando hay presencia de Montmorillonita.

En la Etapa de limpieza, para minimizar la presencia de las arcillas, se trabajó a un % de sólidos de 15% y un paleteo de 15 paletes/min.

- Con respecto al factor “Mass Pull” obtenido, la flotación en laboratorio se realiza bajo un paleteo estándar, de 21 paletes/min. Esta operación es constante para toda muestra con lo que se busca extraer toda especie mineralizada tratando de no ser muy selectiva; sin embargo, en las etapas de limpieza se pone énfasis en ser selectivos.

A continuación, se describe algunos factores que pueden influir en el “Mass Pull”:

- Si el contenido de hierro en la cabeza es alto, con respecto al cobre, existe la posibilidad de que la pirita flote de forma natural o por asociación a minerales de cobre; esto se denota en las muestras que tienen leyes inferiores a 30 % donde la ley de hierro supera más del 20%.
- La presencia de carbonatos influye en la estabilidad de las espumas y genera un mayor consumo de espumante. Durante las flotaciones se observó que

cuando hay presencia de carbonatos las espumas se agotan en los 5 min iniciales; luego, en estos casos, se observó al estereoscopio que parte del cobre (primario y/o secundario) quedaba en el relave, con la consecuente recuperación baja. Es por tal motivo que la dosis de espumante se trabajó alrededor de 20 a 25 g/t para mantener la estabilidad de las espumas y permitir la flotabilidad de las especies de Cu.

- Cabe mencionar que los minerales de cobre secundarios presentan una cinética de flotación más lenta por lo que se requiere tener un colchón de espumas estable para su extracción.
- La dosis de colector Z-11, se acondicionó de acuerdo a los contenidos de Cu en la cabeza (ver cuadro 15); ello contribuye en la recuperación de Cu, pero también contribuye a la flotabilidad natural de las arcillas y de la pirita; esto se torna más difícil aún cuando existe la presencia de montmorillonita que tienen la propiedad de expandirse generando afectando negativamente a la flotación.

Cuadro 13: Rango de cobre –colector Z-11

Rango Cu	g/t
0.6 - 0.7	25
0.7 - 0.8	29
0.8 - 0.9	33
0.9 - 1.0	38
1.0 - 1.1	42
1.1 - 1.2	46
1.2 - 1.3	50
1.3 - 1.4	54
1.4 - 1.5	58

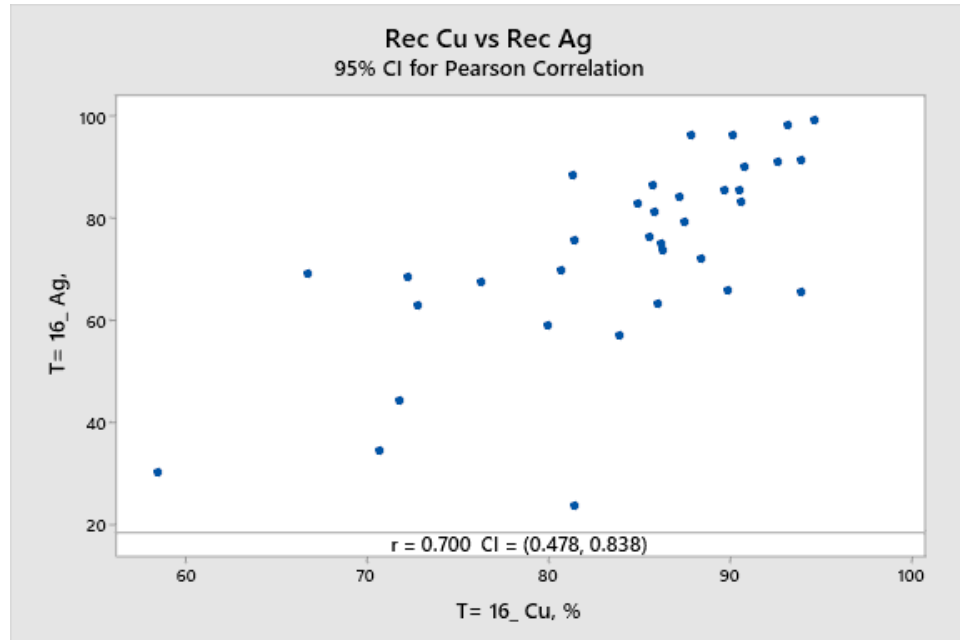
- Así, cada muestra manifiesta su respuesta metalúrgica a su propia condición Geológica – Mineralógica.

En el caso de la recuperación del oro y la plata esta tiene una correlación directa con la recuperación del cobre. La recuperación promedio de cobre fue 83.95, de la plata fue 73.57 g/t y el oro fue de 62.99 g/t.

Valor coeficiente	Fuerza de asociación
$0,1 < r < 0,3$	pequeña correlación
$0,3 < r < 0,5$	correlación media / moderada
$ r > .5$	correlación grande / fuerte

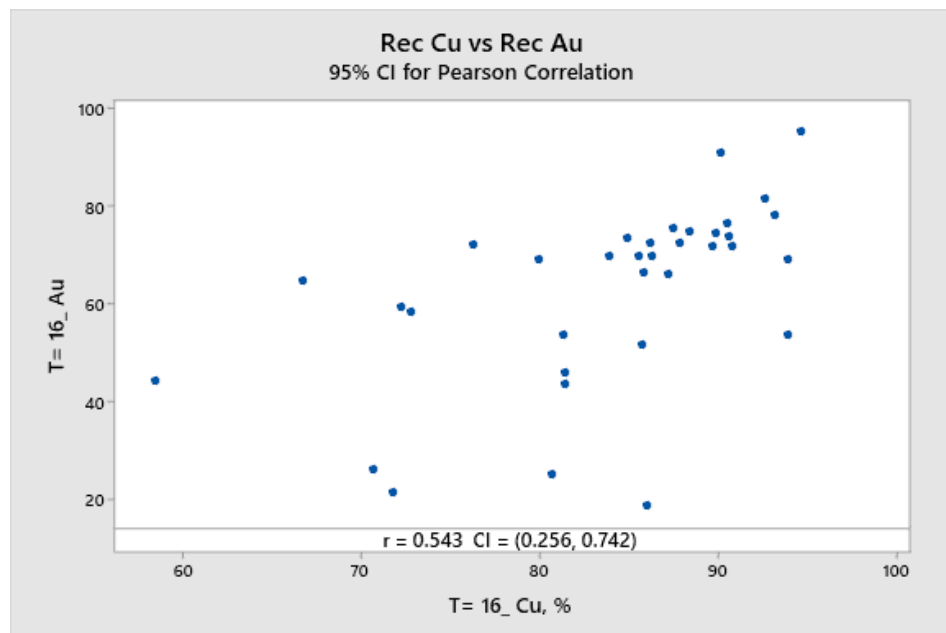
Pairwise Pearson Correlations

Sample 1	Sample 2	Correlation	95% CI for ρ	P-Value
Rec Ag, %	Rec Cu, %	0.700	(0.478, 0.838)	0.000



Pairwise Pearson Correlations

Sample 1	Sample 2	Correlation	95% CI for ρ	P-Value
Rec Au	Rec Cu, %	0.543	(0.256, 0.742)	0.001



A partir de los resultados obtenidos de la caracterización mineralógica se optimizó la recuperación de cobre cuya variación va desde 0.65 a 9.36% (Cuadro 14).

Cuadro 14: Pruebas de optimización

ITEM	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA	Cu %	R. Estandar Cu, (%)	R máximo Cu (%)	VAR %
1	200848003	0.66	92.59	93.32	0.72
2	200837001	0.66	86.25	89.59	3.34
3	200837004	0.67	86.15	89.42	3.27
4	200837007	0.23	93.19	95.96	2.77
5	200839003	0.42	85.75	88.40	2.65
6	200840006	0.51	81.27	84.70	3.44
7	200841003	0.39	90.82	93.08	2.26
8	200841005	1.04	87.46	90.39	2.93
9	200843002	0.63	87.23	91.80	4.57
10	200843007	0.57	90.61	94.59	3.99
11	200844006	0.75	84.88	87.63	2.75
12	200845003	1.37	90.48	96.12	5.64
13	200845007	0.54	85.84	88.59	2.75
14	200847007	0.31	94.68	97.38	2.70
15	200845005	0.13	58.35	59.00	0.65
16	200847002	0.14	72.77	74.22	1.45
17	200847004	0.12	88.38	91.50	3.12
18	200849002	0.20	89.83	93.49	3.66
19	200835001	0.17	81.40	82.68	1.28
20	200836002	0.22	79.94	83.01	3.07
21	200836005	0.16	83.85	86.60	2.75
22	200836006	0.33	81.40	84.50	3.10
23	200838002	0.16	66.62	71.94	5.32
24	200838003	0.16	85.56	90.83	5.27
25	200838004	0.15	80.68	83.34	2.65
26	200840003	0.28	93.89	98.66	4.77
27	200842004	0.29	89.66	91.37	1.71
28	200843005	0.24	76.20	78.24	2.04
29	200846007	0.19	87.81	89.35	1.54
30	200848006	0.28	90.11	91.99	1.88
31	200850001	0.28	93.90	96.09	2.18
32	200850002	0.45	85.96	87.16	1.21
33	200836001	0.17	71.76	78.13	6.38
34	200837002	0.21	70.66	80.01	9.36
35	200835003	0.82	72.15	77.84	5.68
		0.40	83.95	87.17	3.22

Para el análisis se realizaron cuatro grupos: <80; 81 a 85; 86 a 90; >90.

Análisis de Recuperaciones <80%

Se observa que las recuperaciones menores a 80%, la presencia de óxidos de cobre, arcillas como montmorillonita, y carbonatos (calcita principalmente y dolomita) y cloritas que afecta la recuperación de minerales de cobre. Las recuperaciones promedio fueron de 71.06% a 75.30%, teniendo una variación de 4.24%. (Ver cuadro 15)

Cuadro 15: Recuperación menores a 80%

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA	Cu %	Rec. Estándar Cu, (%)	Rec. máximo Cu (%)	VAR %
200845005	0.13	58.35	59.00	0.65
200847002	0.14	72.77	74.22	1.45
200836002	0.22	79.94	83.01	3.07
200838002	0.16	66.62	71.94	5.32
200843005	0.24	76.20	78.24	2.04
200836001	0.17	71.76	78.13	6.38
200837002	0.21	70.66	80.01	9.36
200835003	0.82	72.15	77.84	5.68

Análisis de Recuperaciones 80% a 85%

Las recuperaciones promedio fueron de 83.66% a 83.44%, teniendo una variación de 2.79% (ver cuadro 16). Para el caso de las recuperaciones bajas estas están relacionadas con dolomita, arcillas están en 9% y las cloritas en 4%.

Cuadro 16: Recuperación menores a 80% a 85%

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA	Cu %	Rec. Estándar Cu, (%)	Rec. máximo Cu (%)	VAR %
200839003	0.42	85.75	88.40	2.65
200840006	0.51	81.27	84.70	3.44
200844006	0.75	84.88	87.63	2.75
200845007	0.54	85.84	88.59	2.75
200835001	0.17	81.40	82.68	1.28
200836005	0.16	83.85	86.60	2.75
200836006	0.33	81.40	84.50	3.10
200838003	0.16	85.56	90.83	5.27
200838004	0.15	80.68	83.34	2.65
200850002	0.45	85.96	87.16	1.21

Análisis de Recuperaciones 86% a 90%

Las recuperaciones promedio fueron de 88.73% a 91.89%, teniendo una variación de 3.16% (ver cuadro 17). Se mejora la recuperación mediante la adición de colector secundario y glicol.

Como podemos ver en el cuadro de la muestra 200845003, aun existe mineral en el relave que podía ser recuperado pero este se encuentra en la fracción fina.

Cuadro 17: Grado de liberación en la muestra de relave 20845003

200845003		Size [µm]								Global
Mineral Mass [wt%]	Normalized Cu sulphides Liberation	>=2 40	>= 212 < 240 µm	>= 150 < 212 µm	>= 106 < 150 µm	>= 75 < 106 µm	>= 53 < 75 µm	>= 35 < 53 µm	<35	
	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	80.57	90.07	79.83	10.62
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.25	0.00	0.00	0.69
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.61	2.97	0.36
	Sub-Midds	0.00	0.00	21.23	0.00	0.00	0.00	0.00	14.32	3.14
	Locked	100	100	78.77	100	100	6.18	1.32	2.88	85.19
	Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

En el cuadro 18, podemos observar la recuperación optimizada.

Cuadro 18: Recuperación menores a 86% a 90%

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA	Cu %	Rec. Estándar Cu, (%)	Rec. máximo Cu (%)	VAR %
200837001	0.66	86.25	89.59	3.34
200837004	0.67	86.15	89.42	3.27
200841003	0.39	90.82	93.08	2.26
200841005	1.04	87.46	90.39	2.93
200843002	0.63	87.23	91.80	4.57
200843007	0.57	90.61	94.59	3.99
200845003	1.37	90.48	96.12	5.64
200847004	0.12	88.38	91.50	3.12
200849002	0.20	89.83	93.49	3.66
200842004	0.29	89.66	91.37	1.71
200846007	0.19	87.81	89.35	1.54
200848006	0.28	90.11	91.99	1.88

Análisis de Recuperaciones >91%

Las recuperaciones promedio fueron de 93.65% a 96.28%, teniendo una variación de 3.16% (ver cuadro 19).

Cuadro 19: Recuperación mayores a 91%

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA	Cu %	R. Estándar Cu, (%)	Rec. máximo Cu (%)	VAR %
200848003	0.66	92.59	93.32	0.72
200837007	0.23	93.19	95.96	2.77
200847007	0.31	94.68	97.38	2.70
200840003	0.28	93.89	98.66	4.77
200850001	0.28	93.90	96.09	2.18

Las pruebas de optimización (figura 38) a partir de los resultados de caracterización mineralógica, resultaron positivas 3.22%, es decir de 83.95% Rec Cu a 87.17%

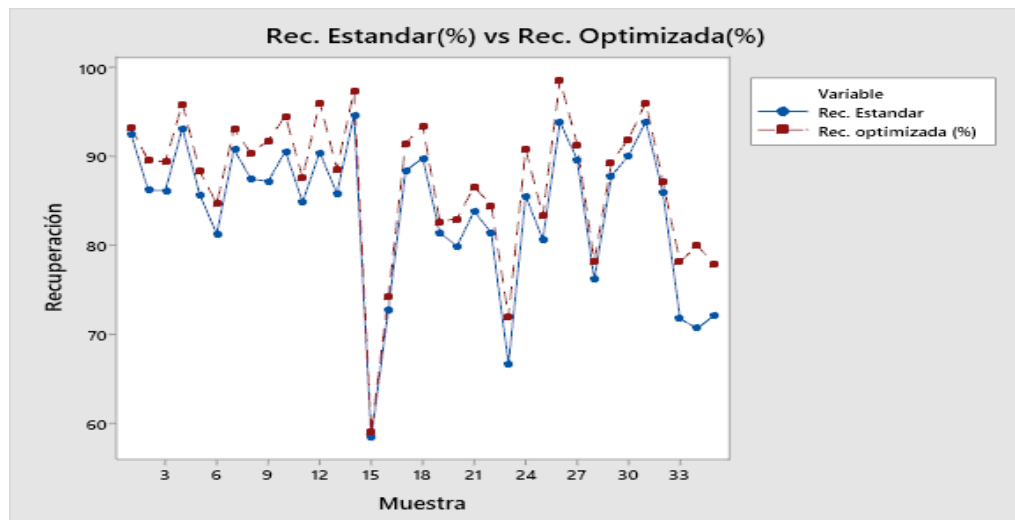


Figura 24: Rec. Estándar vs Rec. Optimizada

4.1.2 Interpretación de resultados

Se ha realizado la investigación donde se busca relacionar la caracterización mineral semicuantitativa con modelos predictivos. Las relaciones mineralógicas pueden influir en el proceso de flotación (Tungpalan, 2015), así como diferentes clasificaciones texturales están asociadas a los grados de liberación de un mineral,

caracterizado con las curvas de distribución (Lund, 2015, Evans, 2015) que finalmente afecta al proceso de conminución de minerales y flotación del fino (Hunt, 2001). Para el proceso de conminución, diferentes índices pueden ser modelados para describir la dureza y fragmentación de la roca (Alruiz, 2009), por ejemplo, el Índice de Bond para molinos de bolas (Tavares 2012, Tavares 2013), proceso previo a la flotación de minerales sulfurados. Conocer la geometalurgia asociada a diferentes minerales permite relacionar los procesos de flotación de manera más efectiva (Solomon 2011).

Durante los procesos que se llevan a cabo en cada etapa demanda una caracterización mineralógica diferente y específica. Desde saber que minerales componen la ganga y características de liberación de la mena en una etapa de diseño hasta la revisión de ley y recuperación mineral en los concentrados, en la etapa de producción se debe saber la calidad de los concentrados, las pérdidas de mineral, entre otras cosas. En el análisis mineralógico se deben tener en cuenta los daños ambientales por los minerales residuales.

Respecto a la influencia de los minerales que ingresan a la molienda, se concluye que, de los tectosilicatos, el de mayor disolución es la albita, liberando Na y Si, con efecto menor de clorita y biotita para generar hidróxidos. La alunita tiene efecto en el pH que puede ser relevante (deprime el pH), mientras que la calcita se satura naturalmente debido a la alta presencia de cal en el sistema. El apatito también es un mineral de interés, ya que prácticamente no se disuelve y por ende puede precipitar si se dan las condiciones necesarias. Pasando a los sulfuros, los que tienen mayores contenidos de hierro son los que poseen un mayor efecto en el Eh (desde un punto de vista interacción agua-roca).

La eficiencia de la flotación depende de varios parámetros, de los cuales los parámetros fisicoquímicos y mineralógicos pueden ser revisados (Álvarez, 2016). Respecto a ello, se deduce que la alimentación de las muestras presenta magnesio y aluminio como hidróxido y calcio como carbonato, pero la presencia de estas no tiene incidencia significativa en la recuperación y por ende esta estará sujeta a las variables fisicoquímicas. La flotabilidad de las partículas puede variar, aunque tengan la misma cantidad de mineral de interés, pero diferente distribución.

4.1.2.1 Evaluación de Resultados

Efecto en la recuperación por ley de Cu en Cabeza

Por litología se evalúa el efecto de la ley de cabeza sobre la recuperación de cobre; en todas las litologías se presentan un rango amplio en el contenido de cobre e independientemente de ello, la recuperación de cobre es muy variable; consecuentemente la ley de cabeza no tiene un efecto significativo en la recuperación de cobre, ver resultados en la figura 25.

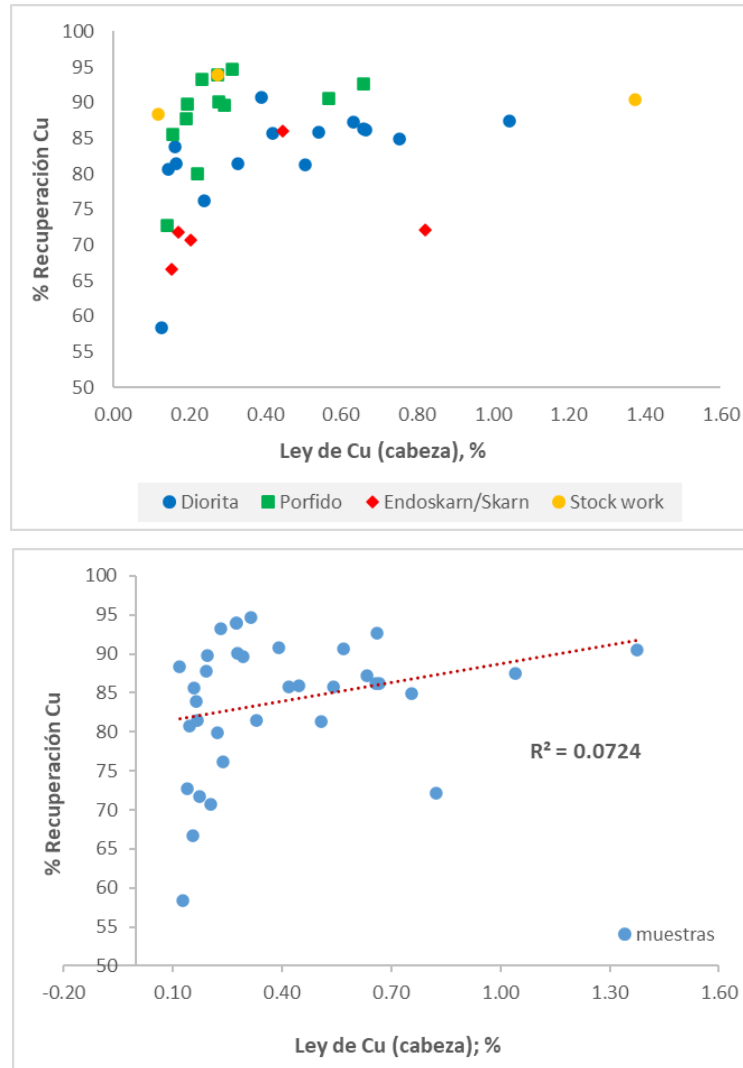


Figura 25: Efecto en la recuperación por ley de Cu en Cabeza

Efecto en la recuperación por Cu soluble en H_2SO_4

La figura 26 muestra la recuperación de cobre en función de la ley de cobre oxidado en la cabeza. En los resultados se aprecia cierta tendencia de que la recuperación disminuye con el incremento del cobre oxidado; sin embargo, esta tendencia se alinea

con contenidos de óxido de cobre mayores a 10%. En la sección con contenidos de óxido de cobre menor a 10% se observa alta dispersión que indicaría que no hay efecto significativo en la recuperación de cobre.

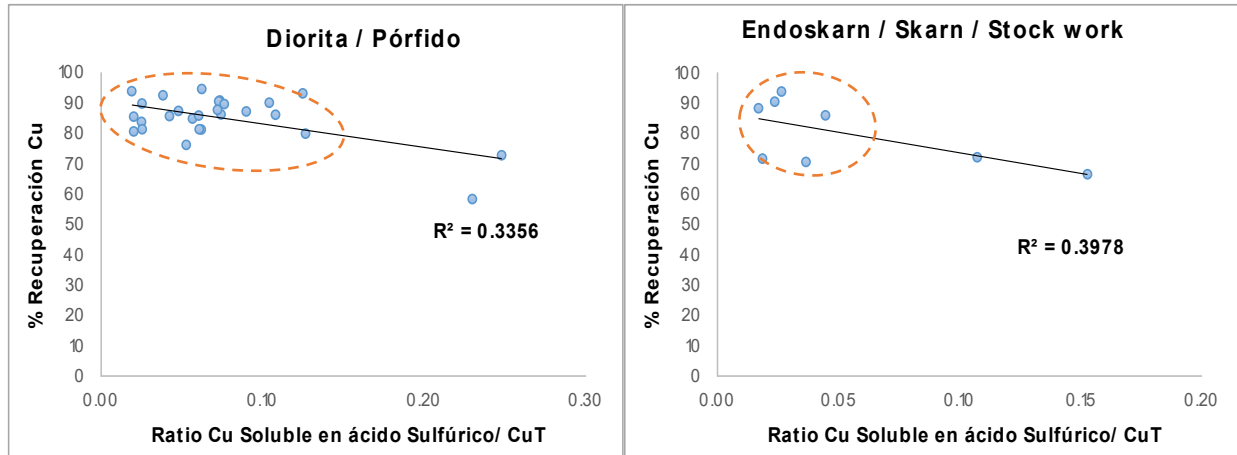


Figura 26: Efecto en la recuperación por Cu soluble en H_2SO_4

Efecto en la recuperación por ley de Fe en Cabeza

La figura 27 muestra la recuperación de Cu en función del contenido de hierro en la cabeza; en todas las litologías se observa baja o nula correlación; consecuentemente la ley de cabeza en hierro no tiene un efecto significativo en la recuperación de cobre.

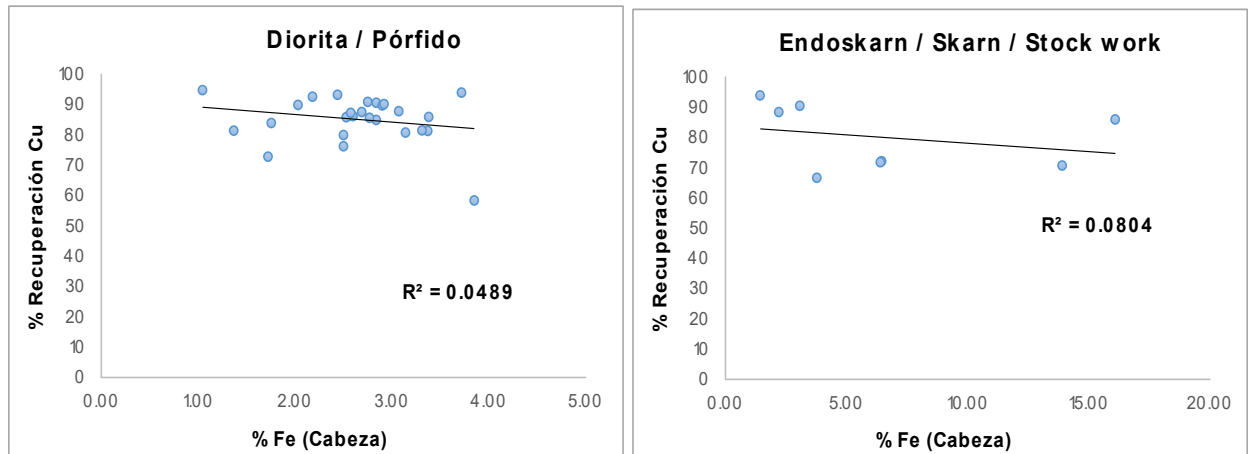


Figura 27: Efecto en la recuperación por ley de Fe en Cabeza

Efecto en la recuperación por ley de S en Cabeza

La figura 28 muestra la recuperación de Cu en función del contenido de azufre en la cabeza; en todas las litologías se observa baja o nula correlación; consecuentemente la ley de cabeza en azufre no tiene un efecto significativo en la recuperación de cobre.

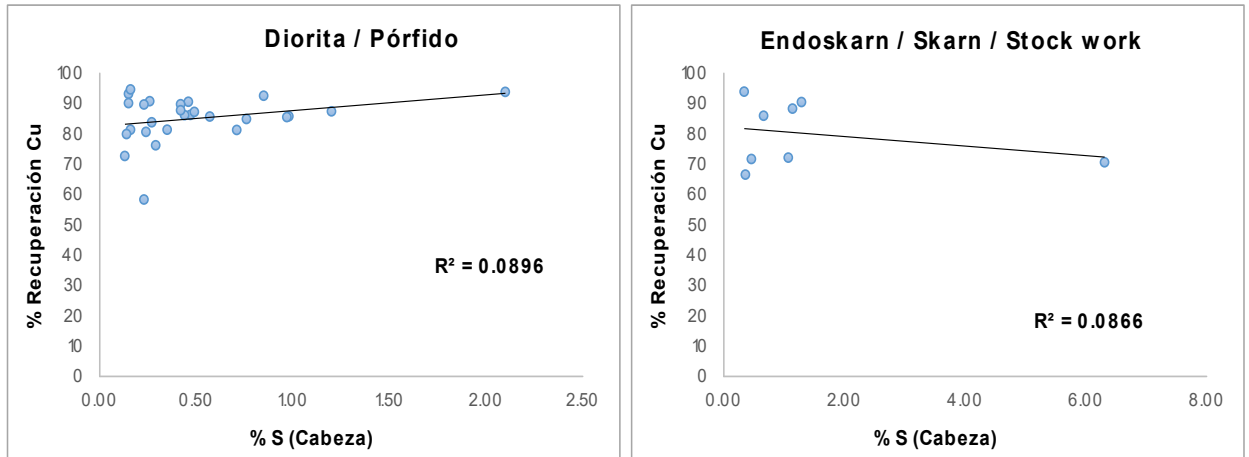


Figura 28: Efecto en la recuperación por ley de Fe en Cabeza

Efecto en la recuperación por contenido de carbonatos

La figura 29 muestra la recuperación de Cu en función del contenido total de minerales de carbonatos en la cabeza; en los resultados se aprecia cierta tendencia de que la recuperación disminuye con el incremento de los carbonatos; sin embargo, en el conjunto de datos se observa alta dispersión obteniendo una correlación baja.

Se filtró la información por litologías de Skarn y endoskarn (ver figura 30), y se obtuvo alta correlación entre la recuperación de cobre y el contenido de ankerita; consecuentemente se concluye que el contenido de ankerita tiene un efecto negativo sobre la recuperación. Para reforzar esta conclusión se sugiere profundizar el estudio en una mayor cantidad de muestras.

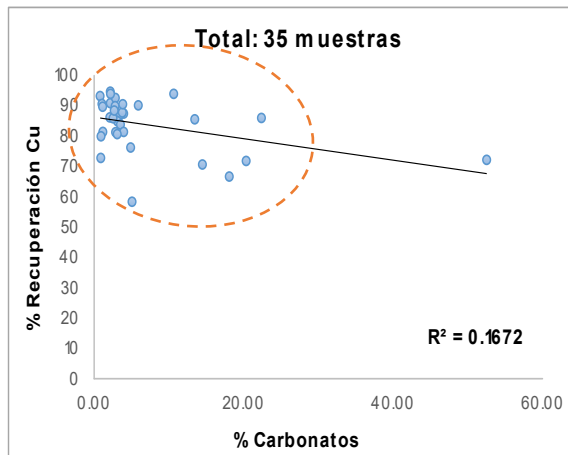


Figura 29: Efecto del contenido de carbonatos

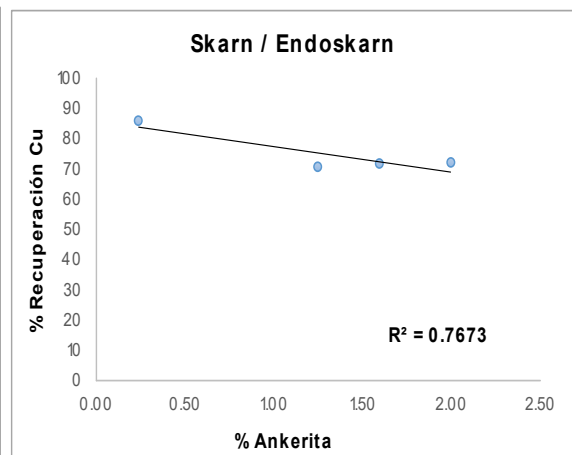


Figura 30: Efecto del contenido de Ankerita

Efecto en la recuperación por contenido de Arcillas

En la figura 31 se aprecia alta dispersión de la recuperación por efecto de las arcillas; sin embargo, se evidencia algunas muestras que se alinean por posible efecto de las

arcillas. Se sugiere análisis de DRX con énfasis en arcillas para determinar los tipos de arcillas presentes.

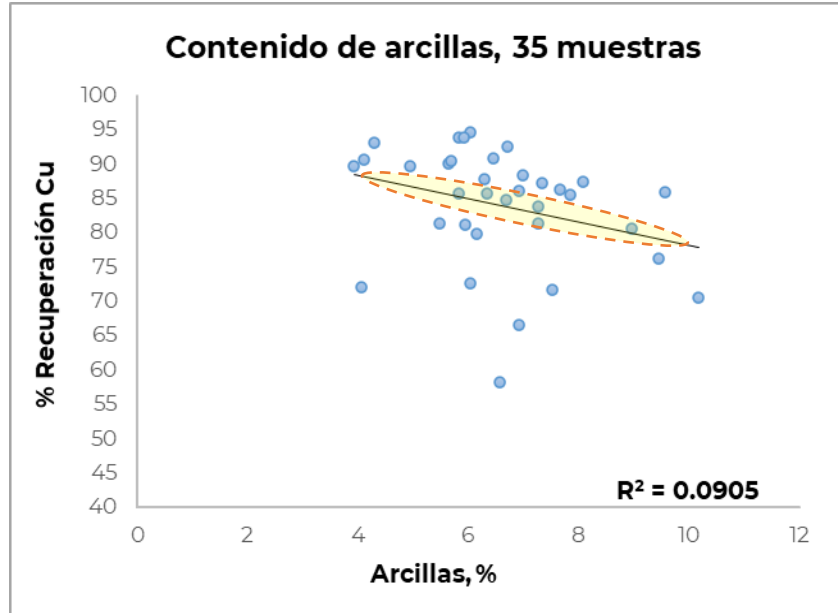


Figura 33: Efecto del contenido de Arcillas

Efecto en la recuperación por grado de liberación mineral

Se evaluó por litología y los resultados indican que el mineral de diorita y stock work no presentan limitaciones por efecto del grado de liberación. Ver figuras 32 y 33.

En la figura 32 se muestra la evaluación realizada en los minerales de los pórfidos, se evidencia cierta dependencia de la recuperación de cobre por efecto del grado de liberación.

En la figura 33 se muestra la evaluación realizada en los minerales de las litologías de skarn y endoskarn; en esta zona se evidencia que la recuperación de cobre está gobernada principalmente por el grado de liberación mineral, se alcanzó una correlación alta con un R cuadrado de 0,9816. Para reforzar esta conclusión se sugiere profundizar el estudio considerando un mayor número de muestras.

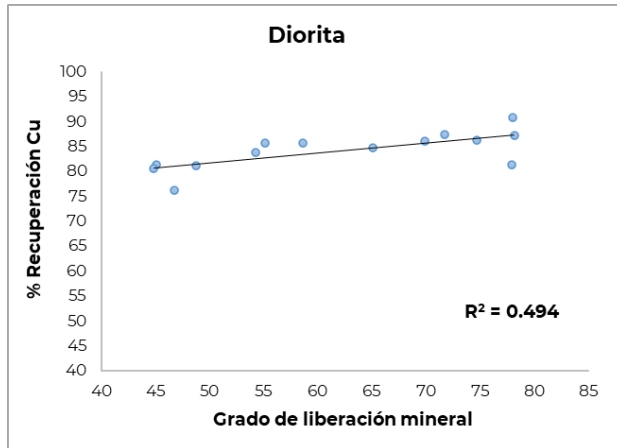


Figura 32: Liberación mineral vs % R, en diorita

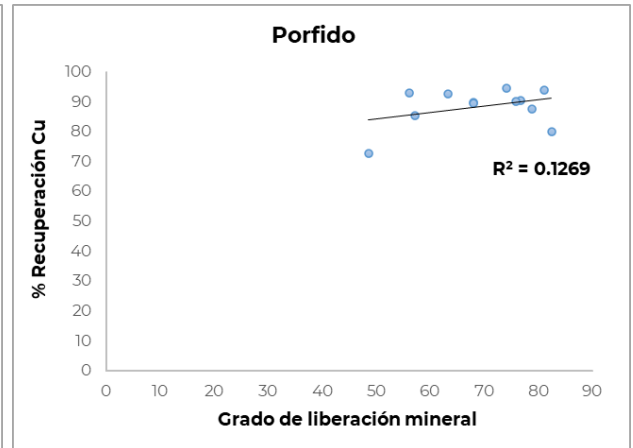


Figura 33: Liberación mineral vs % R, en pórfidos

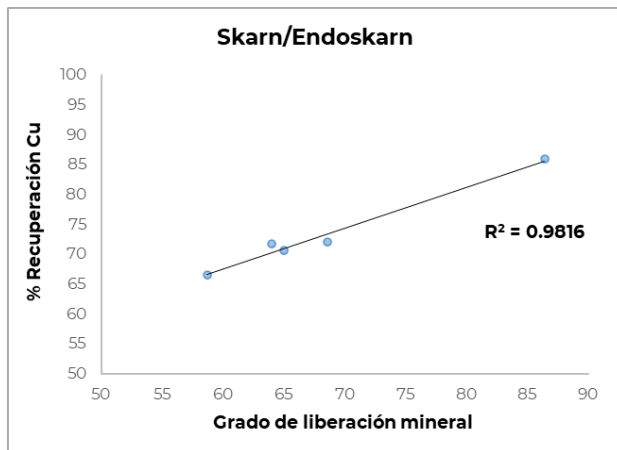


Figura 34: Liberación mineral vs % R, en Skarn

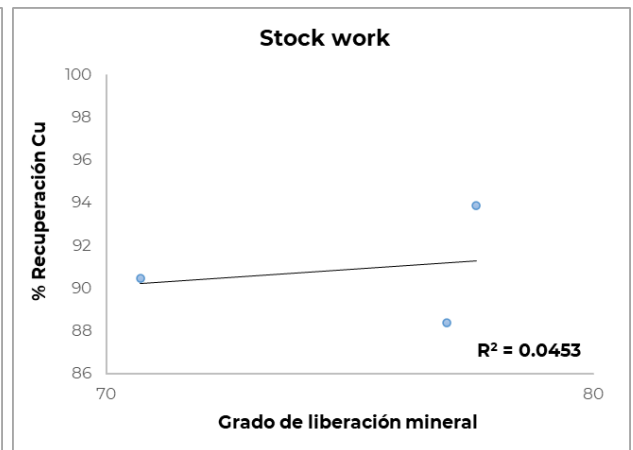
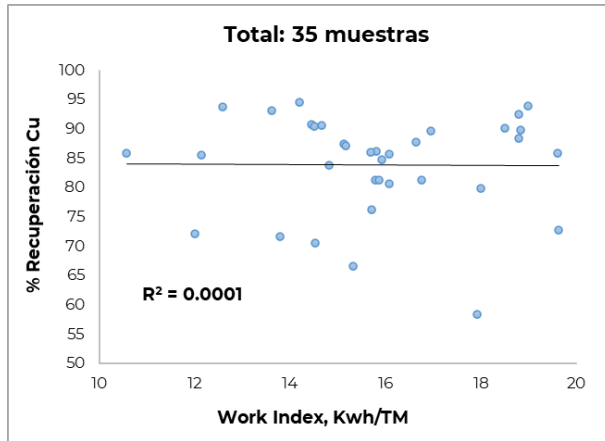
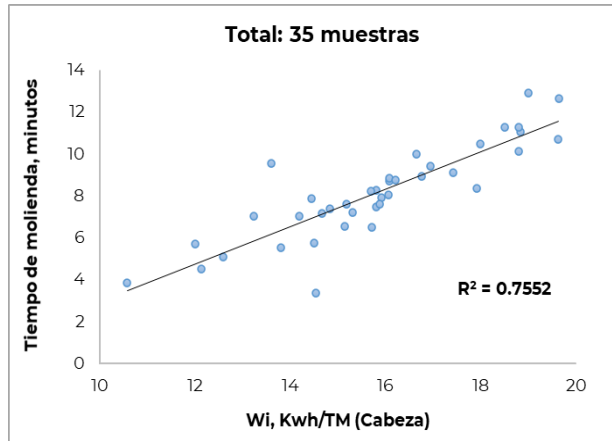
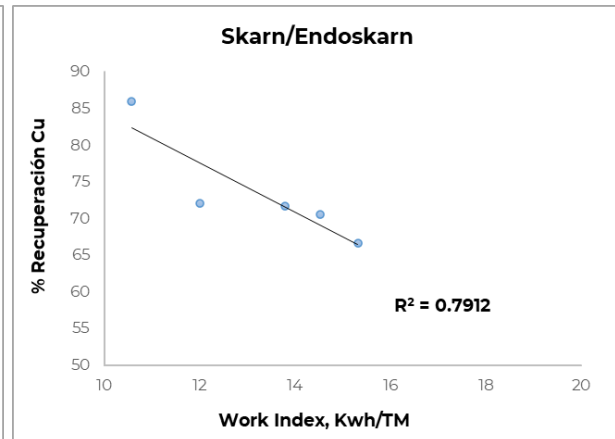
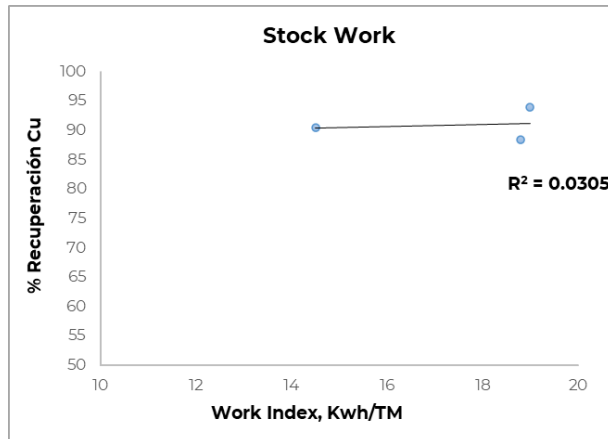
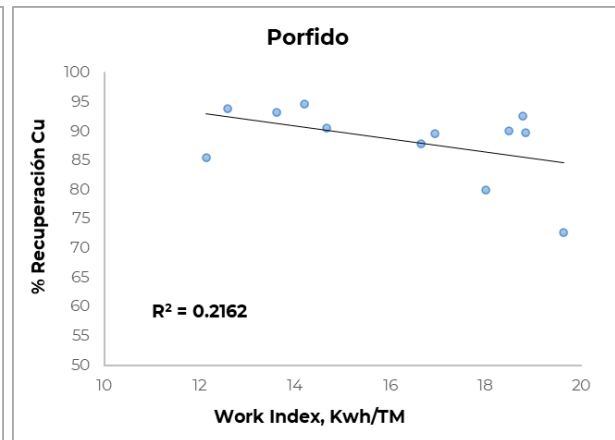
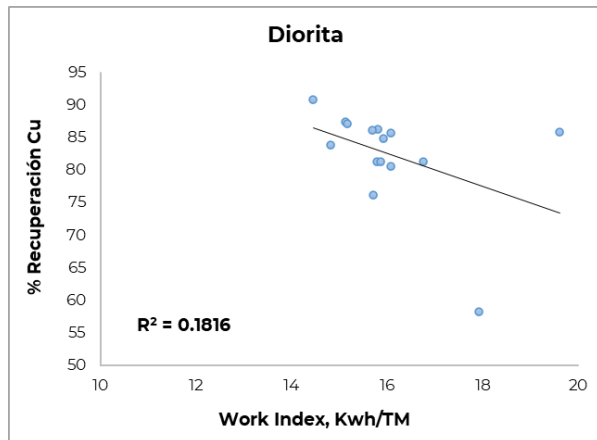


Figura 35: Liberación mineral vs % R, en stock work

Efecto en la recuperación por índice de trabajo (BWI)

Las muestras fueron evaluadas en su conjunto y por litologías. Al ser evaluadas con la totalidad de las muestras “no se evidenció correlación alguna entre la recuperación y el índice de trabajo” (ver figura 36); sin embargo, al ser evaluados por litologías, se evidenció que en la mayoría de las litologías la recuperación podría ser dependiente de la dureza del mineral (índice de trabajo).

En la figura 37, se muestra la correlación del índice de trabajo y el tiempo de molienda.


Figura 36: Work Index vs % R

Figura 37: Work Index vs Tiempo de molienda

Figura 38: Work Index por litologías vs % Recuperación

4.1.3 Discusión de resultados

4.1.3.1 Validez Interna

Se debe confiar en los resultados porque los resultados han sido obtenidos aplicando todas las técnicas de procesamiento, reducción de datos y análisis estadísticos, mediante los análisis paramétricos y no paramétricos. Se evitó tener diferencias sistemáticas en la preparación de las muestras, así como el

análisis, se realizaron correlaciones de Pearson entre los análisis como un control de calidad.

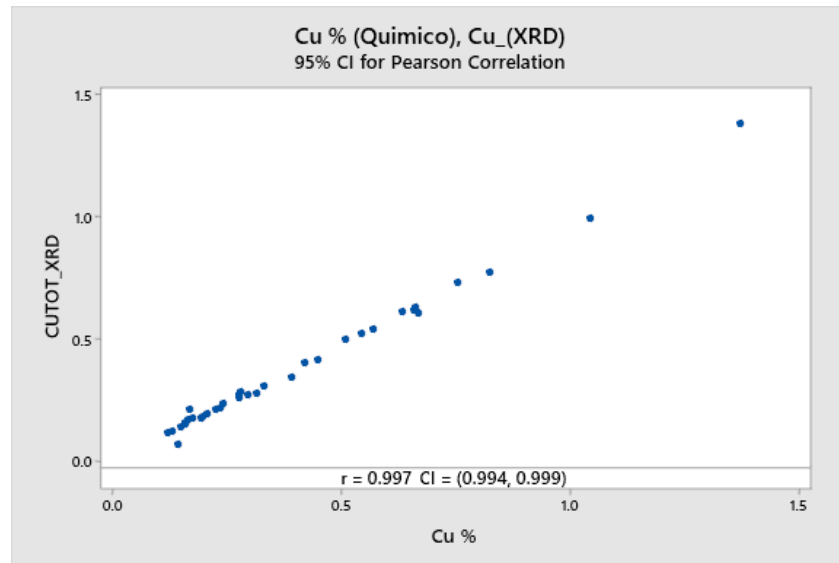


Figura 39: Correlación de Pearson, Cobre de análisis químico vs cobre de análisis difracción.

Este estudio presenta ciertas limitaciones que deben ser considerados en futuros estudios. Primero, la aplicación empírica se llevó a cabo en la caracterización mineralógica utilizando datos de una sola empresa. Es necesario reconocer que los resultados pueden variar ante diferentes contextos e industrias.

En segundo lugar, las variables centrales han sido medidas por medio de técnicas. Si bien se considera un método adecuado para analizar la caracterización mineralógica y la flotación de minerales, no se realizó un análisis de como estos minerales pueden afectar a otra partes del proceso como es la conminución de minerales

Por tanto, las futuras investigaciones deberían considerar el aspecto dinámico. La población de muestras es un limitante en cuál debe ser considerado en futuros estudios, para la integración de la etapa de flotacion con la etapa de conminución.

El efecto de las limitaciones en los resultados son la fiabilidad de la medición debido a la limitación de muestras lo que puede modificar los resultados en estudios posteriores. El grado de confiabilidad es de 95%.

4.1.3.2 Validez externa

No se puede generalizar los resultados ya que la investigación para la selección de las muestras fueron realizadas a juicio de experto, Para este trabajo se reconoció las fases con tamaño de grano muy fino, dispersas en un concentrado mineral entre otras fases mucho más abundantes. En este caso, un simple análisis visual con una lupa binocular puede no ser suficiente, perdiéndose al menos gran parte de la información. Por el contrario, en este estudio puede ser muy útil la microscopía electrónica de barrido con análisis de energías de rayos X, especialmente cuando se dispone de un sistema de análisis de electrones retrodispersados acoplado (SEM–BSE–EDS).

4.1.3.3 Integración

La integración se produce en la aplicación de las diferentes técnicas utilizadas que permiten la eficiencia en el procesamiento de los minerales como consecuencia de la disminución de las leyes en los depósitos de cobre, lo que conlleva al incremento de tonelaje y un mayor costo de explotación. Los trabajos realizados por Gurland (1958), Amstutz y Giger (1972) y Jeulin (1981), adaptados en este trabajo para el análisis de partículas minerales, parecen tener bastante peso en la discriminación del tipo de mineral, ya que han sido los primeros en ser introducidos en el modelo generado por el software Minitab.

El análisis de los índices mineralúrgicos bajo el punto de vista de su potencial discriminante ha puesto de manifiesto que todos los índices propuestos, tanto los desarrollados en este trabajo como los diseñados por otros autores, son adecuados y necesarios para la identificación de los minerales que pueden afectar el procesamiento de minerales.

En este trabajo los índices mineralúrgicos se han aplicado de manera conjunta para discriminar la mineralización que puede afectar los procesos metalúrgicos, considerados como los más influyentes en el comportamiento de las partículas minerales durante los procesos de flotación y molienda. Sin embargo, su aplicación no se limita a la identificación, sino que puede extenderse a la caracterización de la identificación de ciertos rasgos texturales, como la presencia de textura compleja o de encapsulamiento. Por lo tanto, se trata de un método flexible y versátil que puede adaptarse a los requerimientos específicos de cada caso a analizar.

La técnica estadística del Análisis de la Varianza (ANalysis Of VAriance, ANOVA), divide la variabilidad en la Recuperación en partes separadas para cada uno de los efectos. Luego, prueba la significación estadística de cada efecto comparando el cuadrado medio con una estimación del error experimental. En esta investigación, los efectos tienen valores de P inferiores a 0.066, lo que indica que son significativamente diferentes de cero en el nivel de confianza del 93.6%, corroborando que son las variables más significativas.

Test ANOVA

Null hypothesis			$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Alternative hypothesis			$H_1: \mu_1 - \mu_2 > 0$
T-Value	DF	P-Value	
1.53	67	0.066	

4.2. Pruebas de hipótesis

4.2.1. Hipótesis general

Si determinara la caracterización mineralógica que influirá en el comportamiento del proceso de flotación en yacimientos tipo pórfidos de cobre mejora la recuperación.

4.2.2 Hipótesis específica

Al analizar la influencia de la caracterización de las especies mineralógicas, el grado de liberación, el tamaño de grano y asociaciones por análisis en los procesos

metalúrgicos de los yacimientos de pórfidos de cobre, se determino las concentraciones críticas que provocan problemas en la recuperación de minerales de cobre.

4.2.3 Identificación de variables

4.2.3.1 Variable Independiente

- Caracterización Mineralógica

4.2.3.2 Variable Dependiente

- Procesos Metalúrgicos de flotación de minerales

La hipótesis nula es la media de la población de todas las recuperaciones es igual a 83.95%. Formalmente, se escribe como: $H_0: \mu = 83.95\%$.

Condición que se probará	Hipótesis alternativa
La media de la población es menor que el objetivo.	unilateral: $\mu < 83.95\%$
La media de la población es mayor que el objetivo.	unilateral: $\mu > 83.95\%$
La media de la población es diferente del objetivo.	bilateral: $\mu \neq 83.95\%$

En este caso uno debe asegurarse de que la recuperación sea mayor a 83.95%, se escogió la hipótesis alternativa unilateral, que indica que la media de la población de todas las muestras es mayor a 83.95%. Formalmente, esto se escribe como $H_1: \mu > 83.95\%$.

Test

Null hypothesis	$H_0: \mu = 83.95$
Alternative hypothesis	$H_1: \mu > 83.95$
T-Value	P-Value
0.00	0.500

Descriptive Statistics

N	Mean	StDev	SE Mean	99% Upper Bound for μ
35	83.95	8.48	1.43	87.45

μ : mean of Sample

A partir de las pruebas de optimización los resultados de caracterización mineralógica, resultaron positivas 3.06%, es decir de 83.95% Rec. Cu a 87.17% (Figura 40).

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
Sample 1	35	87.01	8.27	1.4
Sample 2	35	83.95	8.48	1.4

Estimation for Difference

Difference	95% Lower Bound for Difference
3.06	-0.28

Test

Null hypothesis $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Alternative hypothesis $H_1: \mu_1 - \mu_2 > 0$

T-Value	DF	P-Value
1.53	67	0.066

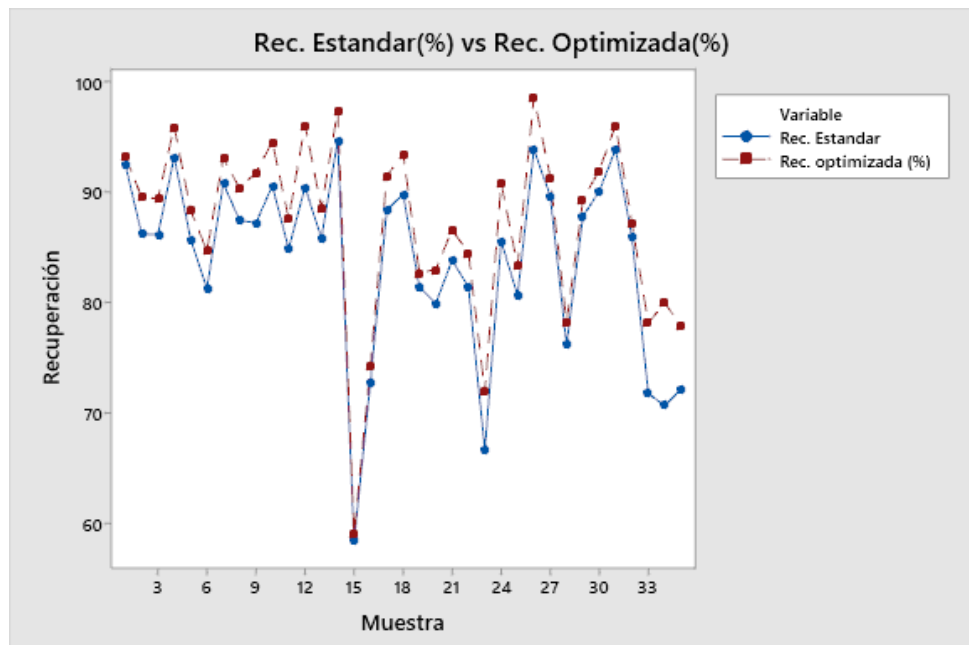


Figura 40: Rec. Estándar vs Rec. Optimizada

Con los resultados obtenidos se rechaza la hipótesis nula y se concluye que la hipótesis alternativa es la aceptada ya que la recuperación es mayor a 83.95%.

4.3. Presentación de resultados

Según los resultados obtenidos la media de ley de cobre está en 0.3968%, la recuperación de cobre esta 83.95% mientras que la recuperación de plata esta 73.57% y la recuperación de oro esta en 62.00%, en base a los resultados de optimización la recuperación de cobre mejoro a 87.17% en promedio.

Cuadro 20: Estadística

Variable	N	Media	SE		Minimo	Mediana	Maximo
			Mean	StDev			
Cu %	35	0.3968	0.0488	0.2884	0.1188	0.2788	1.3734
Rec_ Cu, %	35	83.95	1.43	8.48	58.35	85.96	94.68
Rec_ Ag,	35	73.57	3.17	18.78	23.62	75.67	99.40
Rec_ Au	35	62.99	3.15	18.62	18.70	69.72	95.41
Rec Maximo (%)	35	87.17	1.40	8.27	59.00	89.35	98.66
TOT_ARCILLAS	35	6.595	0.254	1.503	3.924	6.445	10.179
TOT_CARBOATOS	35	8.94	1.52	9.00	2.41	6.04	47.11
TOT_CLORITA	35	4.062	0.450	2.665	0.436	3.755	13.722

4.3.1 Identificación de muestras

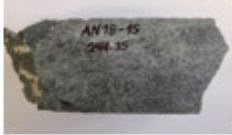
Se muestran las 35 muestras que fueron analizadas, de las cuales la litología es la diorita, pórfido PM, endoskarn, dique y stock work perteneciente a un yacimiento de pórfido de cobre del batolito de Andahuaylas – Yauri.

A continuación, se muestran una descripción del tipo de roca y fotografías de las muestras:

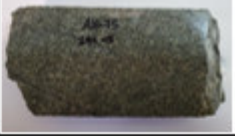
Cuadro 21: Descripción de tipo de roca y fotografía de la muestras y resultados de análisis químico de cobre (%).

N°	Código	from	to	ROCA	Fotos
1	AN17-76	268.8	286.3	Diorita	
2	AN18-71	200.1	220.1	Pórfido PM-79	
3	AC-226	276	293	Diorita	
4	AN18-12	191.1	211.4	Diorita	
5	ATA-314	330	346.7	Stock work Cz en PM-75	
6	ANE19-08	90.95	106.2	Skarn	
7	ATA-077	51.2	65.9	Diorita	
8	AN18-91	127.7	145.2	Diorita	
9	AN17-44	140.2	155.9	Endoskarn en PM-79	
10	AN18-43	84	103.5	Endoskarn en Diorita	

Cuadro 21: Descripción de tipo de roca y fotografía de la muestras y resultados de análisis químico de cobre (%). (Continuación)

N°	Código	from	to	ROCA	Fotos
11	AN18-79	143.9	161.8	Porfido PM-75	
12	AN17-76	163.1	181.3	Diorita	
13	AN-79	146.5	163.5	Diorita	
14	ATA-031	151.5	166.4	Diorita	
15	AN17-44	186.7	203.6	Diorita	
16	AN18-99	91.3	109.9	Porfido PM-83	
17	AN18-15	221.2	240.2	Diorita	
18	AN18-99	109.9	130	Diorita	
19	ATA-032	205.9	221.6	Porfido PM-75	
20	AN17-34	246.7	263.2	Diorita	

Cuadro 21: Descripción de tipo de roca y fotografía de la muestras y resultados de análisis químico de cobre (%). (Continuación)

N°	Código	from	to	ROCA	Fotos
21	ATA-026	239	253.5	Diorita	
22	ATA-315	358.1	275.1	Porfido PM-79	
23	ATA-026	253.5	268.5	Diorita	
24	ATA-057	263.5	280	Porfido PM-79	
25	ANT17-76	321.3	338.8	Diorita	
26	AN-75	288	305.5	Diorita	
27	ANT16-102	194.1	209.1	Porfido PM-82	
28	ANT14-G34	149.2	170	Stock work Cz en PM-85	
29	AS18-15	63.5	77.2	Dique PM-78	
30	AS18-18	116.8	134.3	Porfido PM-85	

Cuadro 21: Descripción de tipo de roca y fotografía de la muestras y resultados de análisis químico de cobre (%). (Continuación)

N°	Código	from	to	ROCA	Fotos
30	AS18-18	116.8	134.3	Porfido PM-85	
31	ANTOX-202A	136	145.5	Porfido	
32	ANT14-G23	144.5	160	Porfido	
33	ANT14-G19	94	112	Porfido	
34	ANT14-G19	158	174.6	Stock work	
35	ANT16-04	185.1	200	Skarn	

4.3.2 Resultados de los Análisis Mineralógicos

Mediante Microscopía Electrónica de barrido, se identificaron las especies minerales presentes en la muestra mineral de roca; asimismo se identificó las ocurrencias de las especies valiosas (minerales de cobre) y asociaciones mineralógicas.

El estudio se complementa con ayuda del microscopio óptico, tanto en luz reflejada como en transmitida.

Las muestras de roca contienen los principales minerales de mena y ganga. Estas fueron divididas en cuatro grupos: tres de 10 muestras y el último de 5 muestras.

Ahora se observan las primeras 10 muestras (ver cuadro 24).

Cuadro 22: Las muestras de roca contienen los principales minerales de mena y ganga

Muestra	Mineralogía de mena	Mineralogía principal de ganga asociada directamente a mena
AN17-76 275.65	calcopirita	Plagioclasas, feldespatos, ferromagnesianos, carbonatos (calcita), apatito con contenido de flúor, magnetita, cloritas y esfenas.
AN18-15 244.35	calcopirita	Plagioclasas, ferromagnesianos, carbonatos (calcita) alterando a plagioclasas, cuarzo, epidota, ilmenita, esfenas, apatito con contenido de flúor, cloritas y rutilo.
AN18-99 91.75	No se detecta mineralización de mena en la sección.	Hematita, apatito con contenidos de flúor, carbonatos como calcita y siderita, pirita, cuarzo y feldespatos.
AN79 152.56	Calcopirita y bornita en menor proporción	Ferromagnesianos, feldespatos, magnetita, esfenas, ilmenita, plagioclasas, carbonatos (calcita), apatito con contenidos de flúor y filosilicatos del grupo cloritas.
ANE19-08 99.25	calcopirita	Pirita, magnetita, carbonatos (calcita), ferromagnesianos, apatito con contenidos de flúor y filosilicatos del grupo cloritas.
AN18-43 97.30	Calcopirita	Carbonatos como calcita, epidota, esfena, plagioclasas, cuarzo, ferromagnesianos y filosilicatos del grupo arcillas.
AN-75 294.45	Calcopirita	Ferromagnesianos, filosilicatos del grupo de las micas, arcillas y cloritas, plagioclasas, carbonatos (calcitas), cuarzo, apatito con contenidos de flúor, esfena y feldespatos
ANT14.G34 162.45	Calcopirita	Pirita, apatito con contenidos de flúor, rutilo, plagioclasas, feldespatos, carbonatos (calcita), filosilicatos del grupo cloritas, cuarzo, ferromagnesianos y anhidrita de manera puntual.
ANT16-102 204.70	Calcopirita y bornita en menor proporción	Magnetita, cuarzo, feldespatos, carbonatos (calcita), filosilicatos del grupo de las arcillas y micas, plagioclasas y apatito con contenidos de flúor.
ATA 314 346.30	Calcopirita	Feldespatos, carbonatos (calcita), filosilicatos del grupo de las arcillas, micas y cloritas, plagioclasas, cuarzo, apatito con contenidos de flúor y rutilo.

En el cuadro 24, nos indica que los principales minerales de mena son la calcopirita (mineral de cobre primario) y bornita (mineral de cobre secundario); no se logró identificar a la calcosita y minerales óxidos de cobre posiblemente por su bajo contenido. Por otra parte, se identificaron los minerales de ganga asociados a los minerales de cobre, las cuales fueron: plagioclasas, cuarzo, carbonatos, ferromagnesianos (Fe y Mg) y cloritas (Fe y Mg).

Existió la presencia de cloritas en cantidades considerables para esta segunda parte estudiada, esto se reflejó para la mayoría de muestras de mineral.

Los minerales de ganga como el cuarzo y plagioclasas presentan alta dureza, y que estas estén asociadas a los minerales de cobre originaron prolongados tiempos para su liberación en la etapa de molienda. A la vez existe la posibilidad de que estos minerales están presentes en el concentrado final, originando que el contenido de insolubles aumente considerablemente.

En cuanto a los minerales de ganga como los carbonatos (calcita), generan efectos de variaciones del pH en el proceso, y problemas en la formación de las burbujas, por lo que la dosificación del espumante aumenta. No se logró detectar presencia de siderita.

Por último, los minerales de ganga denominados Cloritas y Ferromagnesianos, generan los siguientes problemas:

- Reológicos, aumenta el esfuerzo de corte (yield stress).
- Baja calidad de la espuma, la cual genera bajas recuperaciones de mena.
- Presentan alta flotabilidad, mayor cinética de flotación que los minerales de cobre.
- El tiempo de sedimentación aumenta y se generan bastantes lamas.
- Absorben moderada agua (> % humedad), la cual genera que la cantidad de filtros aumente, y en algunos casos las telas de estos se obstruyen (se tapan).

A continuación, se presentan las fotomicrografías correspondientes a la sección de ensayo:

Muestra AN17-76 275.65

El ensayo concluye que el principal mineral de mena es la calcopirita. Respecto a la mineralogía de ganga asociada directamente a la mena, se detectaron plagioclasas, ferromagnesianos, carbonatos y cuarzo (Ver cuadro 25).

Cuadro 23: Resumen de mineralogía de mena y ganga - Muestra AN17-76 275.65

Muestra	Mineralogía de mena	Mineralogía principal de ganga asociada directamente a mena
AN17-76 275.65	calcopirita	Plagioclasas, feldespatos, ferromagnesianos, carbonatos (calcita), apatito con contenido de flúor, magnetita, cloritas y esfenas.

A continuación, se presentan las fotomicrografías correspondientes a la sección de ensayo:

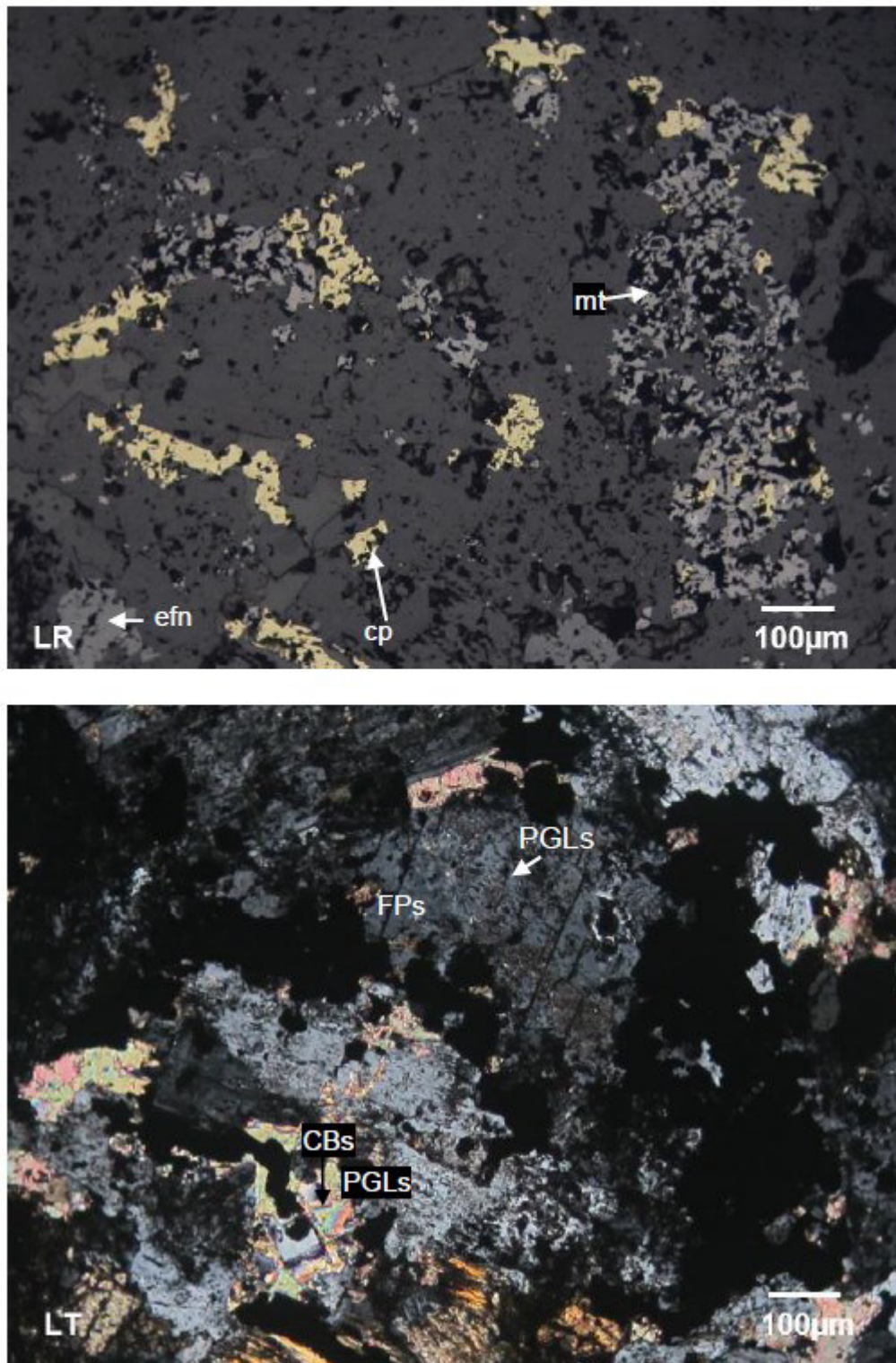


Figura 41: Minerales de ganga identificados como ferromagnesianos, plagioclasas, apatito, magnetita, feldespatos y carbonatos identificados como calcita. Minerales opacos identificados como calcopirita y magnetita.

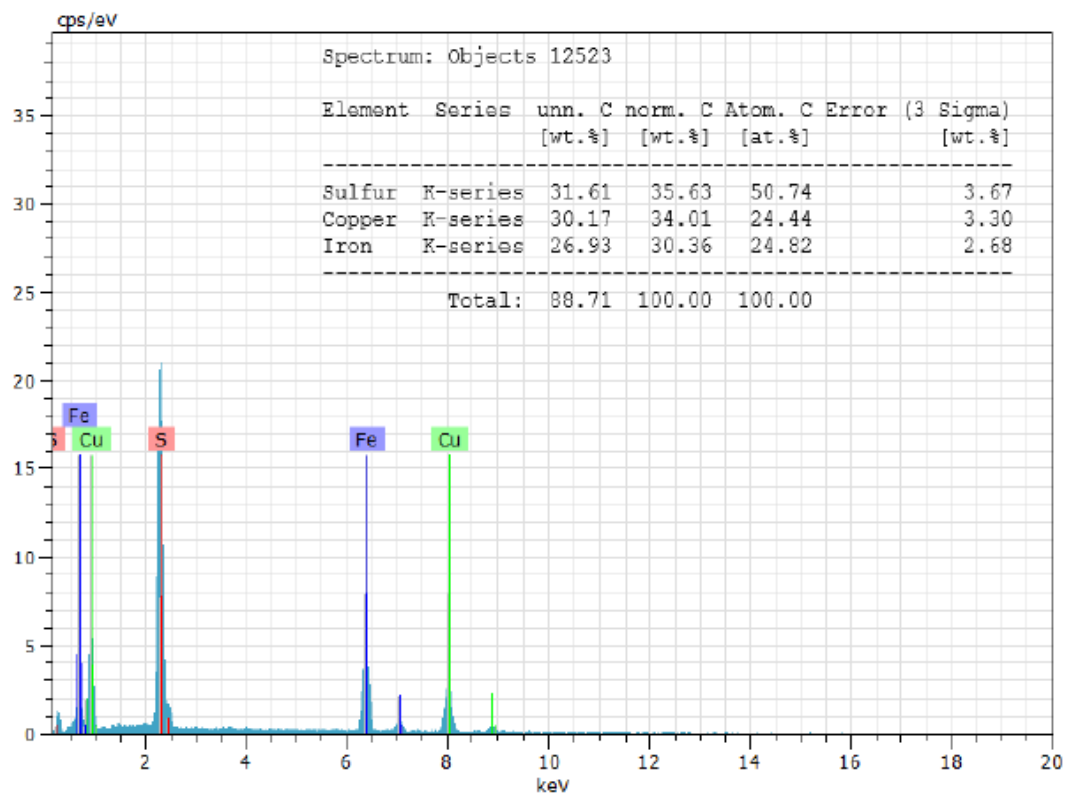
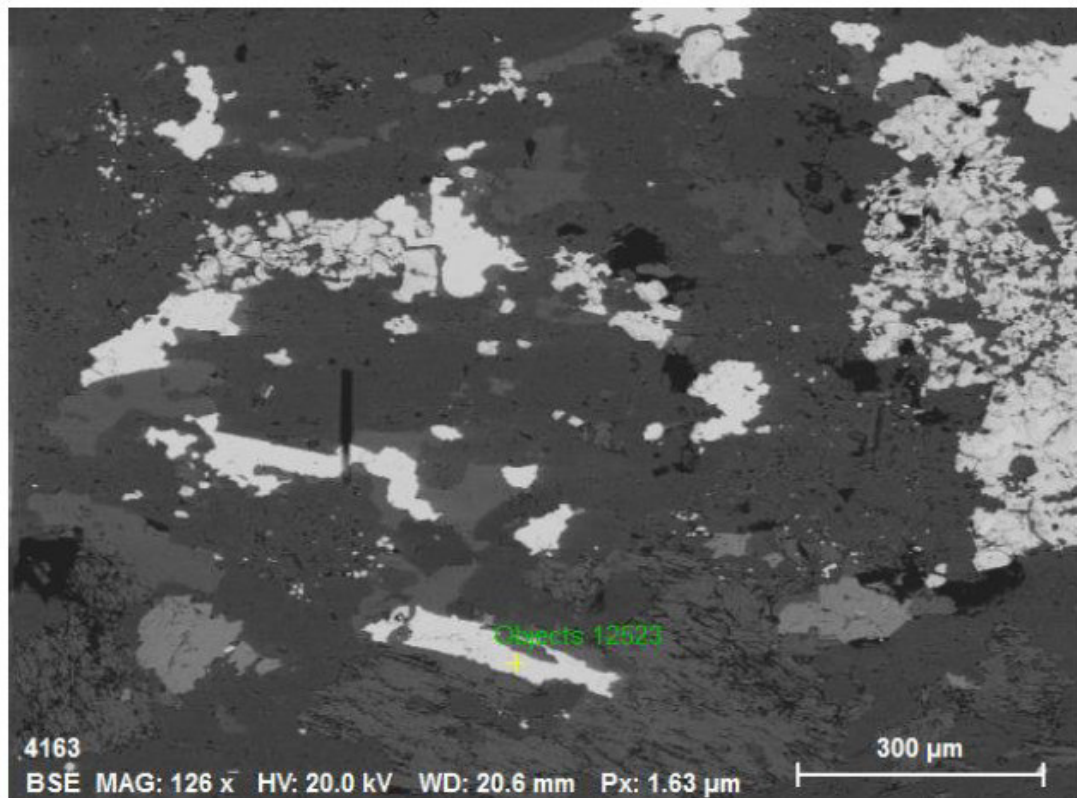


Figura 42: Imagen, composición y espectro de calcopirita

Ahora se observan las siguientes 10 muestras (ver cuadro 24).

Cuadro 24: Las muestras de roca contienen los principales minerales de mena y ganga

Muestra	Mineralogía de mena	Mineralogía principal de ganga asociada directamente a mena
AN17-44 (200.85)	Calcopirita	Plagioclasas, ferromagnesianos, carbonatos y cuarzo.
AC-226 (278.10)	Calcopirita	Plagioclasas, ferromagnesianos, carbonatos y cuarzo.
ATA-077 (60.88)	Calcopirita	Plagioclasas, ferromagnesianos, carbonatos, cloritas alterando a ferromagnesianos y cuarzo.
AN18-79 (154.65)	Calcopirita	Cuarzo, plagioclasas, filosilicatos identificados como micas, carbonatos y apatito.
AN17-76 (178.37)	Calcopirita	Plagioclasas, plagioclasas alteradas por arcillas, ferromagnesianos, ferromagnesianos alterados por cloritas, carbonatos, cuarzo y en menor proporción apatito.
AN17-44 (143.05)	Calcosita y bornita	Granates, carbonatos y ferromagnesianos, principalmente
AN17-71 (204.80)	Bornita	Feldespatos, plagioclasas alteradas por carbonatos, plagioclasas, carbonatos, ferromagnesianos, cuarzo y filosilicatos identificados como micas y clorita.
AN18-91 (139.1)	Calcopirita, seguido de bornita	Plagioclasas, ferromagnesianos, carbonatos, plagioclasas alteradas por arcillas, granates y esfena.
ATA-031 (163.32)	Calcopirita, seguido de bornita	Plagioclasas, carbonatos, feldespato, cloritas, apatito y esfena.
AN18-12 (194.30)	Calcopirita	Plagioclasas, carbonatos, esfena, ferromagnesianos, epidota y apatito

En el cuadro 26, nos indica que los principales minerales de mena son la calcopirita (mineral de cobre primario), bornita y calcosita (mineral de cobre secundario); no se logró identificar minerales óxidos de cobre posiblemente debido a su bajo contenido. Por otra parte, se identificaron los minerales de ganga asociados a los minerales de cobre, las cuales fueron: plagioclasas, cuarzo, carbonatos y ferromagnesianos (Fe y Mg).

La presencia de cloritas en contenido fue muy baja, y estuvo presente sólo en algunas muestras analizadas.

Los minerales de ganga como el cuarzo y plagioclasas presentan alta dureza, y que estas estén asociadas a los minerales de cobre originaron prolongados tiempos para su liberación en la etapa de molienda.

En cuanto a los minerales de ganga como los carbonatos (calcita y siderita), generan efectos de variaciones del pH en el proceso y problemas en la formación de las burbujas, por lo que la dosificación del espumante aumenta.

Por último, los minerales de ganga denominados Ferromagnesianos, generan los siguientes problemas:

- Reológicos, aumenta el esfuerzo de corte (yield stress).
- Baja calidad de la espuma, la cual genera bajas recuperaciones de mena.
- Presentan alta flotabilidad, mayor cinética de flotación que los minerales de cobre.
- El tiempo de sedimentación aumenta y se generan bastantes lamas.
- Absorben moderada agua (> % humedad), la cual genera que la cantidad de filtros aumente, y en algunos casos las telas de estos se obstruyen (se tapan).

Muestra AN17-76 (178.37)

El ensayo concluye que el principal mineral de mena es la calcopirita. Respecto a la mineralogía de ganga asociada directamente a la mena, se detecta plagioclasas, plagioclasas alteradas por arcillas, ferromagnesianos, ferromagnesianos alterados por cloritas, carbonatos, cuarzo y en menor proporción apatito (Cuadro 27).

Cuadro 25: Resumen de mineralogía de mena y ganga - Muestra AN17-76 (178.37)

Muestra	Mineralogía de mena	Mineralogía principal de ganga asociada directamente a mena
AN17-76 (178.37)	calcopirita	Plagioclasas, plagioclasas alteradas por arcillas, ferromagnesianos, ferromagnesianos alterados por cloritas, carbonatos, cuarzo y en menor proporción apatito

A continuación, se presentan las fotomicrografías correspondientes a la sección de ensayo:

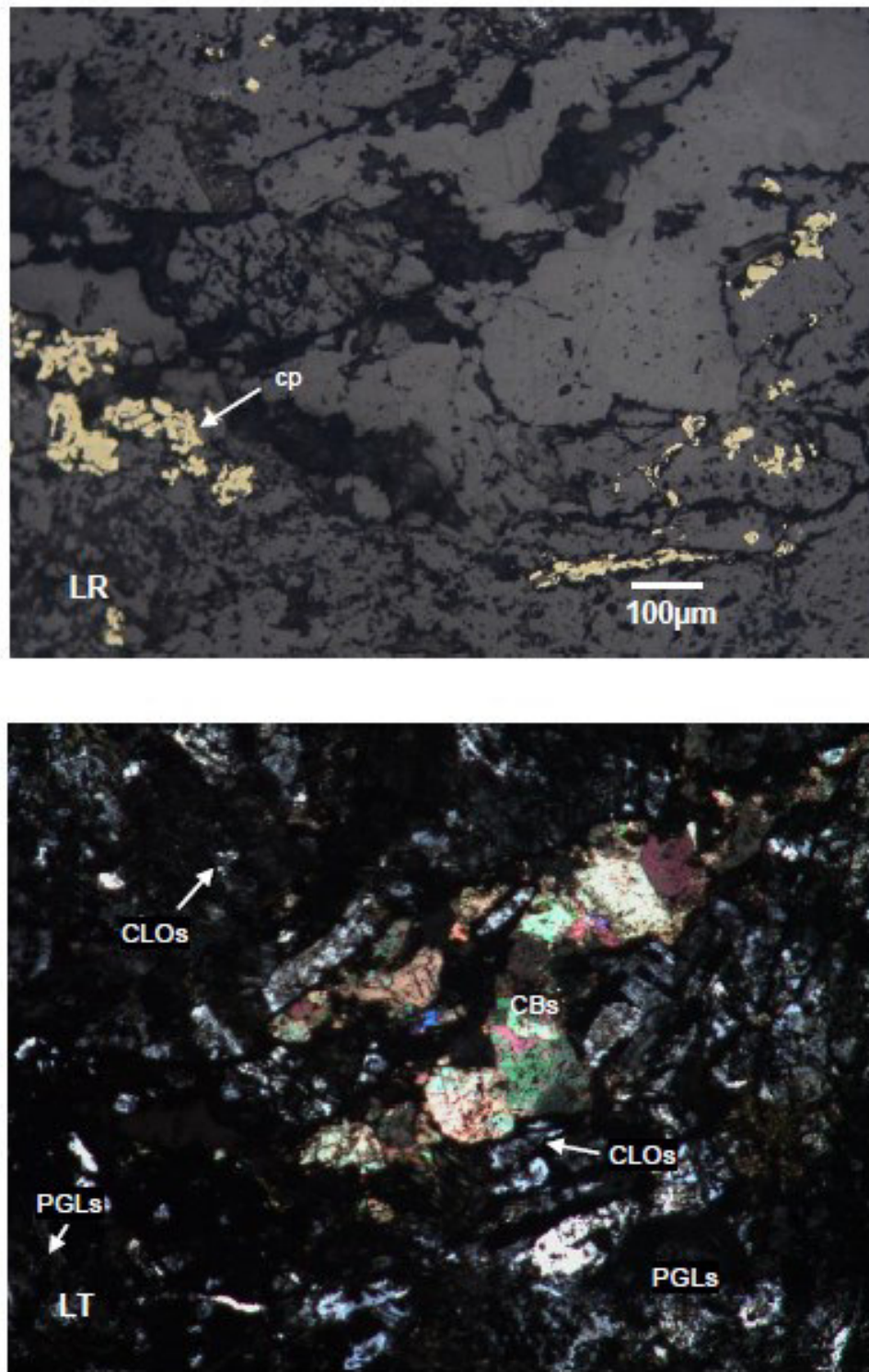


Figura 43: Minerales de ganga identificados como esfena, ferromagnesianos alterados a clorita, carbonatos, plagioclasas y apatito. Minerales opacos identificados como calcopirita.

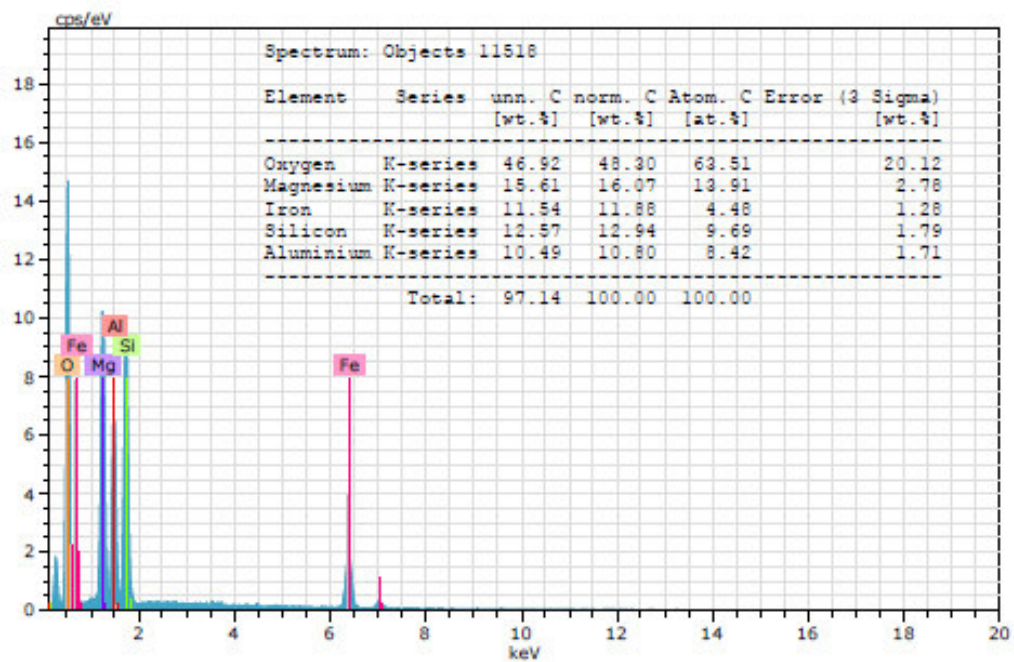
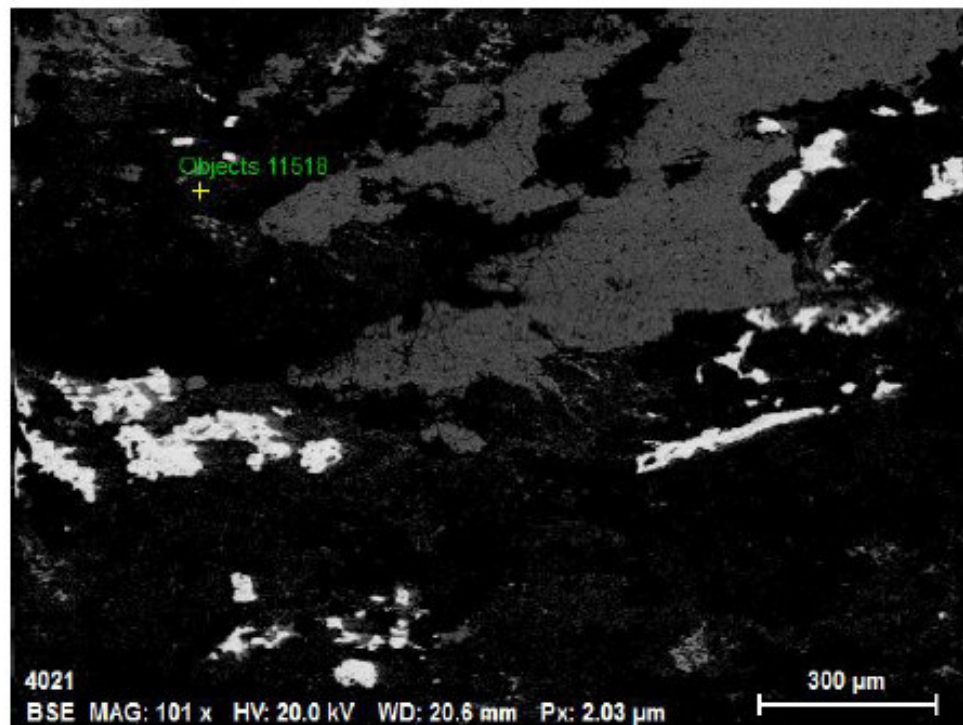


Figura 44: Imagen, composición y espectro de filosilicato identificado como clorita.

Ahora se observan las siguientes 10 muestras (Ver cuadro 23).

Cuadro 26: Las muestras de roca contienen los principales minerales de mena y ganga

Muestra	Mineralogía de mena	Mineralogía principal de ganga asociada directamente a mena
AN17-34 255.43	calcopirita y bornita	Plagioclasas, filosilicatos del grupo de las cloritas y micas, carbonatos como calcita y siderita, ferromagnesianos, cuarzo, plagioclasas, apatito con contenidos de flúor.
AN18-99 119.65	Bornita, seguido de calcopirita y digenita.	Plagioclasas, ferromagnesianos, carbonatos (calcita y siderita), feldespatos, cuarzo, epidota, ilmenita, esfena, apatito con contenido de flúor, filosilicatos del grupo de las cloritas, hematita y rutilo.
ATA 315 266.50	bornita, seguido de calcita, Covelita y digenita. Por tanto, principalmente Sulfuros secundarios.	Plagioclasas, cuarzo, carbonatos (calcita y siderita), feldespatos, filosilicatos del grupo cloritas y micas, hematita y apatito con contenidos de flúor.
ATA-026 246.55	Calcopirita y bornita. Se observa calcosita y digenita como trazas.	Feldespato, cuarzo, carbonatos (calcita), filosilicatos del grupo de las cloritas, esfena y apatito con contenidos de flúor.
ATA-032 203.76	Calcopirita y bornita como trazas. Se ha detectado de manera puntual telurio de bismuto con menores proporciones de plata.	Pirita, carbonatos (siderita y calcita), cuarzo. Como trazas se identifica galena.
ANT14G19 139.80	Calcopirita	Plagioclasas, feldespato, cuarzo, pirita, hematita, ilmenita, magnetita, filosilicato del grupo de las cloritas, carbonatos (calcita), rutilo y apatito con contenidos de flúor.
ANT14G23 199.10	Calcopirita	Pirita, carbonatos (calcita), plagioclasas, cuarzo, feldespato y filosilicatos del grupo cloritas.
ATX-202A 134.65	Calcopirita	Plagioclasas, feldespato, cuarzo, esfena, carbonatos (calcita), filosilicato del grupo de las cloritas y magnetita.
ANT14G19 206.20	Calcopirita	Feldespatos, carbonatos (calcita), filosilicatos del grupo de las cloritas, plagioclasas, cuarzo, rutilo y apatito con contenidos de flúor.
ANT16-04 185.25	Calcopirita	Feldespatos, carbonatos (calcita), filosilicatos del grupo de las arcillas y micas, magnetita y pirita.

El cuadro 26, nos indica que los principales minerales de mena son la calcopirita (mineral de cobre primario), bornita, trazas de digenita y trazas de covelita (mineral de cobre secundario); no se logró identificar a minerales óxidos de cobre posiblemente a su bajo contenido. Por otra parte, se identificaron los minerales de ganga asociados a los minerales de cobre, las cuales fueron: plagioclasas, cuarzo, carbonatos, cloritas (Fe y Mg) y ferromagnesianos (Fe y Mg), este último presente en algunas muestras mineral.

El mineral de clorita estuvo presente en todas las muestras analizadas; y los ferromagnesianos, solo estuvo presente en algunas muestras para esta tercera parte estudiada.

Los minerales de ganga como el cuarzo y plagioclasas presentan alta dureza, y que estas estén asociadas a los minerales de cobre originaron prolongados tiempos para su liberación en la etapa de molienda. A la vez existe la posibilidad de que estos minerales están presentes en el concentrado final, originando que el contenido de insolubles aumente considerablemente.

En cuanto a los minerales de ganga como los carbonatos (calcita y siderita), generan efectos de variaciones del pH en el proceso y problemas en la formación de las burbujas, por lo que la dosificación del espumante aumenta.

Por último, los minerales de ganga denominados Ferromagnesianos y cloritas, generan los siguientes problemas:

- Reológicos, aumenta el esfuerzo de corte (yield stress).
- Baja calidad de la espuma, la cual genera bajas recuperaciones de mena.
- Presentan alta flotabilidad, mayor cinética de flotación que los minerales de cobre.
- El tiempo de sedimentación aumenta y se generan bastantes lamas.
- Absorben moderada agua (> % humedad), la cual genera que la cantidad de filtros aumente, y en algunos casos las telas de estos se obstruyen (se tapan).

Muestra ATA-032 (203.76)

El ensayo concluye que el principal mineral de mena es la calcopirita y trazas de bornita. Respecto a la mineralogía de ganga asociada directamente a la mena, se detectaron pirita, carbonatos, cuarzo y trazas de galena (Cuadro 27).

Cuadro 27: Resumen de mineralogía de mena y ganga - Muestra ATA-032 (203.76)

Muestra	Mineralogía de mena	Mineralogía principal de ganga asociada directamente a mena
ATA-032 (203.76)	Calcopirita y bornita como trazas. Se ha detectado de manera puntual teluro de bismuto con menores proporciones de plata.	Pirita, carbonatos (siderita y calcita), cuarzo. Como trazas se identifica galena.

A continuación, se presentan las fotomicrografías correspondientes a la sección de ensayo:

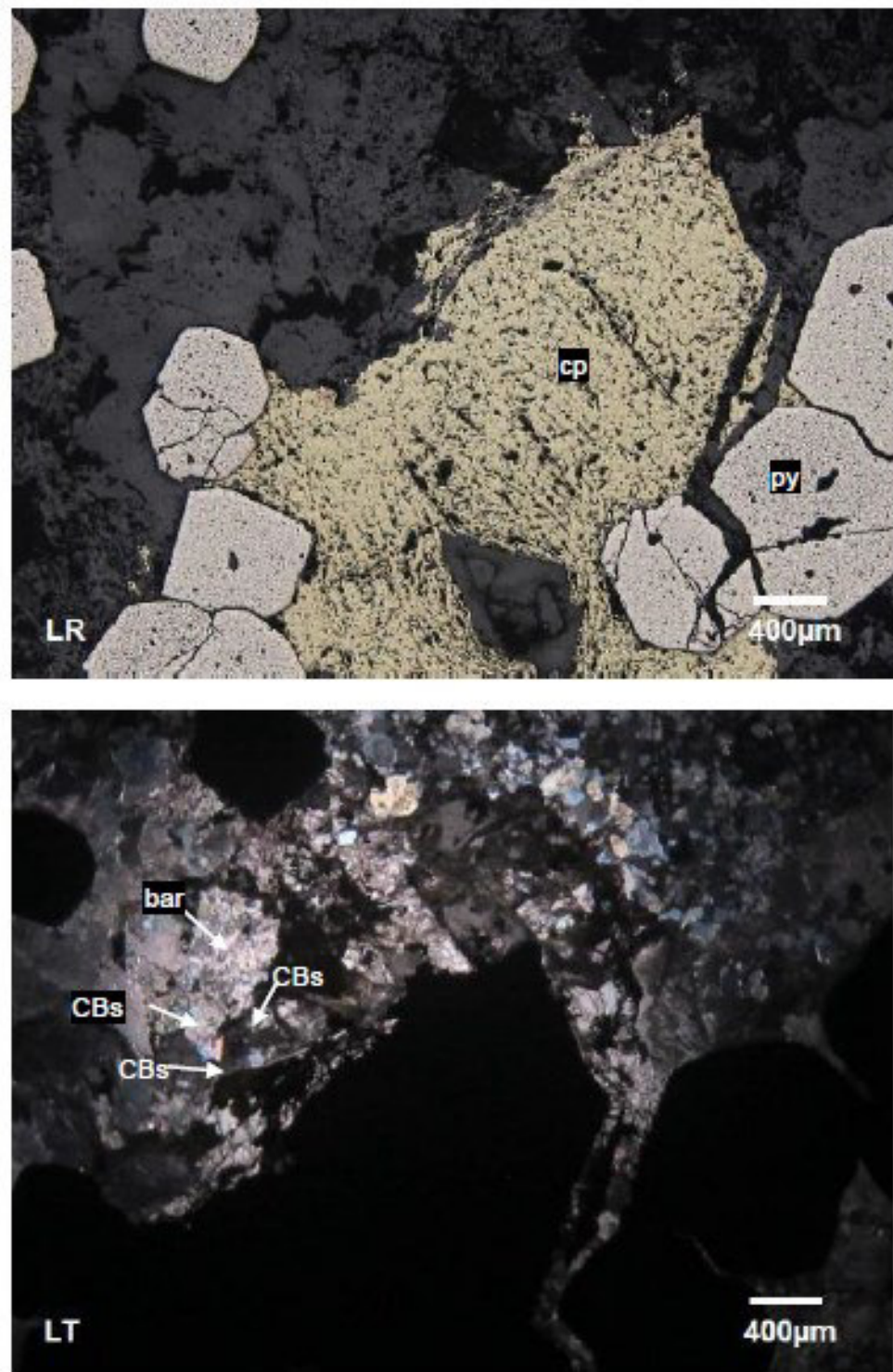


Figura 45: Minerales de gangas identificados como baritina, carbonatos como calcita y siderita y cuarzo. Minerales opacos identificados como calcopirita y galena.

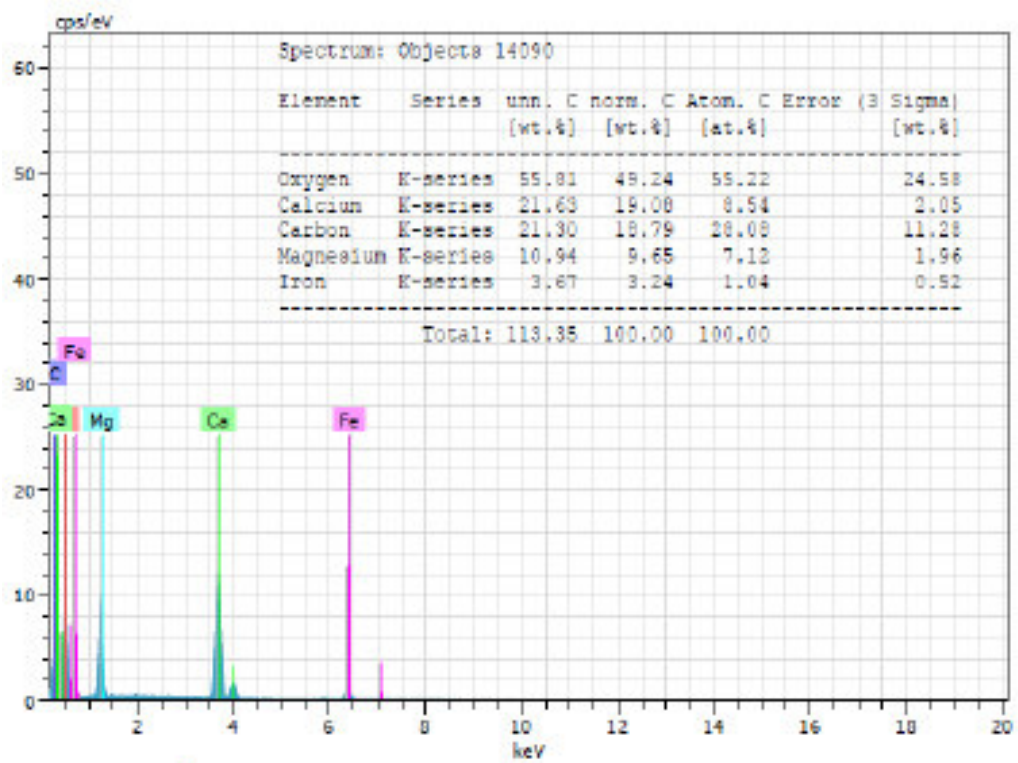
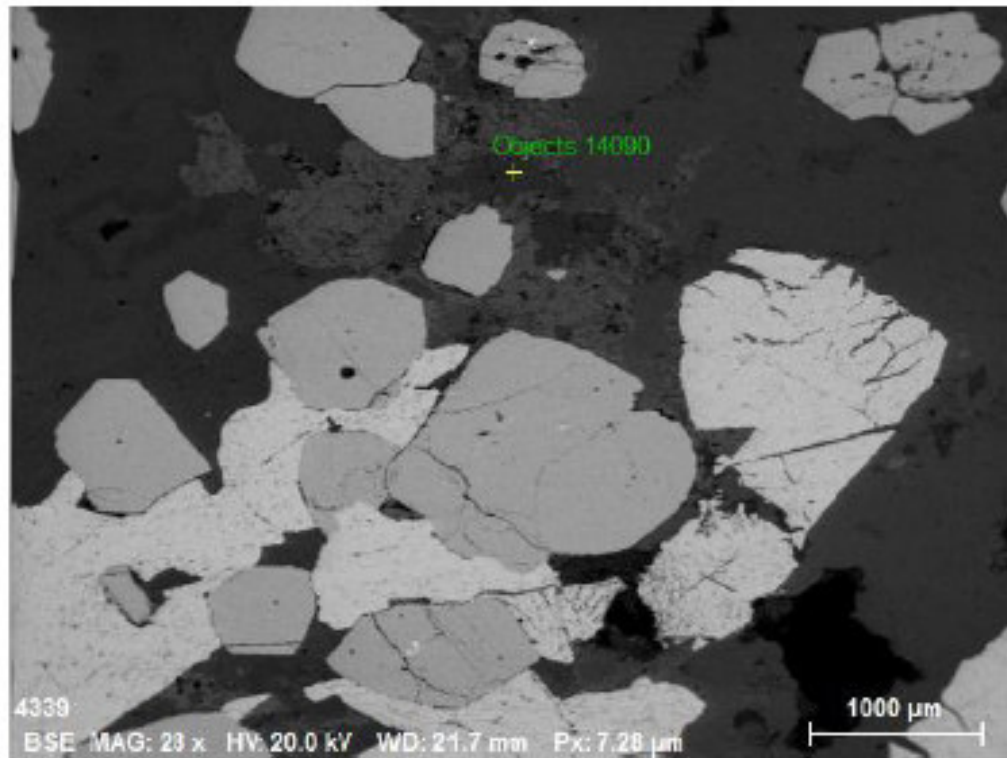


Figura 46: Imagen, composición y espectro de carbonatos con contenidos de calcio, hierro y magnesio.

Ahora se observan las últimas 5 muestras (Ver cuadro 30).

Cuadro 28: Las muestras de roca contienen los principales minerales de mena y ganga

Muestra	Mineralogía de mena	Mineralogía principal de ganga asociada directamente a mena
AN17-76 331.30	calcopirita	plagioclasas alteradas por sericita, filosilicatos del grupo de las micas, carbonatos como calcita, ilmenita, ferromagnesianos, cuarzo, apatito con contenidos de flúor y feldespatos alterados por arcillas, carbonatos y sericita.
AS18-15 62.5	No hay mineralización de mena.	Plagioclasas, filosilicato del grupo de las micas, carbonatos como calcita, feldespato, estroncionita y apatito con contenidos de flúor.
AS18-18 130.10	Bornita, calcosita y calcopirita en proporción de traza.	Plagioclasas, ferromagnesianos, cuarzo, carbonatos (calcita y siderita), feldespatos, filosilicatos del grupo cloritas, micas y arcillas, esfena, magnetita y apatito con contenidos de flúor.
ATA-026 267.45	Bornita y calcopirita	Plagioclasas, feldespato, carbonatos (calcita), filosilicato del grupo de las micas, esfena, ferromagnesianos y apatito con contenidos de flúor.
ATA-057 274.85	Bornita, calcosita y digenita como trazas	Cuarzo, magnetita, feldespato, plagioclasas, magnetita, filosilicatos del grupo de las micas y cloritas, carbonatos (calcita y siderita), esfena y apatito con contenidos de flúor.

Del cuadro 28, nos indica que los principales minerales de mena son la calcopirita (mineral de cobre primario), bornita, trazas de calcosita y trazas de digenita (mineral de cobre secundario); no se logró identificar minerales óxidos de cobre posiblemente a su bajo contenido. Por otra parte, se identificaron los minerales de ganga asociados a los minerales de cobre, las cuales fueron: plagioclasas, cuarzo, carbonatos, ferromagnesianos (Fe y Mg) y cloritas (Fe y Mg).

La presencia de cloritas y ferromagnesianos se reflejó para algunas de las muestras mineral estudiadas (cuarto grupo).

Los minerales de ganga como el cuarzo y plagioclasas presentan alta dureza, y que estas estén asociadas a los minerales de cobre originaron prolongados tiempos para su liberación en la etapa de molienda. A la vez existe la posibilidad de que estos minerales están presentes en el concentrado final, originando que el contenido de insolubles aumente considerablemente.

En cuanto a los minerales de ganga como los carbonatos (calcita y siderita), generan efectos de variaciones del pH en el proceso y problemas en la formación de las burbujas, por lo que la dosificación del espumante aumenta.

Por último los minerales de ganga denominados ferromagnesianos y cloritas, generan los siguientes problemas:

- Reológicos, aumenta el esfuerzo de corte (yield stress).
- Baja calidad de la espuma, la cual genera bajas recuperaciones de mena.
- Presentan alta flotabilidad, mayor cinética de flotación que los minerales de cobre.
- El tiempo de sedimentación aumenta y se generan bastantes lamas.
- Absorben moderada agua (> % humedad), la cual genera que la cantidad de filtros aumente, y en algunos casos las telas de estos se obstruyen (se tapan).

Muestra ATA-057 274.85

El ensayo concluye que el principal mineral de mena es la bornita, calcopirita y trazas de digenita. Respecto a la mineralogía de ganga asociada directamente a la mena, se detectaron plagioclasas, cuarzo, magnetita y cloritas (Cuadro 31).

Cuadro 29: Resumen de mineralogía de mena y ganga - Muestra ATA-057 274.85

Muestra	Mineralogía de mena	Mineralogía principal de ganga asociada directamente a mena
ATA-057 274.85	Bornita, calcosita y digenita como trazas	Cuarzo, magnetita, feldespato, plagioclasas, filosilicatos del grupo de las micas y cloritas, carbonatos (calcita y siderita), esfena y apatito con contenidos de flúor.

A continuación, se presentan las fotomicrografías correspondientes a la sección de ensayo:

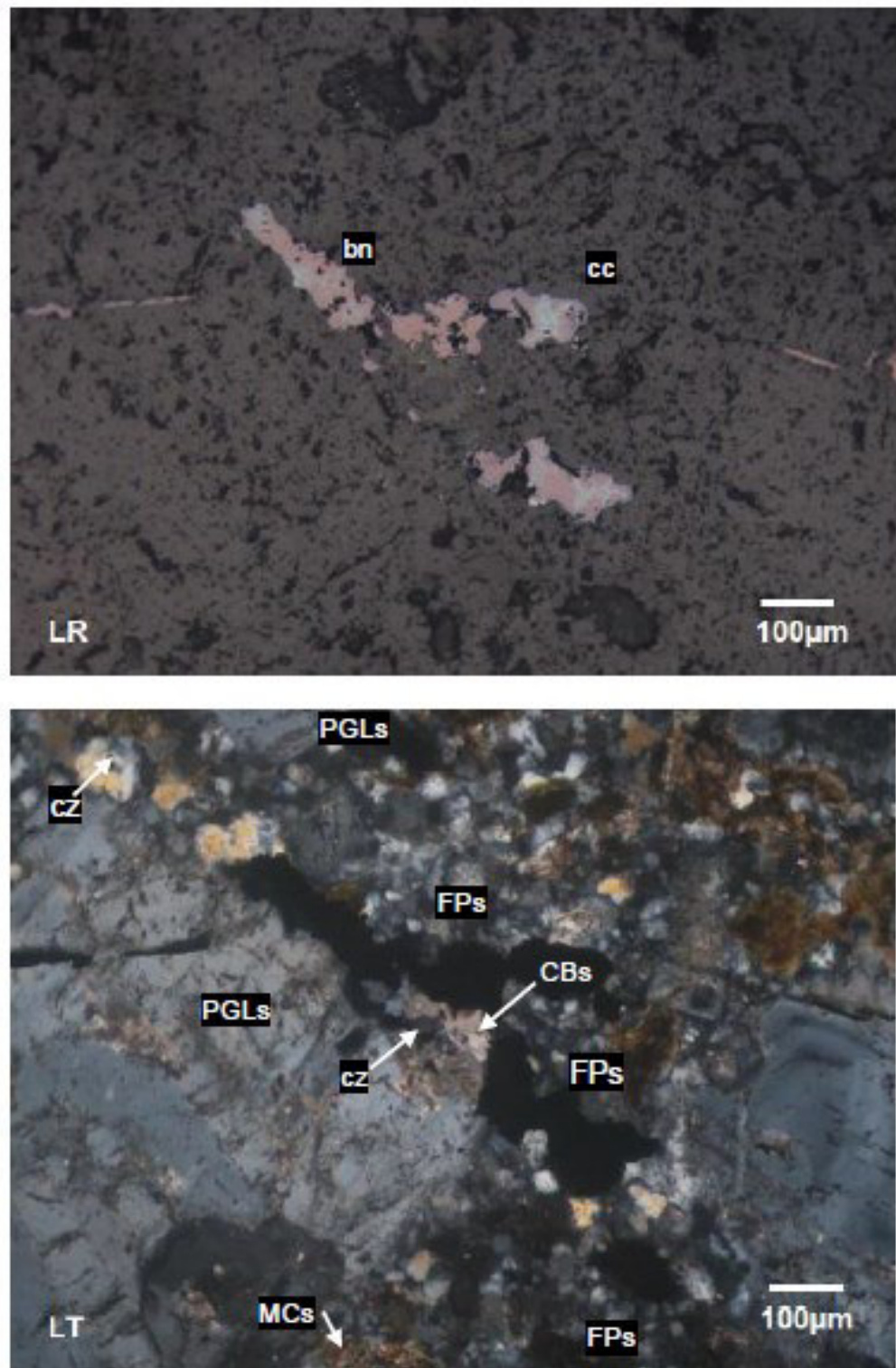


Figura 47: Minerales de ganga identificados como plagioclasas, feldespatos, filosilicatos del grupo de las micas, cuarzo y carbonatos (calcita). Minerales opacos identificados como calcosina y bornita.

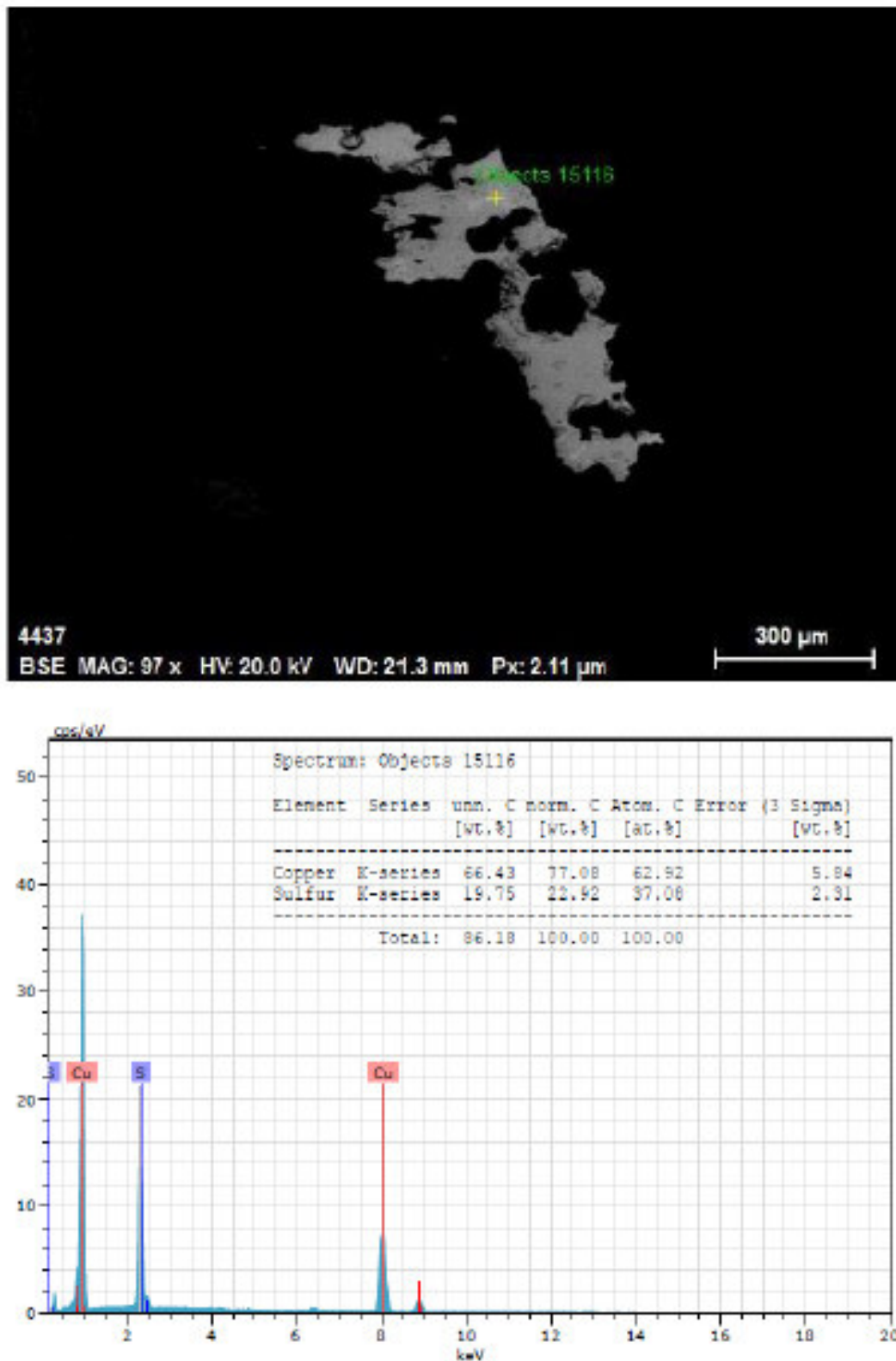


Figura 48: Imagen, composición y espectro de calcosita (de la Figura 51).

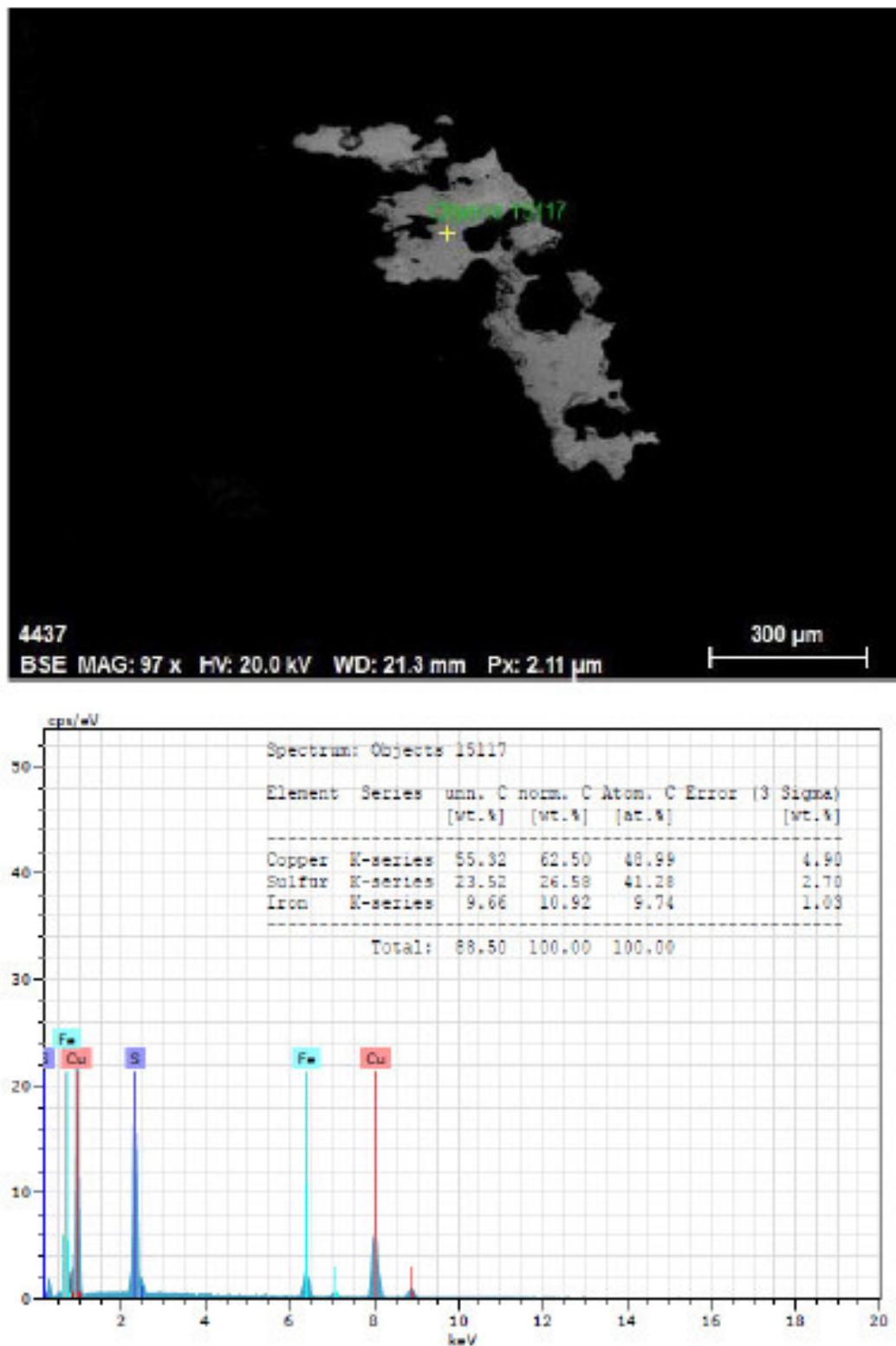


Figura 49: Imagen, composición y espectro de bornita (de la Figura 51).

4.3.3 Resultados de las pruebas de análisis químico y difracción de rayos X

Según los resultados obtenidos el cobre tiene una media de 0.3968 y una desviación estándar de 0.2884, mientras que la plata y el oro tienen una media de 1.084 y 0.04671 respectivamente, en el caso de hierro es con una media de 3.564 y una desviación estándar de 3.076 (figura 50). En la correlación de Pearson entre el %Cu de análisis químico vs %Cu de análisis de difractometría de 0.997 (Figura 51).

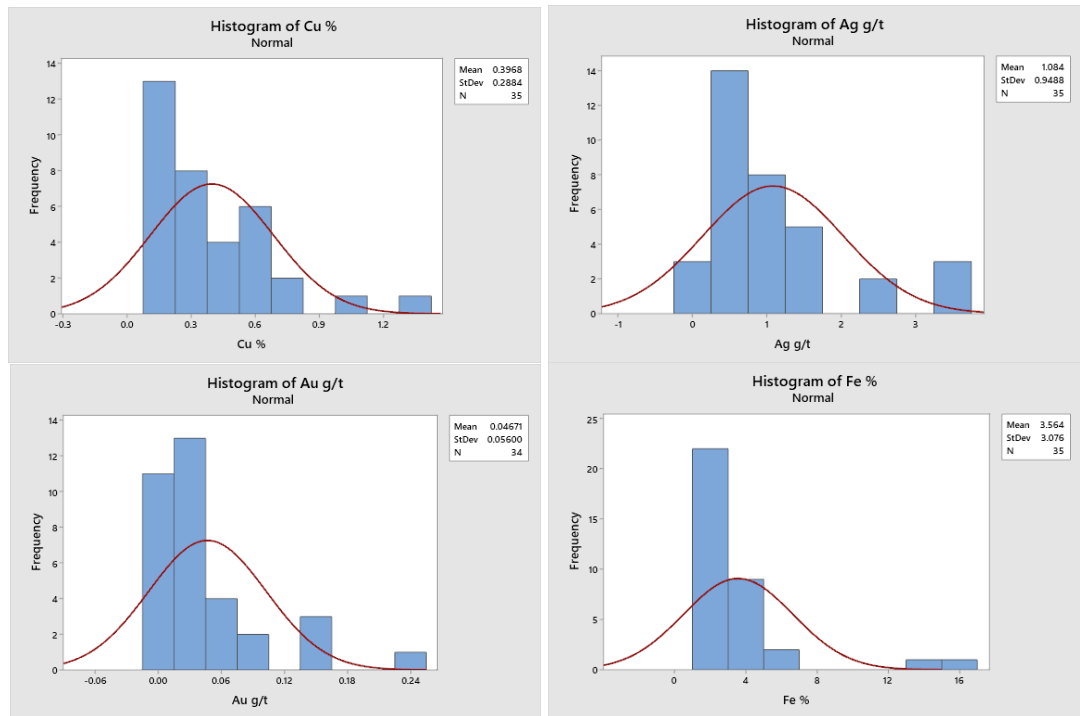


Figura 50: Histograma de %Cu, Ag g/t, Au g/t y %Fe

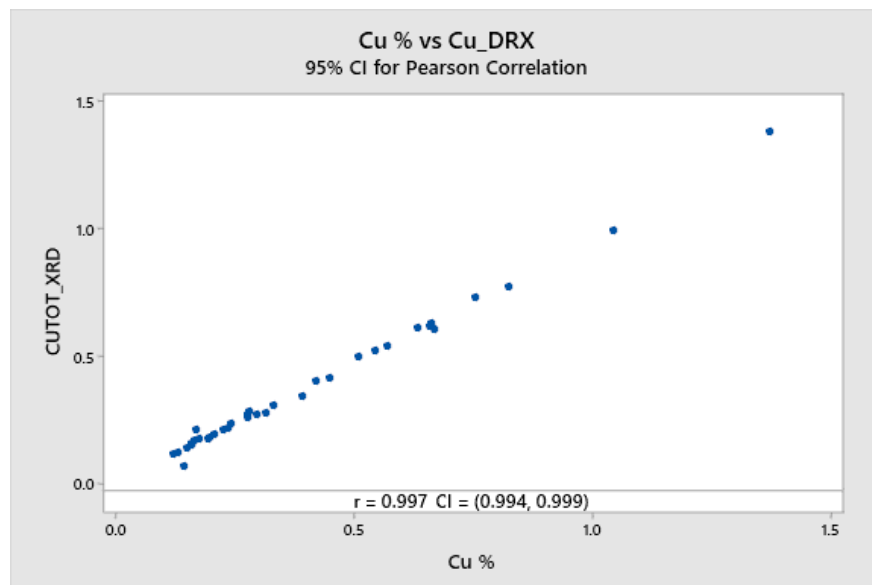


Figura 51: Correlación de Pearson de Cobre.

Cuadro 30: Resultados de las pruebas de análisis químico

ITEM	CÓDIGO	From	To	Banco	UGM	ROCA	Análisis Químico								
							Cu (%)	Fe (%)	Ag (g/t)	Au (g/t)	S Total (%)	Cu Ox (%)	Cu SS (%)	Cu CN (%)	Cu R (%)
1	AN17-76	268.8	286.3	3750	1	Diorita	0.39	2.75	0.68	0.04	0.26	0.04	0.03	0.17	0.17
2	AN18-71	200.1	220.1	3825	1	Porfido	0.23	2.44	0.56	0.04	0.15	0.04	0.03	0.14	0.07
3	AC-226	276	293	3720	2	Diorita	0.24	2.50	0.66	0.02	0.29	0.01	0.01	0.03	0.19
4	AN18-12	191.05	211.4	3840	2	Diorita	0.33	3.31	1.64	0.03	0.35	0.01	0.01	0.02	0.28
5	ATA-314	330	346.7	3705	4	Stock work	1.37	3.08	3.61	0.25	1.29	0.05	0.03	0.24	1.04
6	ANE19-08	90.95	106.15	3825	5	Skarn	0.21	13.91	0.46	0.01	6.31	0.00	0.01	0.02	0.17
7	ATA-077	51.2	65.9	3930	8	Diorita	0.13	3.85	0.33	0.01	0.23	0.06	0.03	0.03	0.07
8	AN18-91	127.7	145.2	3870	2	Diorita	0.17	1.37	0.30	0.01	0.16	0.02	0.01	0.03	0.12
9	AN17-44	140.2	155.9	3855	5	Skarn/Endoskarn	0.82	6.46	3.57	0.03	1.07	0.05	0.09	0.66	0.05
10	AN18-43	84	103.45	3855	5	Skarn/Endoskarn	0.17	6.40	0.15	0.01	0.46	0.00	0.00	0.01	0.15
11	AN18-79	143.85	161.8	3585	2	Porfido	0.22	2.50	0.48	0.02	0.14	0.03	0.03	0.13	0.07
12	AN-17-76	163.1	181.3	3840	2	Diorita	0.16	1.76	0.17	0.01	0.27	0.01	0.00	0.01	0.15
13	AN-79	146.5	163.5	3840	1	Diorita	0.66	2.55	1.52	0.15	0.47	0.05	0.05	0.24	0.35
14	ATA-031	151.5	166.4	3825	1	Diorita	0.67	2.60	1.18	0.05	0.44	0.07	0.07	0.32	0.25
15	AN17-44	186.7	203.6	3810	5	Skarn/Endoskarn	0.16	3.78	0.22	0.01	0.36	0.02	0.02	0.06	0.07
16	AN18-99	91.3	109.9	3810	1	Porfido	0.16	2.77	0.99	0.03	0.97	0.01	0.00	0.02	0.13
17	AN18-15	221.2	240.2	3810	2	Diorita	0.15	3.14	0.56	0.01	0.24	0.01	0.00	0.01	0.14
18	AN18-99	109.9	130	3795	1	Diorita	0.42	2.53	1.39	0.06	0.57	0.02	0.02	0.06	0.35
19	ATA-032	205.9	221.6	3780	1	Porfido	0.28	3.72	1.68	0.03	2.10	0.01	0.01	0.03	0.23
20	AN17-34	246.7	263.15	3765	2	Diorita	0.51	3.37	1.06	0.02	0.71	0.03	0.03	0.10	0.35
21	ATA-026	239	253.45	3750	1	Diorita	1.04	2.69	2.52	0.06	1.20	0.06	0.05	0.21	0.72
22	ATA-315	258.05	275.05	3750	1	Porfido	0.29	2.90	0.82	0.04	0.23	0.03	0.02	0.11	0.14
23	ATA-026	253.45	268.45	3735	1	Diorita	0.63	2.58	1.63	0.04	0.49	0.05	0.05	0.17	0.37
24	ATA-057	263.5	280	3720	1	Porfido	0.57	2.84	1.21	0.15	0.46	0.05	0.04	0.17	0.32
25	AN-17-76	321.30	338.80	3705.00	1	Diorita	0.75	2.84	1.22	0.10	0.76	0.04	0.04	0.16	0.50
26	AN-75	288	305.5	3690	1	Diorita	0.54	3.38	2.26	0.09	0.98	0.03	0.03	0.13	0.36
27	ANT16-102	194.1	209.1	3585	1	Porfido	0.19	3.07	0.39	0.04	0.42	0.02	0.01	0.06	0.12
28	ANT14-G34	149.2	170	3915	4	Stock work	0.12	2.22	0.26	0.02	1.14	0.00	0.00	0.01	0.11
29	AS18-15	63.5	77.2	3570	1	Porfido	0.31	1.05	0.78	0.16	0.16	0.04	0.02	0.24	0.05
30	AS18-18	116.8	134.3	3555	1	Porfido	0.28	2.92	0.59	0.05	0.15	0.04	0.03	0.19	0.06
31	ANTOX-202A	136	145.45	3900	1	Porfido	0.20	2.03	0.52	0.01	0.42	0.01	0.01	0.01	0.18
32	ANT14-G23	144.5	160	3900	1	Porfido	0.66	2.18	3.25	0.01	0.85	0.04	0.02	0.17	0.43
33	ANT14-G19	94	112	3930	2	Porfido	0.14	1.72	0.26	0.01	0.13	0.05	0.03	0.04	0.07
34	ANT14-G19	158	174.55	3870	4	Stock work	0.28	1.44	0.29	0.01	0.34	0.02	0.01	0.02	0.24
35	ANT16-04	185.05	199.95	3870	5	Skarn	0.45	16.11	0.75	0.01	0.66	0.02	0.02	0.16	0.25

Cuadro 31: Resultados de la difracción de Rayos X

			Difracción de Rayos X																
ITEM	CÓDIGO	ROCA	Albite	Oligoclase	Andesine	Plagioclase	Orthoclase	Feld Potásico	Quartz	Actinolite	Andradite, ferroan	Anhydrite	Augite Px	Biotite 1M Mica	Calcite	Chlorite IIb	Clinocllore	Diopside	
1	AN17-76	Diorita	4.88	4.37	57.30	66.54	4.20	4.20	2.33	0.87	-	-	0.62	0.15	4.09	1.32	0.33	-	
2	AN18-71	Porfido	1.61	43.16	3.27	48.04	9.80	9.80	19.34	0.15	-	-	-	2.68	2.08	3.97	-	-	
3	AC-226	Diorita	3.13	30.99	25.31	59.43	3.22	3.22	5.07	1.80	-	-	0.44	0.36	9.36	1.49	2.33	-	
4	AN18-12	Diorita	1.31	37.49	24.05	62.85	5.31	5.31	6.41	4.27	-	-	0.78	-	4.56	5.17	-	-	
5	ATA-314	Stock work	0.80	7.12	1.51	9.43	17.07	17.07	54.45	-	-	-	-	0.91	5.64	1.70	-	-	
6	ANE19-08	Skarn	1.21	16.62	4.44	22.26	1.18	1.18	3.12	9.67	0.24	-	0.20	-	18.60	5.01	8.71	0.56	
7	ATA-077	Diorita	7.37	18.97	29.89	56.24	8.79	8.79	0.59	1.11	-	-	0.87	3.41	9.92	5.53	-	-	
8	AN18-91	Diorita	3.52	11.48	45.73	60.73	12.39	12.39	1.27	4.82	-	-	3.06	1.33	3.22	1.14	-	3.95	
9	AN17-44	Skarn/Endoskarn	1.51	15.05	0.26	16.82	0.85	0.85	16.60	1.00	0.11	-	1.60	0.80	42.73	1.88	-	2.00	
10	AN18-43	Skarn/Endoskarn	2.61	4.55	14.33	21.50	5.56	5.56	7.84	2.93	-	-	2.03	6.11	24.42	8.03	-	1.76	
11	AN18-79	Porfido	2.69	20.91	23.96	47.56	12.12	12.12	18.23	1.64	-	-	-	3.09	2.31	3.40	-	-	
12	AN-17-76	Diorita	5.04	56.35	3.51	64.90	1.32	1.32	4.78	4.09	-	-	1.68	-	4.57	8.38	-	-	
13	AN-79	Diorita	2.98	43.82	14.61	61.42	8.35	8.35	4.83	4.20	-	-	1.59	-	4.25	3.67	-	-	
14	ATA-031	Diorita	3.10	24.53	30.36	57.99	8.53	8.53	6.30	2.23	-	-	1.32	2.02	4.40	5.45	1.16	-	
15	AN17-44	Skarn/Endoskarn	3.10	14.26	36.84	54.20	8.60	8.60	0.43	2.25	0.56	-	1.06	1.99	5.70	4.13	0.93	1.81	
16	AN18-99	Porfido	1.68	29.68	3.27	34.63	19.18	19.18	20.80	1.33	-	-	1.33	0.89	2.51	2.38	0.28	-	
17	AN18-15	Diorita	3.98	14.23	40.15	58.37	9.08	9.08	4.87	0.15	-	-	0.89	0.43	5.42	4.30	0.60	-	
18	AN18-99	Diorita	2.41	64.47	4.62	71.50	1.38	1.38	5.42	2.99	-	-	0.43	1.39	4.07	2.24	1.52	-	
19	ATA-032	Porfido	1.22	42.23	7.01	50.46	1.56	1.56	22.05	0.27	-	-	0.39	0.10	3.09	6.27	0.34	-	
20	AN17-34	Diorita	5.31	50.40	2.94	58.65	8.20	8.20	7.51	1.90	-	-	0.87	0.65	4.06	4.11	2.71	-	
21	ATA-026	Diorita	3.49	16.86	39.42	59.77	2.14	2.14	10.02	1.21	-	-	0.89	1.52	6.96	5.04	-	-	
22	ATA-315	Porfido	0.67	42.50	7.19	50.36	11.58	11.58	18.68	1.64	-	-	0.25	4.60	2.62	2.10	-	-	
23	ATA-026	Diorita	2.93	7.21	49.70	59.85	8.20	8.20	6.35	5.22	-	-	0.80	-	6.92	1.62	-	-	
24	ATA-057	Porfido	0.38	34.98	7.14	42.50	12.61	12.61	21.21	1.32	-	-	0.62	4.00	3.12	3.12	-	-	
25	AN-17-76	Diorita	2.27	26.02	30.51	58.79	6.50	6.50	8.31	2.42	-	-	0.65	2.08	5.17	4.30	-	-	
26	AN-75	Diorita	0.59	50.01	12.08	62.68	3.00	3.00	9.04	2.54	-	-	0.85	2.74	5.10	2.28	-	-	
27	ANT16-102	Porfido	0.28	41.67	2.14	44.09	13.37	13.37	16.76	0.89	-	-	0.88	1.78	4.09	3.26	-	-	
28	ANT14-G34	Stock work	1.30	30.98	5.10	37.37	16.40	16.40	20.14	3.29	-	-	-	3.44	4.14	2.03	-	-	
29	AS18-15	Porfido	1.93	23.80	8.02	33.75	19.40	19.40	32.61	-	-	-	0.51	0.52	3.93	0.44	-	-	
30	AS18-18	Porfido	4.14	8.26	36.10	48.49	14.14	14.14	16.55	1.81	-	-	0.75	1.10	4.66	0.62	-	-	
31	ANTOX-202A	Porfido	10.51	18.85	13.40	42.76	13.54	13.54	23.44	-	-	-	0.14	4.45	4.98	1.03	-	-	
32	ANT14-G23	Porfido	21.88	9.01	15.71	46.59	5.45	5.45	21.73	0.32	-	-	0.51	2.26	4.97	5.13	-	-	
33	ANT14-G19	Porfido	1.46	30.41	16.36	48.24	13.82	13.82	20.09	0.61	-	-	0.33	1.13	2.96	2.71	-	-	
34	ANT14-G19	Stock work	10.75	29.65	4.11	44.50	12.05	12.05	22.77	-	-	-	-	2.55	5.61	4.01	-	-	
35	ANT16-04	Skarn	7.50	2.47	3.51	13.48	4.02	4.02	5.17	0.94	1.27	-	-	2.30	29.40	6.02	-	3.08	

Cuadro 31: Resultados de la difracción de Rayos X (continuación)

ITEM	CÓDIGO	ROCA	Difraccion de Rayos X																
			Dolomite	Epidote	Gypsum	Hemalite	Hornblende	Illite	Kaolinite	Magnetite	Marcasite	Montmorillonite	Muscovite	Natrolite	Nontronite	Phlogopite	Pyrite	Pyrophyllite	Vermiculite
1	AN17-76	Diorita	0.69	-	-	-	8.51	3.80	2.64	2.93	-	-	0.00	-	-	-	0.16	0.00	-
2	AN18-71	Porfido	1.33	-	-	0.21	1.97	2.04	2.26	1.36	-	-	3.62	-	-	0.57	0.11	0.00	-
3	AC-226	Diorita	0.50	-	-	-	3.95	1.29	4.71	1.67	-	1.69	0.00	-	1.77	-	0.24	0.00	-
4	AN18-12	Diorita	0.83	-	-	-	0.68	2.85	2.82	0.87	-	-	0.00	1.04	-	-	0.14	0.56	-
5	ATA-314	Stock work	1.14	-	-	-	-	2.70	2.98	0.22	-	-	0.00	-	-	-	-	0.00	-
6	ANE19-08	Skarn	1.31	0.47	-	-	-	4.29	5.33	7.74	0.33	0.56	0.00	-	-	-	9.87	0.00	-
7	ATA-077	Diorita	0.47	-	-	0.53	1.73	2.13	2.19	3.66	-	1.97	0.00	-	-	-	0.28	0.28	-
8	AN18-91	Diorita	0.23	-	-	-	0.73	3.10	0.45	0.08	0.17	-	0.72	0.90	-	-	0.08	1.02	-
9	AN17-44	Skarn/Endoskarn	4.38	-	-	-	-	1.05	2.04	4.62	-	0.02	0.00	0.41	-	-	1.24	0.55	-
10	AN18-43	Skarn/Endoskarn	0.38	-	-	-	2.91	1.76	3.56	7.22	0.16	0.87	0.68	0.63	-	-	0.47	0.70	-
11	AN18-79	Porfido	0.10	-	-	-	1.73	2.26	2.54	1.36	-	-	1.83	1.17	-	-	0.12	0.19	-
12	AN-17-76	Diorita	0.75	-	-	0.13	0.89	2.18	2.00	0.62	-	0.93	0.00	0.76	-	-	0.14	1.41	-
13	AN-79	Diorita	0.61	-	-	-	0.35	3.82	1.90	1.34	-	0.15	0.00	1.35	-	-	0.19	0.44	-
14	ATA-031	Diorita	0.20	-	-	-	1.08	4.74	0.62	0.70	-	0.03	0.00	1.30	0.22	-	0.28	0.00	-
15	AN17-44	Skarn/Endoskarn	9.65	-	-	-	1.17	3.33	2.53	0.21	-	-	0.00	0.92	-	-	-	0.00	0.14
16	AN18-99	Porfido	6.37	-	-	0.47	0.33	1.79	4.89	0.28	-	-	0.00	0.65	-	-	0.95	0.52	-
17	AN18-15	Diorita	0.27	-	-	0.16	4.68	3.31	3.10	1.27	-	0.65	0.00	0.56	-	-	0.15	1.34	-
18	AN18-99	Diorita	0.06	-	-	0.04	0.63	3.13	1.86	0.67	-	-	0.00	0.95	-	-	0.23	0.39	-
19	ATA-032	Porfido	5.41	-	-	-	0.82	2.98	2.85	-	0.34	-	0.00	-	-	-	2.33	0.00	-
20	AN17-34	Diorita	1.16	-	-	-	1.01	2.93	2.84	1.88	-	0.17	0.00	-	-	-	-	0.00	-
21	ATA-026	Diorita	0.64	-	-	-	0.69	4.15	3.77	-	-	0.15	0.00	-	-	-	0.40	0.00	-
22	ATA-315	Porfido	0.26	-	-	-	0.99	1.91	1.73	1.46	-	0.28	0.70	-	-	-	0.12	0.00	-
23	ATA-026	Diorita	0.61	-	-	-	0.34	2.96	2.54	1.03	-	1.83	0.00	-	-	-	0.19	0.00	-
24	ATA-057	Porfido	1.18	-	-	-	3.27	1.50	2.61	1.13	-	-	0.32	-	-	-	0.14	0.00	-
25	AN-17-76	Diorita	0.77	-	-	-	0.77	2.14	3.24	1.48	-	1.02	0.00	-	-	-	0.14	0.28	-
26	AN-75	Diorita	0.93	-	0.84	-	0.39	1.89	1.52	2.09	-	2.42	0.00	-	-	-	0.28	0.00	-
27	ANTI6-102	Porfido	2.19	-	-	-	0.97	2.64	2.82	2.08	-	0.83	2.71	-	-	-	0.19	0.00	-
28	ANTI4-G34	Stock work	0.97	-	-	-	-	2.63	2.58	2.10	0.40	1.77	1.28	-	-	-	1.13	0.00	-
29	AS18-15	Porfido	0.91	-	-	-	0.80	1.97	3.91	-	-	0.16	0.08	-	-	0.41	-	0.00	-
30	AS18-18	Porfido	2.04	-	-	-	1.03	1.90	2.26	2.43	-	1.48	0.00	-	-	-	0.17	0.00	-
31	ANTOX-202A	Porfido	1.16	-	-	-	0.41	0.98	2.27	1.76	-	1.68	0.69	-	-	-	0.18	0.00	-
32	ANTI4-G23	Porfido	1.99	-	-	0.21	0.56	2.54	2.02	1.02	-	1.73	0.64	-	-	-	0.29	0.43	-
33	ANTI4-G19	Porfido	1.18	-	-	0.35	1.44	3.01	2.75	0.19	-	0.27	0.57	-	-	-	0.19	0.00	-
34	ANTI4-G19	Stock work	1.18	-	-	-	0.39	1.85	2.40	0.23	-	1.68	0.00	-	-	-	-	0.00	-
35	ANTI6-04	Skarn	1.56	-	-	0.42	0.65	2.94	2.73	20.88	-	3.89	0.00	-	-	-	0.07	0.00	-

Cuadro 31: Resultados de la difracción de Rayos X (continuación)

ITEM	CÓDIGO	ROCA	Difraccion de Rayos X						
			Bornite	Chalcocite	Chalcopyrite	Chrysocolla	Copper	Covellite	Malachite
1	AN17-76	Diorita	0.21	-	0.61	-	-	-	-
2	AN18-71	Porfido	0.18	-	0.29	-	-	-	-
3	AC-226	Diorita	-	-	0.68	-	-	-	-
4	AN18-12	Diorita	-	-	0.88	-	-	-	-
5	ATA-314	Stock work	0.28	-	3.48	-	-	-	-
6	ANE19-08	Skarn	-	-	0.56	-	-	-	-
7	ATA-077	Diorita	-	0.01	0.28	0.01	0.01	-	-
8	AN18-91	Diorita	-	-	0.61	-	-	-	-
9	AN17-44	Skarn/Endoskarn	0.65	0.25	0.35	-	-	0.06	-
10	AN18-43	Skarn/Endoskarn	-	-	0.51	-	-	-	-
11	AN18-79	Porfido	0.28	-	0.10	-	-	-	-
12	AN-17-76	Diorita	0.02	-	0.46	-	-	-	-
13	AN-79	Diorita	0.25	-	1.27	-	-	0.03	-
14	ATA-031	Diorita	0.32	0.05	1.05	-	-	-	-
15	AN17-44	Skarn/Endoskarn	0.07	-	0.32	-	-	-	-
16	AN18-99	Porfido	-	-	0.43	-	-	-	-
17	AN18-15	Diorita	-	-	0.40	-	-	-	-
18	AN18-99	Diorita	0.04	-	1.08	-	-	-	-
19	ATA-032	Porfido	-	-	0.75	-	-	-	-
20	AN17-34	Diorita	0.10	-	1.26	-	-	-	-
21	ATA-026	Diorita	0.20	-	2.40	-	-	0.05	-
22	ATA-315	Porfido	0.10	-	0.61	-	-	-	-
23	ATA-026	Diorita	0.23	-	1.28	-	-	0.03	-
24	ATA-057	Porfido	0.23	-	1.13	-	-	-	-
25	AN-17-76	Diorita	0.20	-	1.74	-	-	-	-
26	AN-75	Diorita	0.13	-	1.27	-	-	-	-
27	ANT16-102	Porfido	0.05	-	0.42	-	-	-	-
28	ANT14-G34	Stock work	-	-	0.33	-	-	-	-
29	AS18-15	Porfido	0.26	-	0.33	-	-	-	-
30	AS18-18	Porfido	0.25	0.02	0.27	-	-	0.02	-
31	ANTOX-202A	Porfido	-	-	0.52	-	-	-	-
32	ANT14-G23	Porfido	0.17	0.03	1.43	-	-	-	-
33	ANT14-G19	Porfido	-	0.03	0.11	0.02	-	-	-
34	ANT14-G19	Stock work	-	-	0.78	-	-	-	-
35	ANT16-04	Skarn	-	-	1.19	-	-	-	-

Cuadro 32: Resumen de resultados de la difracción de Rayos X.

ITEM	CÓDIGO	ROCA	Difraccion de Rayos X							
			CUTOT_XRD	TOT_ARC	PLAGIOCLASE	TOTAL_MX	TOT_CARBOANATOS	TOT_PIRIT/MARCASIT	TOT_ANHYDRITA/YESO	TOT_CLORITA
1	AN17-76	Diorita	0.34	6.45	66.54	100.00	4.78	0.16	0.00	1.65
2	AN18-71	Porfido	0.21	4.31	48.04	100.00	3.41	0.11	0.00	3.97
3	AC-226	Diorita	0.23	9.46	59.43	100.00	9.86	0.24	0.00	3.82
4	AN18-12	Diorita	0.31	7.26	62.85	100.00	5.39	0.14	0.00	5.17
5	ATA-314	Stock work	1.38	5.68	9.43	100.00	6.78	0.00	0.00	1.70
6	ANE19-08	Skarn	0.19	10.18	22.26	100.00	19.91	10.20	0.00	13.72
7	ATA-077	Diorita	0.12	6.57	56.24	100.00	10.39	0.28	0.00	5.53
8	AN18-91	Diorita	0.21	5.47	60.73	100.00	3.46	0.25	0.00	1.14
9	AN17-44	Skarn/Endoskarn	0.77	4.06	16.82	100.00	47.11	1.24	0.00	1.88
10	AN18-43	Skarn/Endoskarn	0.18	7.52	21.50	100.00	24.79	0.62	0.00	8.03
11	AN18-79	Porfido	0.21	6.16	47.56	100.00	2.41	0.12	0.00	3.40
12	AN-17-76	Diorita	0.17	7.28	64.90	100.00	5.31	0.14	0.00	8.38
13	AN-79	Diorita	0.62	7.66	61.42	100.00	4.85	0.19	0.00	3.67
14	ATA-031	Diorita	0.61	6.91	57.99	100.00	4.60	0.28	0.00	6.62
15	AN17-44	Skarn/Endoskarn	0.16	6.92	54.20	100.00	15.35	0.00	0.00	5.07
16	AN18-99	Porfido	0.15	7.84	34.63	100.00	8.88	0.95	0.00	2.66
17	AN18-15	Diorita	0.14	8.96	58.37	100.00	5.69	0.15	0.00	4.90
18	AN18-99	Diorita	0.40	6.33	71.50	100.00	4.13	0.23	0.00	3.76
19	ATA-032	Porfido	0.26	5.83	50.46	100.00	8.50	2.67	0.00	6.61
20	AN17-34	Diorita	0.50	5.94	58.65	100.00	5.21	0.00	0.00	6.82
21	ATA-026	Diorita	0.99	8.07	59.77	100.00	7.60	0.40	0.00	5.04
22	ATA-315	Porfido	0.27	3.92	50.36	100.00	2.88	0.12	0.00	2.10
23	ATA-026	Diorita	0.61	7.33	59.85	100.00	7.53	0.19	0.00	1.62
24	ATA-057	Porfido	0.54	4.11	42.50	100.00	4.30	0.14	0.00	3.12
25	AN-17-76	Diorita	0.73	6.68	58.79	100.00	5.94	0.14	0.00	4.30
26	AN-75	Diorita	0.52	5.83	62.68	100.00	6.04	0.28	0.84	2.28
27	ANT16-102	Porfido	0.18	6.29	44.09	100.00	6.27	0.19	0.00	3.26
28	ANT14-G34	Stock work	0.11	6.99	37.37	100.00	5.11	1.54	0.00	2.03
29	AS18-15	Porfido	0.28	6.04	33.75	100.00	4.84	0.00	0.00	0.44
30	AS18-18	Porfido	0.28	5.64	48.49	100.00	6.70	0.17	0.00	0.62
31	ANTOX-202A	Porfido	0.18	4.93	42.76	100.00	6.15	0.18	0.00	1.03
32	ANT14-G23	Porfido	0.63	6.72	46.59	100.00	6.96	0.29	0.00	5.13
33	ANT14-G19	Porfido	0.07	6.04	48.24	100.00	4.14	0.19	0.00	2.71
34	ANT14-G19	Stock work	0.27	5.93	44.50	100.00	6.79	0.00	0.00	4.01
35	ANT16-04	Skarn	0.41	9.56	13.48	100.00	30.96	0.07	0.00	6.02

4.3.4 Resultados de análisis de Qemscan

En el análisis químico vs TIMA se tiene una correlación directa de 0.9897 en análisis de cobre, hierro y azufre.

Para el análisis modal se tiene Calcopirita, Chalcocita y bornita siendo el promedio de 0.80, 0.03 y 0.14 respectivamente mientras que los límites máximos fueron 3.47, 0.82 y 0.49 respectivamente. En el caso de los sulfuros de hierro es la pirita y también se encontró óxidos de hierro que llegaron hasta el 21.44. La molibdenita, esfalerita y galena es muy bajo.

En cuanto a la ganga, se observó cuarzo, plagioclasas y albita siendo las plagioclasas el valor más alto con 31.31, la albita 20.68, lo cual puede tener una relación con la liberación del mineral.

Modal Full	Composición Química	Promedio	Max	Min
Chalcopyrite	CuFeS_2	0.80	3.47	0.08
Chalcocite	Cu_2S	0.03	0.82	0.00
Bornite	Cu_5FeS_4	0.14	0.49	0.00
Enargite	Cu_3AsS_4	0.00	0.00	0.00
Tennantite	$\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$	0.00	0.01	0.00
Tetrahedrite	$(\text{Cu,Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$	0.00	0.00	0.00
Other Cu Minerals	-	0.00	0.10	0.00
Pyrite	FeS_2	0.76	11.73	0.00
Fe Oxides	-	2.09	21.44	0.03
Molybdenite	MoS_2	0.01	0.07	0.00
Sphalerite	ZnS	0.00	0.03	0.00
Galena	PbS	0.00	0.07	0.00
Other Sulphides	-	0.00	0.00	0.00
Quartz	SiO_2	14.21	47.18	0.07
Plagioclase	$\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8) \text{ a } \text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$	31.31	65.31	7.21
Albite	$\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$	20.68	51.99	2.66
Other Silicates	-	1.08	5.12	0.06
Amphibole	composición variada	6.92	21.08	1.16
Apatite	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{Cl} / \text{F} / \text{OH})$	0.32	0.55	0.14
K-Feldspar	$(\text{K,Na,Ca,Ba,NH}_4)(\text{Si,Al})_4\text{O}_8$	7.72	18.20	0.54
Ankerite	$\text{Ca}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})(\text{CO}_3)_2$	1.26	12.27	0.01
Dolomite	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	0.04	0.49	0.00
Siderite	FeCO_3	0.48	6.36	0.01
Calcite	CaCO_3	4.81	43.67	0.55
Muscovite	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	0.85	5.34	0.01
Chlorite	$\text{Mg}_5\text{Al}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_8$	4.08	9.66	0.02
Biotite	$\text{K}(\text{Mg,Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	2.06	7.27	0.01
Gypsum/Anhydrite	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.04	0.89	0.00
Others	-	0.31	3.14	0.01

Figura 52: Análisis Modal

Cuadro 33: Resultados comparativos de análisis químico vs TIMA

Identificación	Assays, %					
	Cu		Fe		S	
	TIMA	Chem.	TIMA	Chem.	TIMA	Chem.
AN18-91_C30_3870	0.17	0.17	1.51	1.37	0.17	0.16
AN17-44_C31_3855	0.90	0.82	7.61	6.46	1.03	1.07
AN18-43_C31_3855	0.17	0.17	7.53	6.40	0.45	0.46
AN18-79_C31_3855	0.21	0.22	2.61	2.50	0.14	0.14
AN17-76_C32_3840	0.15	0.16	1.75	1.76	0.18	0.27
AN18-12_C32_3840	0.35	0.33	2.82	3.31	0.44	0.35
AN-79_C32_3840	0.70	0.66	2.25	2.55	0.54	0.47
ANE19-08_C33_3825	0.20	0.21	14.66	13.91	6.47	6.31
ATA-031_C33_3825	0.64	0.67	2.44	2.60	0.48	0.44
AN18-71_C33_3825	0.20	0.23	2.57	2.44	0.21	0.15
AN17-44_C34_3810	0.16	0.16	4.00	3.78	0.41	0.36
AN18-99_C34_3810	0.15	0.16	3.29	2.77	0.98	0.97
AN18-15_C34_3810	0.13	0.15	2.56	3.14	0.22	0.24
AN18-99_C35_3795	0.40	0.42	2.28	2.53	0.56	0.57
ATA-032_C36_3780	0.29	0.28	3.97	3.72	2.29	2.10
AN17-34_C37_3765	0.47	0.51	3.08	3.37	0.57	0.71
AN17-76_C38_3750	0.34	0.39	2.83	2.75	0.27	0.26
ATA-026_C38_3750	1.02	1.04	2.56	2.69	1.28	1.20
ATA-315_C38_3750	0.31	0.29	3.30	2.90	0.24	0.23
ATA-026_C39_3735	0.68	0.63	2.08	2.58	0.57	0.49

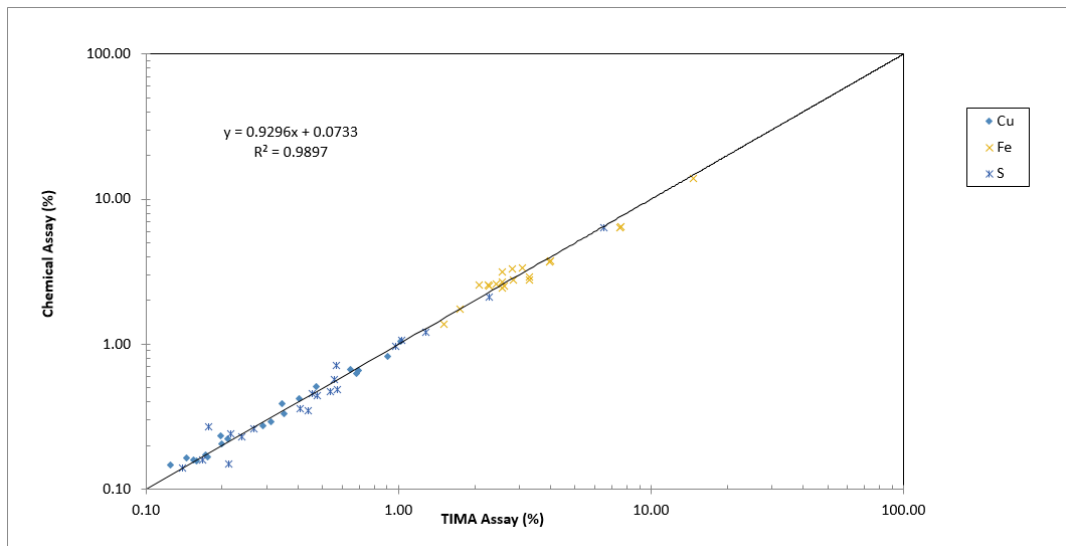


Figura 53: Gráfico de distribución de Resultados comparativos de análisis químico vs TIMA de cobre y hierro.

Cuadro 34: Resultados comparativos de análisis químico vs TIMA

Sample	Assays, %					
	Cu		Fe		S	
	TIMA	Chem.	TIMA	Chem.	TIMA	Chem.
AC-226_C40_3720	0.17	0.17	1.51	1.37	0.17	0.16
ATA-057_C40_3720	0.90	0.82	7.61	6.46	1.03	1.07
AN17-76_C41_3705	0.17	0.17	7.53	6.40	0.45	0.46
ATA-314_C41_3705	0.21	0.22	2.61	2.50	0.14	0.14
ATA-077_C26_3930	0.15	0.16	1.75	1.76	0.18	0.27
AN-75_C42_3690	0.35	0.33	2.82	3.31	0.44	0.35
ANT16-102_C49_3585	0.70	0.66	2.25	2.55	0.54	0.47
ANT14-G19_C26_3930	0.20	0.21	14.66	13.91	6.47	6.31
ANT14-G34_C27_3915	0.64	0.67	2.44	2.60	0.48	0.44
AS18-15_C50_3570	0.20	0.23	2.57	2.44	0.21	0.15
ANT14-G23_C28_3900	0.16	0.16	4.00	3.78	0.41	0.36
AS18-18_C51_3555	0.15	0.16	3.29	2.77	0.98	0.97
ANT0X-202A_C28_3900	0.13	0.15	2.56	3.14	0.22	0.24
ANT14-G19_C30_3870	0.40	0.42	2.28	2.53	0.56	0.57
ANT16-04_C30_3870	0.29	0.28	3.97	3.72	2.29	2.10

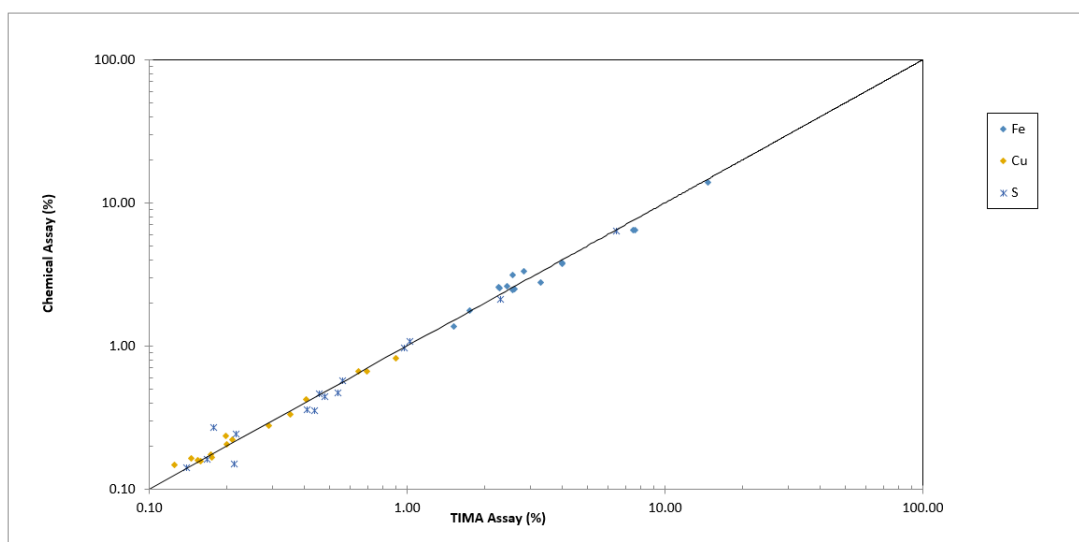


Figura 54: Gráfico de distribución de Resultados comparativos de análisis químico vs TIMA de cobre y hierro.

Composición Mineralógica

En los cuatro (04) tipos de rocas (Diorita, Skarn, Pórfido y Stock work), el contenido valioso y de interés está constituido principalmente por cobre primario calcopirita; sin embargo, es importante precisar que la litología de skarn y endoskarn presentan contenidos importantes de cobre secundario como calcocita y bornita.

La ganga está constituida en su gran mayoría por silicatos duros y filosilicatos, y en menor contenido por carbonatos (dolomina, calcita, ankerita y siderita). Óxidos de hierro y sulfuros de hierro (principalmente pirita).

En la revisión de los resultados, se resalta el contenido de carbontatos, óxido de hierro y pirita en las lotilogías de Endoskarn y Skarn; los contenidos son elevados en referencia a las otras litologías que presentan contenidos en carbonato menor a 3 %, óxido de hierro menor a 2 % y pirita menor a 1 %; esta apreciación es relevante que nos permitirá diferenciar el comportamiento metalúrgico del yacimiento. En la figura 55, se presentan el detalle de los resultados.

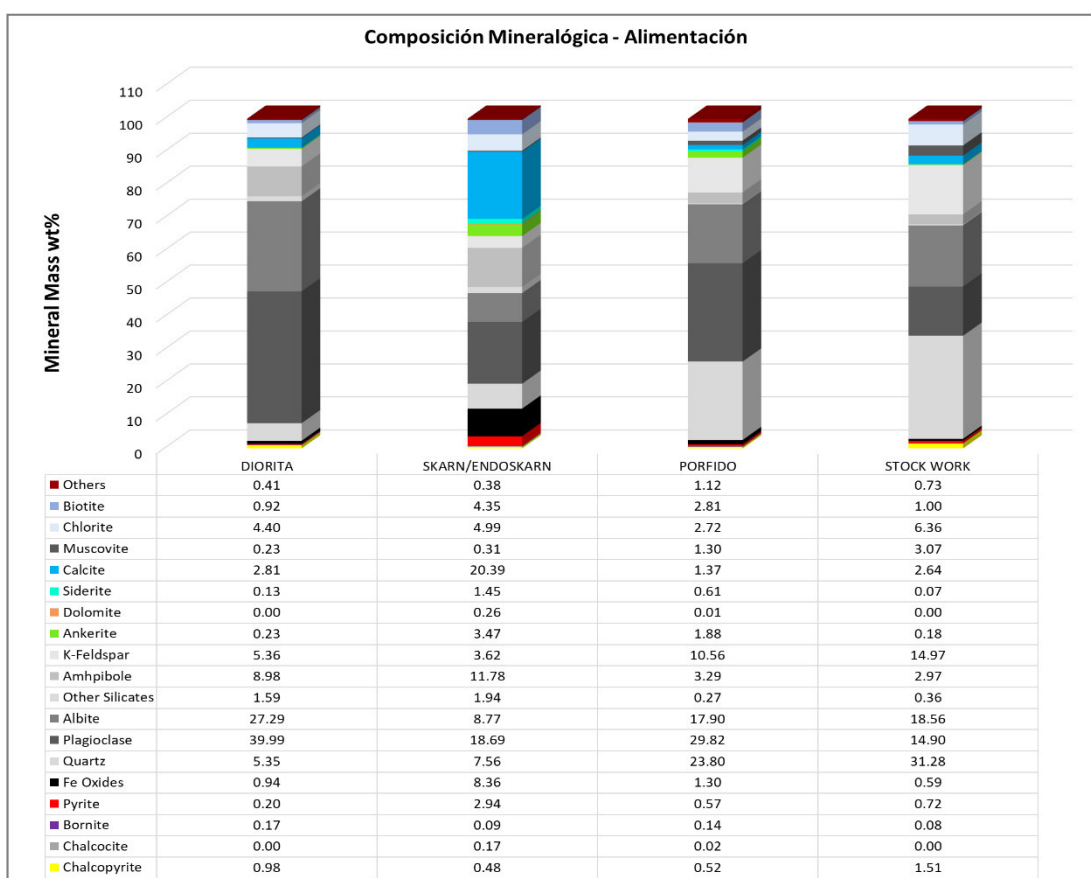


Figura 55: Composición mineralógica - Alimentación

1.1.1. Grado de liberación y Asociación mineralógica

El estudio de mineralogía se realizó a granulometría de 250 μm . En la liberación de las partículas se utilizaron las siguientes categorías, que corresponden a la liberación porcentual del área de una partícula (Color negro: Área referencial de partícula liberada).

- **Free:** Partículas liberadas mayor al 95% de su área. Fácil recuperación por flotación.

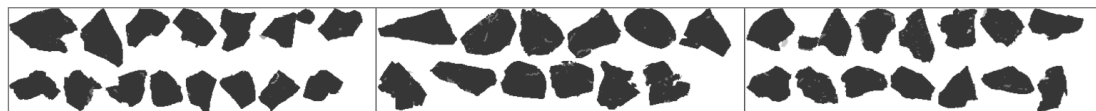


Figura 56: Categoría Free: partículas liberadas mayor al 95% de su área.

- **Liberated:** Partículas liberadas $<95\%$ & $\geq 80\%$ del área. Fácil recuperación por flotación

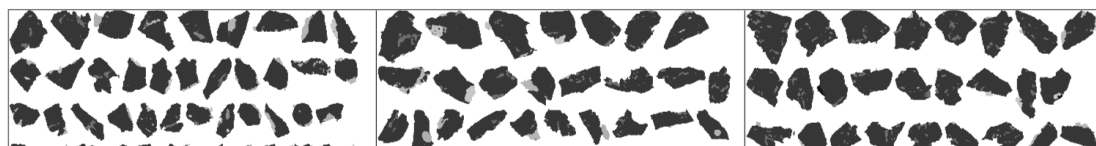


Figura 57: Categoría Liberated: partículas liberadas $<95\%$ & $\geq 80\%$ de su área.

- **Midds:** Partículas liberadas $<80\%$ & $\geq 50\%$ del área. Posible recuperación por flotación.

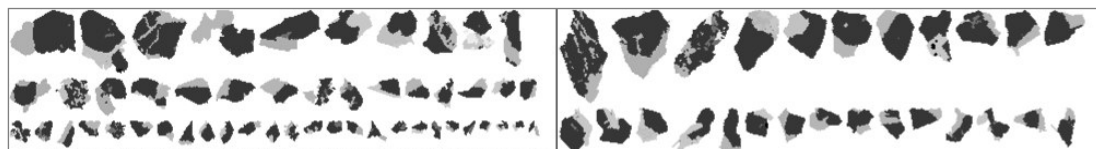


Figura 48: Categoría Midds: partículas liberadas $<80\%$ & $\geq 50\%$ de su área.

- **Sub-Midds:** Partículas liberadas $<50\%$ & $\geq 20\%$ del área. Difícil recuperación por flotación

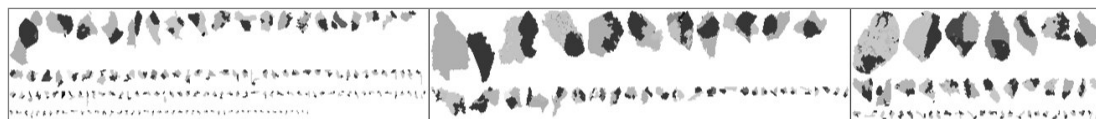


Figura 59: Categoría Sub-Midds: partículas liberadas $<50\%$ & $\geq 20\%$ de su área.

- **Locked:** Partículas liberadas $<20\%$ de su área. Difícil recuperación por flotación



Figura 60: Categoría Sub-Mids: partículas liberadas <20% de su área.

Grado de liberación

En la figura 61 se muestran los resultados del Grado de Liberación global de los minerales de cobre; la evaluación se realizó a una granulometría (P80) de 250 μm .

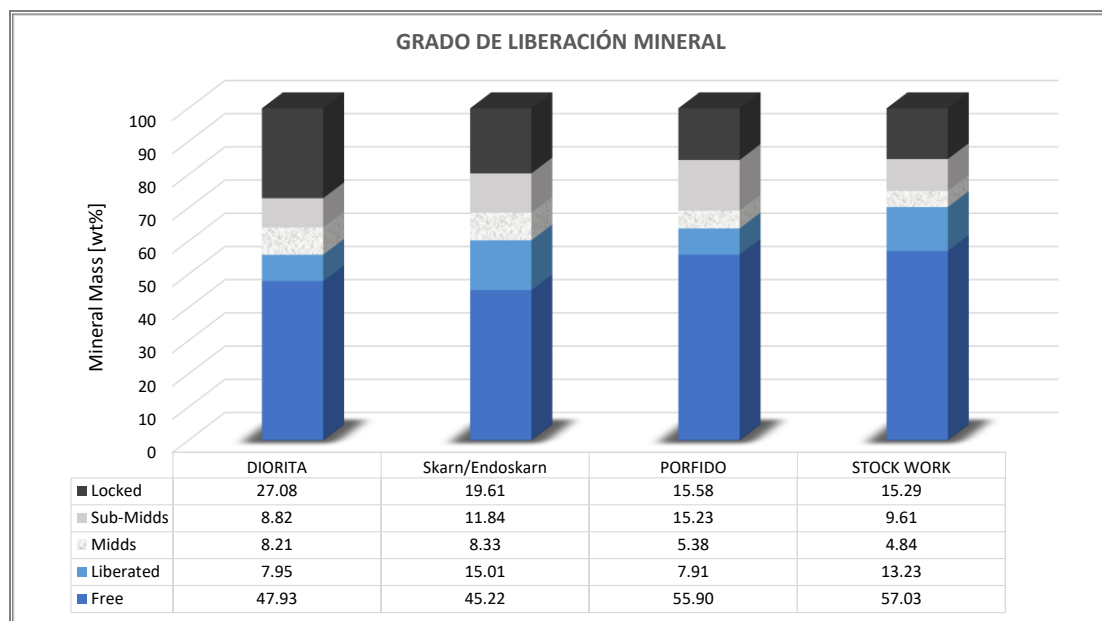


Figura 61: Grado de Liberación de los minerales de cobre - Alimentación

Del grado de liberación, se está considerando como partículas liberadas y con altas probabilidades de recuperación por proceso de concentración flotación a las partículas denominadas como “Free, Liberated y mids”, son partículas que se encuentran expuestas mayor o igual a 50% de su área superficial.

De la evaluación, todas las litologías presentan bajo grado de liberación, alrededor del 64 %, 68 %, 69 % y 75 % de los minerales de cobre en las rocas de Diorita, Skarn/endoskarn, pórfido y Stock work respectivamente, corresponde a partículas liberadas > 50% de su área.

El porcentaje restante corresponden a partículas de cobre de muy baja liberación (Sub-Mids + Locked), estas partículas presentarían dificultad para ser recuperados por el proceso de flotación. Es muy probable que, a mayor recuperación de cobre

se obtengan menor ley en el concentrado final; esto por el bajo grado de liberación y el alto grado de asociaciones mineralógicas de forma muy compleja (Locked).

Asociación mineralógica

En la mayoría de las litologías, las asociaciones mineralógicas principalmente se presentan con los silicatos duros y filosilicatos; sin embargo, en la litología Skarn/endoskarn adicionalmente se identificaron asociaciones con los carbonatos, esto alrededor de 7 % de su contenido total de cobre.

Un alto porcentaje de los contenidos de cobre se encuentran formando asociaciones muy complejas en multifase, es decir, con cuatro o más tipos de minerales.

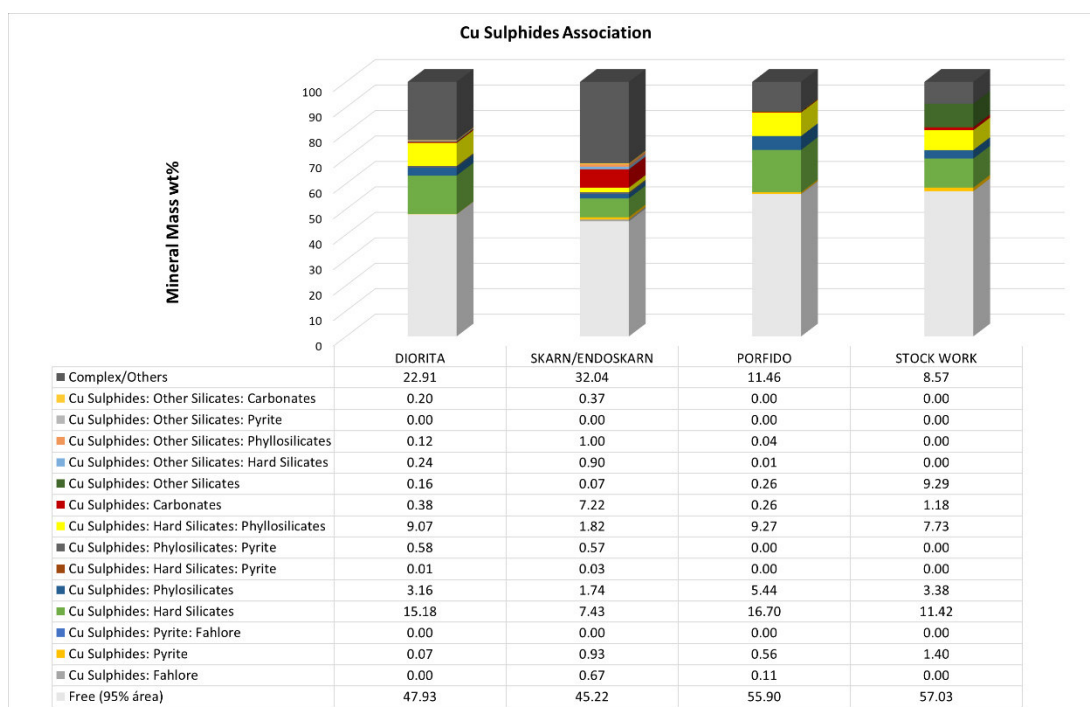


Figura 62: asociaciones mineralógicas de los sulfuros de cobre - Alimentación

Cuadro 35: Resultados del análisis Modal

Modal Full		Composición Química	AN18- 91_C30_3 870	AN17- 44_C31_3 855	AN18- 43_C31_3 855	AN18- 79_C31_3 855	AN17- 76_C32_3 3840	AN18- 12_C32_3 840	AN- 79_C32_3 3840	ANE19- 08_C33_3 3825	ATA- 031_C33_3 3825	AN18- 71_C33_3 825	AN17- 44_C34_3 3810	AN18- 99_C34_3 3810	AN18- 15_C34_3 810	AN18- 99_C35_3 3795	ATA- 032_C36_3 3780	AN17- 34_C37_3 3765	AN17- 76_C38_3 3750	ATA- 026_C38_3 3750	ATA- 315_C38_3 3750	ATA- 026_C39_3 3735
Dureza Alta	Chalcopyrite	CuFeS ₂	0.45	0.08	0.49	0.23	0.42	1.00	1.15	0.56	0.95	0.22	0.23	0.43	0.35	0.98	0.84	1.03	0.59	2.45	0.45	1.41
	Chalcocite	Cu ₂ S	0.00	0.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
	Bornite	Cu ₅ FeS ₄	0.03	0.26	0.00	0.20	0.00	0.00	0.47	0.01	0.49	0.19	0.06	0.01	0.00	0.10	0.00	0.17	0.22	0.26	0.24	0.28
	Enargite	Cu ₃ AsS ₄	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Tennantite	Cu ₁₂ As ₄ S ₁₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Tetrahedrite	(Cu,Fe)12Sb4S13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Other Cu Minerals	-	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Pyrite	FeS ₂	0.00	1.38	0.51	0.01	0.05	0.16	0.03	11.73	0.03	0.16	0.56	1.53	0.17	0.35	3.73	0.30	0.01	0.65	0.04	0.00
	Fe Oxides	-	0.03	4.21	6.56	1.66	0.08	0.70	0.72	8.27	0.81	1.59	1.34	0.32	1.16	0.73	0.16	1.41	2.01	0.33	2.47	0.60
	Molybdenite	MoS ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Dureza Media	Sphalerite	ZnS	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
	Galena	PbS	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
	Other Sulphides	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Quartz	SiO ₂	0.68	14.49	8.42	24.11	4.59	5.50	4.63	2.78	5.31	18.75	3.41	22.11	6.29	4.52	24.66	7.79	1.80	12.91	24.67	6.44
	Plagioclase	a (AlSi ₃ O ₈) a Ca (Al ₂ Si ₂ O ₇)	65.31	13.98	20.81	42.18	28.76	28.53	29.60	12.78	26.44	45.55	34.92	8.44	47.37	23.89	15.37	25.67	48.39	41.05	40.10	54.82
	Albite	Na (AlSi ₃ O ₈)	5.14	2.66	5.79	8.06	43.38	33.87	40.15	11.34	43.07	10.61	15.47	24.47	17.24	51.99	32.74	37.42	23.82	17.66	9.87	11.39
	Other Silicates	-	1.23	1.53	3.25	0.17	1.41	5.12	1.05	1.86	0.85	0.16	2.61	0.68	1.90	1.10	0.77	0.97	1.85	1.41	0.10	1.48
	Amphibole	composición variada	15.25	4.25	17.20	5.18	10.84	8.64	8.66	21.08	6.49	1.84	12.83	3.72	7.60	5.50	4.08	6.63	10.90	8.10	1.90	9.60
	Apatite	Ca ₅ (PO ₄) ₃ (Cl / F / OH)	0.24	0.41	0.31	0.38	0.30	0.28	0.28	0.19	0.26	0.55	0.23	0.33	0.23	0.38	0.29	0.33	0.27	0.20	0.38	0.36
	K-Feldspar	(K,Na,Ca,Ba,NH ₄)(Si,Al) ₄ O ₈	9.81	1.85	4.44	9.34	0.86	5.67	6.47	0.54	5.37	11.09	4.82	17.81	8.30	1.06	0.93	7.21	6.37	5.69	9.03	6.99
Dureza Baja	Ankerite	Ca (Fe ²⁺ , Mg) (CO ₃) ₂	0.09	2.00	1.59	0.01	0.16	0.23	0.66	1.25	0.10	0.01	12.27	8.36	0.23	0.15	6.18	0.34	0.11	0.18	0.13	0.23
	Dolomite	CaMg (CO ₃) ₂	0.00	0.49	0.21	0.00	0.00	0.00	0.01	0.10	0.00	0.00	0.43	0.02	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Siderite	FeCO ₃	0.01	6.36	0.06	0.21	0.01	0.04	0.08	0.12	0.08	0.23	0.55	2.38	0.06	0.17	1.95	0.09	0.28	0.02	0.29	0.04
	Calcite	CaCO ₃	1.09	43.67	18.48	0.69	3.36	3.69	1.77	13.02	1.92	0.55	4.84	2.71	2.79	2.89	2.42	2.45	1.77	3.76	0.73	3.26
	Muscovite	KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀) (OH) ₂	0.03	0.01	0.11	0.01	0.34	0.04	0.14	0.03	0.13	0.01	0.09	3.22	0.05	0.27	1.43	0.49	0.06	0.30	0.07	0.06
	Chlorite	Mg ₅ Al (AlSi ₃ O ₁₀) (OH) ₄	0.40	1.03	5.35	2.11	5.09	6.46	3.38	9.66	3.99	1.90	2.02	0.68	6.12	4.19	1.21	7.08	1.44	4.60	2.24	2.68
	Biotite	K (Mg, Fe) ₃ AlSi ₃ O ₁₀ (OH) ₂	0.19	0.25	6.32	5.39	0.24	0.02	0.72	4.66	3.67	6.54	3.27	0.05	0.05	1.66	0.01	0.41	0.09	0.30	7.27	0.33
	Gypsum/Anhydrite	CaSO ₄ · 2H ₂ O	0.01	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00
	Others	-	0.02	0.05	0.06	0.04	0.09	0.05	0.03	0.04	0.05	0.03	0.01	2.70	0.06	0.06	3.14	0.19	0.02	0.06	0.03	0.02
	Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

La dureza se clasificará en rangos, teniendo como referencia la Escala de Mohs.

<3 : Dureza Baja
>3, <6 : Dureza Media
>6 : Dureza Alta

Nota: La escala de Mohs no clasifica en estos rangos de dureza, solo se está desarrollando para fines prácticos.

Cuadro 36: Resultados del análisis Modal (Continuación)

Modal Full	Composición Química	AC- 226_C40 _3720	ATA- 057_C40 _3720	AN17- 76_C41_3 705	ATA- 314_C41_ 3705	ATA- 077_C26 _3930	AN- 75_C42_ 3690	ANT16- 102_C49_ 3585	ANT14- G19_C26 _3930	ANT14- G34_C27 _3915	AS18- 15_C50_3 570	ANT14- G23_C28 _3900	AS18- 18_C51_3 555	ANTOX- 202A_C2 8_3900	ANT14- G19_C30 _3870	ANT16- 04_C30_ 3870
Chalcopyrite	CuFeS₂	0.72	1.15	1.83	3.47	0.11	1.26	0.36	0.22	0.35	0.09	1.36	0.28	0.59	0.70	1.07
Chalcocite	Cu₂S	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.11	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00
Bornite	Cu₅FeS₄	0.01	0.22	0.28	0.25	0.00	0.28	0.09	0.00	0.00	0.34	0.26	0.12	0.00	0.00	0.14
Enargite	Cu ₃ AsS ₄	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tennantite	Cu ₁₂ As ₄ S ₁₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Tetrahedrite	(Cu,Fe) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Other Cu Minerals	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pyrite	FeS₂	0.22	0.00	0.23	0.11	0.60	0.19	0.18	0.13	1.83	0.03	0.67	0.00	0.31	0.22	0.54
Fe Oxides	-	1.34	1.66	0.99	1.25	1.49	1.70	2.81	0.92	0.10	0.34	0.30	2.63	0.77	0.42	21.44
Molybdenite	MoS ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.03	0.02	0.00	0.02
Sphalerite	ZnS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Galena	PbS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Other Sulphides	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Quartz	SiO ₂	4.91	22.21	7.22	47.18	0.07	7.64	18.12	22.98	22.87	39.33	25.65	18.14	24.82	23.78	8.72
Dureza Alta Plagioclase	a(AlSi ₃ O ₈) a Ca(Al ₂ Si ₂ O ₇)	41.50	36.03	49.15	7.21	43.63	45.71	42.16	35.82	9.51	15.85	16.80	38.07	21.47	27.98	10.96
Albite	Na(AlSi ₃ O ₈)	25.68	10.06	18.61	3.58	21.13	18.78	11.95	16.36	30.22	22.89	34.07	12.28	21.44	21.89	8.57
Other Silicates	-	1.30	0.12	0.65	0.30	2.77	0.80	0.26	0.11	0.51	0.06	0.15	0.34	0.35	0.27	0.45
Ampibole	composición variada	13.05	1.41	6.27	6.09	11.39	5.76	3.51	3.19	1.16	4.29	2.08	4.64	3.69	1.66	3.57
Apatite	Ca ₅ (PO ₄) ₃ (Cl/F/OH)	0.35	0.31	0.40	0.19	0.14	0.20	0.35	0.51	0.42	0.31	0.41	0.36	0.37	0.37	0.21
Dureza Medi K-Feldspar	(K,Na,Ca,Ba,NH ₄)(Si,Al) ₄ O ₈	1.97	16.15	4.01	18.20	7.19	3.46	10.68	10.90	15.11	9.71	3.77	14.18	13.08	11.60	6.44
Ankerite	Ca(Fe ²⁺ ,Mg)(CO ₃) ₂	0.21	0.04	0.12	0.51	0.56	0.14	2.29	0.02	0.02	0.30	1.01	3.44	0.75	0.02	0.24
Dolomite	CaMg(CO ₃) ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.05
Siderite	FeCO ₃	0.35	0.17	0.34	0.13	0.20	0.25	0.27	0.15	0.04	0.47	0.05	1.07	0.07	0.05	0.15
Calcite	CaCO ₃	4.31	0.85	2.66	3.17	4.31	2.15	1.19	0.74	2.62	1.38	1.76	1.38	1.98	2.12	21.94
Dureza Baja Muscovite	KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂	0.67	0.05	0.29	1.23	0.15	0.39	0.15	1.34	5.34	1.43	3.54	0.07	4.27	2.63	1.31
Chlorite	Mg ₅ Al(AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₈	3.22	2.78	4.89	5.32	4.35	8.19	2.75	4.93	8.56	0.02	7.37	1.21	5.43	5.20	6.87
Biotite	K(Mg,Fe) ₃ AlSi ₃ O ₁₀ (OH) ₂	0.05	6.70	1.97	1.37	1.87	2.15	2.51	1.36	0.90	1.82	0.14	1.59	0.30	0.75	7.22
Gypsum/Anhydrite	CaSO ₄ ·2H ₂ O	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.89	0.27	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.04	0.01
Others	-	0.10	0.08	0.09	0.41	0.02	0.08	0.06	0.29	0.44	1.24	0.47	0.07	0.29	0.30	0.09
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

La dureza se clasificará en rangos, teniendo como referencia la Escala de Mohs.

<3 : Dureza Baja

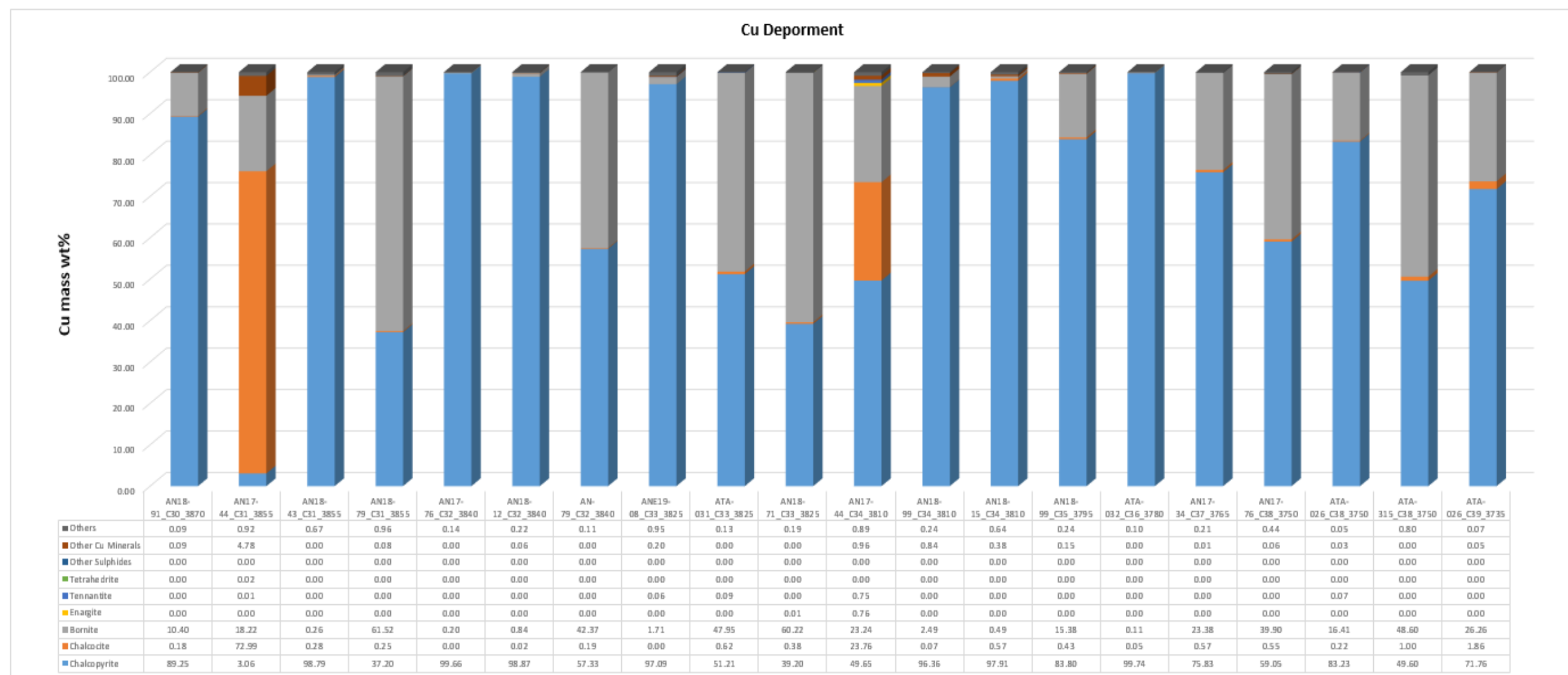
>3, <6 : Dureza Media

>6 : Dureza Alta

Nota: La escala de Mohs no clasifica en estos rangos de dureza, solo se está desarrollando para fines prácticos.

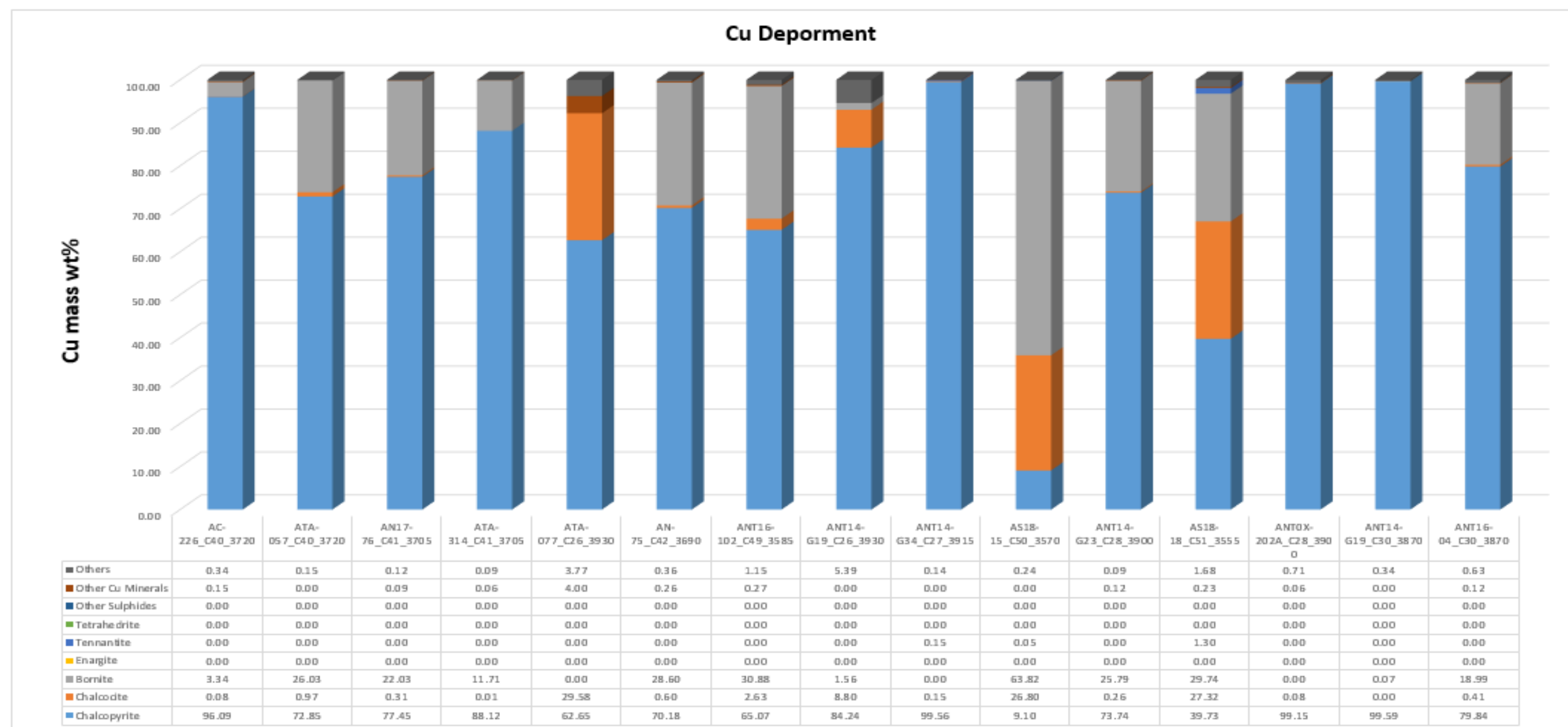
Cuadro 37: Resultados del análisis Department

Normalized Cu Department	AN18- 91_C30_3 870	AN17- 44_C31_3 855	AN18- 43_C31_3 855	AN18- 79_C31_3 855	AN17- 76_C32_3 3840	AN18- 12_C32_3 840	AN- 79_C32_3 3840	ANE19- 08_C33_3 3825	ATA- 031_C33_3 3825	AN18- 71_C33_3 825	AN17- 44_C34_3 3810	AN18- 99_C34_3 3810	AN18- 15_C34_3 810	AN18- 99_C35_3 3795	ATA- 032_C36_3 3780	AN17- 34_C37_3 3765	AN17- 76_C38_3 3750	ATA- 026_C38_3 3750	ATA- 315_C38_3 3750	ATA- 026_C39_3 3735
Chalcopyrite	89.25	3.06	98.79	37.20	99.66	98.87	57.33	97.09	51.21	39.20	49.65	96.36	97.91	83.80	99.74	75.83	59.05	83.23	49.60	71.76
Chalcocite	0.18	72.99	0.28	0.25	0.00	0.02	0.19	0.00	0.62	0.38	23.76	0.07	0.57	0.43	0.05	0.57	0.55	0.22	1.00	1.86
Bornite	10.40	18.22	0.26	61.52	0.20	0.84	42.37	1.71	47.95	60.22	23.24	2.49	0.49	15.38	0.11	23.38	39.90	16.41	48.60	26.26
Enargite	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tennantite	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.09	0.00	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00
Tetrahedrite	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Other Sulphides	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Other Cu Minerals	0.09	4.78	0.00	0.08	0.00	0.06	0.00	0.20	0.00	0.00	0.96	0.84	0.38	0.15	0.00	0.01	0.06	0.03	0.00	0.05
Others	0.09	0.92	0.67	0.96	0.14	0.22	0.11	0.95	0.13	0.19	0.89	0.24	0.64	0.24	0.10	0.21	0.44	0.05	0.80	0.07
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



Cuadro 38: Resultados del análisis Department (Continuación)

Normalized Cu Department	AC-226_C40_3720	ATA-057_C40_3720	AN17-76_C41_3705	ATA-314_C41_3705	ATA-077_C26_3930	AN-75_C42_3690	ANT16-102_C49_3585	ANT14-G19_C26_3930	ANT14-G34_C27_3915	AS18-15_C50_3570	ANT14-G23_C28_3900	AS18-18_C51_3555	ANTOX-202A_C28_3900	ANT14-G19_C30_3870	ANT16-04_C30_3870
Chalcopyrite	96.09	72.85	77.45	88.12	62.65	70.18	65.07	84.24	99.56	9.10	73.74	39.73	99.15	99.59	79.84
Chalcocite	0.08	0.97	0.31	0.01	29.58	0.60	2.63	8.80	0.15	26.80	0.26	27.32	0.08	0.00	0.41
Bornite	3.34	26.03	22.03	11.71	0.00	28.60	30.88	1.56	0.00	63.82	25.79	29.74	0.00	0.07	18.99
Enargite	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tennantite	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.05	0.00	1.30	0.00	0.00	0.00
Tetrahedrite	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Other Sulphides	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Other Cu Minerals	0.15	0.00	0.09	0.06	4.00	0.26	0.27	0.00	0.00	0.00	0.12	0.23	0.06	0.00	0.12
Others	0.34	0.15	0.12	0.09	3.77	0.36	1.15	5.39	0.14	0.24	0.09	1.68	0.71	0.34	0.63
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



Distribución del tamaño de las partículas,

Cuando la liberación es mayor en la especie valiosa este puede dar como resultado un aumento de la recuperación metalúrgica en el tipo de mineral que se esta tratando, los minerales están íntimamente asociados unos a otros y también con las gangas. El tamaño de las partículas que son óptimos es donde la partícula esta representada por una sola especie mineralógica, esta condición mejora la adhesión de las partículas con la burbuja. Se puede estimar realizando un análisis de las fracciones de tamaño, el cual es tamizado del mineral que fue molido y utilizando un microscopio se puede realizar la curva de recuperación de la flotación y la granulometría

El tamaño que tienen las partículas puede tener consecuencias en los procesos físicos de impacto, adhesión y separación entre las partículas y las burbujas. Bajo estas condiciones la granulometría es una variable sobre la cual se debe poner más énfasis en su control, debido a su efecto en la recuperación metalúrgica y en la selectividad del concentrado final, así como, por la alta incidencia que tiene en los costos de operación del proceso global de concentración.

En el análisis de la distribución de las partículas se tiene la siguiente distribución a un P80 de 240 micrones llegando a 83.72% menores.

Cuadro 39: Distribución de tamaño de las partículas

Tamaño de partícula	Promedio
<35.00	14.71
≥35.00<53.00	5.54
≥53.00<75.00	7.35
≥75.00<106.00	11.73
≥106.00<150.00	17.82
≥150.00<212.00	21.02
≥212.00<240.00	5.54
≥240.00	16.28
Total de partículas	100.00

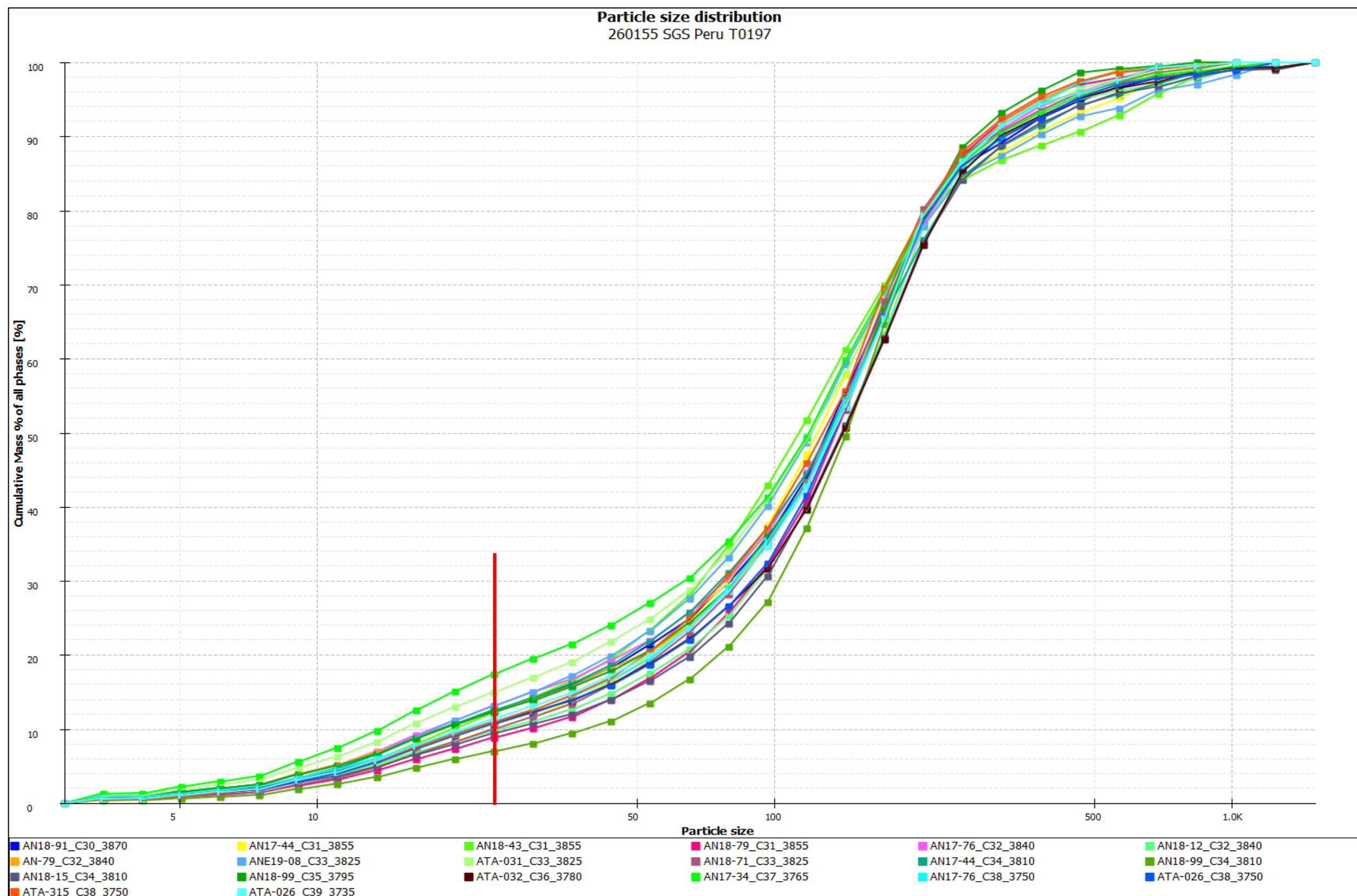


Figura 63: Análisis de la distribución de tamaño de las partículas

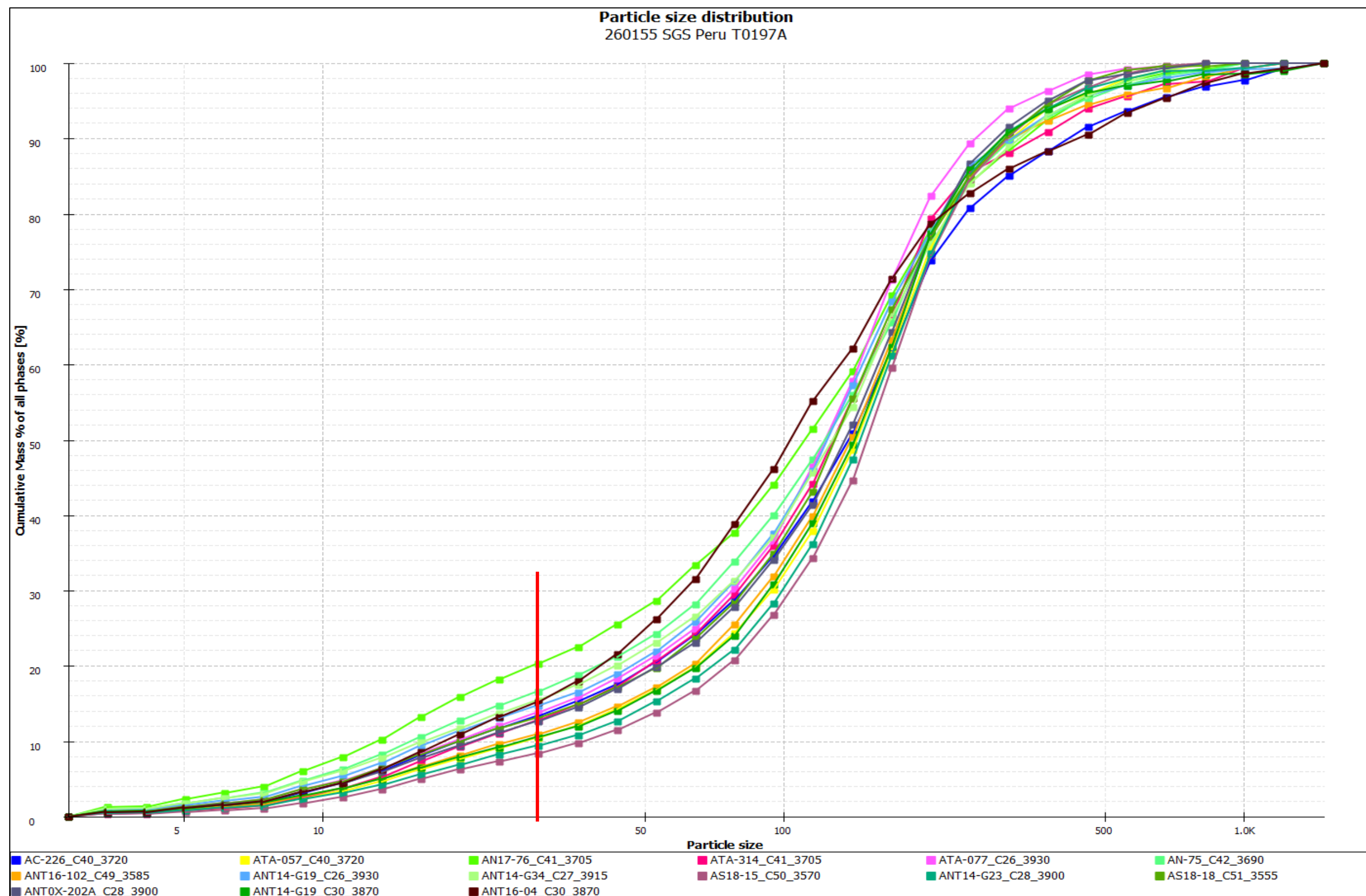


Figura 64: Análisis de la distribución de tamaño de las partículas

Apartir de las muestras de cabeza se observa que la mineralogía principal es la calcopirita con 73%, seguido con la bornita 20% y posterior la calcocita con 6% (cuadro 44).

Cuadro 40: Mineralogía normalizada al cobre en muestras de cabeza

Normalized Cu Department	Max	Min	Promedio
Calcopirita	99.74	3.06	73.03
Calcosina	72.99	0.00	5.77
Bornita	63.82	0.00	20.07
Enargita	0.76	0.00	0.02
Tennantita	1.30	0.00	0.07
Tetraedrita	0.02	0.00	0.00
Otros sulfuros	0.00	0.00	0.00
Otros minerales de Cu	4.78	0.00	0.37
Otros	5.39	0.05	0.66

Con respecto al grado de liberación se observó que en promedio el 21% de las muestras se encuentran ocluidas, mientras que 11% se encuentra sub-midds, el 7% de midds, liberado esta 9.61% y libre de 51% (cuadro 45). A continuación, se observa las descripciones de las áreas y los porcentajes del grado de liberación (cuadro 46).

Cuadro 41: Grado de liberación de minerales de cobre normalizado de relaves

Legenda
Libre: 95% área
Liberado: 80% área & 50% perímetro libre
Midds: 50% área & 20% perímetro libre
Sub-Midds: 20% área & 10% perímetro libre
Locked: Ocluido

Mineral Mass [wt%]	Normalized Cu sulphides Liberation	Global
	Libre	50.76
	Liberado	9.61
	Midds	6.90
	Sub-Midds	11.59
	Locked	21.15

Cuadro 42: Resultados de Asociaciones normalizado de sulfuros de cobre (cabeza)

Normalized Cu Sulphides Association	AN18- 91_C30_	AN17- 44_C31_	AN18- 43_C31	AN18- 79_C31	AN17- 76_C32_	AN18- 12_C32	AN- 79_C32_	ANE19- 08_C33	ATA- 031_C33	AN18- 71_C33	AN17- 44_C34	AN18- 99_C34	AN18- 15_C34	AN18- 99_C35	ATA- 032_C36_	AN17- 34_C37	AN17- 76_C38_	ATA- 026_C38	ATA- 315_C38	ATA- 026_C39
	3870	3855	3855	3855	3840	3840	3840	3825	3825	3825	3810	3810	3810	3795	3780	3765	3750	3750	3750	3735
Free (95% área)	63.20	49.55	58.01	80.48	35.14	28.53	57.11	26.35	45.93	54.58	36.86	40.23	37.57	40.98	74.33	35.06	57.76	48.05	53.02	55.84
Cu Sulphides: Fahlore	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cu Sulphides: Pyrite	0.00	0.41	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	3.09	0.00	0.00	1.12	0.00	0.00	0.00	0.78	0.01	0.00	0.94	0.00	0.00
Cu Sulphides: Pyrite: Fahlore	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cu Sulphides: Hard Silicates	8.81	2.71	3.37	5.07	30.72	13.72	16.01	20.51	12.85	37.26	9.69	19.89	29.23	16.29	7.63	15.56	11.16	11.46	25.14	8.53
Cu Sulphides: Phyllosilicates	0.07	0.67	0.06	0.27	0.89	4.23	2.76	1.74	6.26	2.02	0.47	5.17	0.98	1.67	0.03	1.24	4.45	7.68	14.02	9.29
Cu Sulphides: Hard Silicates: Pyrite	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Cu Sulphides: Phyllosilicates: Pyrite	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.80	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cu Sulphides: Hard Silicates:	3.11	2.22	0.15	5.26	6.47	5.55	8.73	3.02	14.69	4.19	2.63	9.68	8.50	17.89	0.43	19.09	1.14	7.67	3.16	8.83
Cu Sulphides: Carbonates	0.44	6.25	3.36	0.00	0.52	0.09	0.72	6.85	0.11	0.14	12.73	0.11	0.00	0.21	0.18	0.18	1.04	1.73	0.04	0.23
Cu Sulphides: Other Silicates	0.38	0.21	0.08	0.00	0.00	0.32	0.07	0.06	0.58	0.00	0.00	2.55	0.24	0.00	0.00	0.22	0.00	0.04	0.00	0.38
Cu Sulphides: Other Silicates: Hard Silicates	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	1.71	0.16	0.00	0.01	0.00	4.52	0.00	0.00	0.05	0.00	1.52	0.00	0.00	0.00	0.02
Cu Sulphides: Other Silicates: Phyllosilicates	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	1.41	0.04	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.30	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cu Sulphides: Other Silicates: Pyrite	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cu Sulphides: Other Silicates: Carbonates	0.00	0.11	0.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.73	0.00	2.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Complex/Others	23.98	37.86	34.05	8.91	26.24	45.79	13.04	35.39	19.57	1.48	27.88	22.36	20.52	22.61	16.49	27.12	24.44	22.43	4.62	16.89
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Normalized Cu Sulphides Association	AC- 226_C40	ATA- 057_C40_	AN17- 76_C41	ATA- 314_C41	ATA- 077_C26	AN- 75_C42_	ANT16- 102_C49	ANT14- G19_C26_	ANT14- G34_C27	AS18- 15_C50_	ANT14- G23_C28_	AS18- 18_C51_	ANTOX- 202A_C28	ANT14- G19_C30	ANT16- 04_C30_
	3720	3720	3705	3705	3930	3690	3585	3930	3915	3570	3900	3555	3900	3870	3870
Free (95% área)	26.16	68.25	46.70	56.25	89.56	51.40	62.64	42.50	43.49	40.52	42.72	70.03	41.54	71.34	55.31
Cu Sulphides: Fahlore	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.27	0.00	0.00	0.00
Cu Sulphides: Pyrite	0.00	0.00	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	4.19	0.00	0.06	0.00	5.86	0.00	0.01
Cu Sulphides: Pyrite: Fahlore	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cu Sulphides: Hard Silicates	23.08	10.88	15.84	20.48	5.05	9.36	8.99	10.96	9.35	13.06	22.61	17.85	21.01	4.43	0.84
Cu Sulphides: Phyllosilicates	1.80	4.73	3.78	2.70	0.07	2.16	4.96	0.98	2.39	23.83	4.29	0.18	4.80	5.07	5.74
Cu Sulphides: Hard Silicates: Pyrite	0.04	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cu Sulphides: Phyllosilicates: Pyrite	0.00	0.00	8.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cu Sulphides: Hard Silicates: Phyllosilicates	9.11	9.73	12.88	7.03	0.00	12.44	13.60	16.01	7.58	20.07	12.40	1.31	15.38	8.60	1.06
Cu Sulphides: Carbonates	0.21	2.25	0.13	0.77	0.00	0.09	0.02	0.00	0.35	0.08	0.24	0.00	0.05	2.42	6.94
Cu Sulphides: Other Silicates	0.07	0.00	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	27.84	0.00	0.02	0.00	0.55	0.00	0.00
Cu Sulphides: Other Silicates: Hard Silicates	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.14	0.00	0.00	0.00
Cu Sulphides: Other Silicates: Phyllosilicates	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.96
Cu Sulphides: Other Silicates: Pyrite	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cu Sulphides: Other Silicates: Carbonates	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.11
Complex/Others	39.41	4.16	11.73	12.75	5.32	24.55	9.79	29.54	4.81	2.46	17.65	9.22	10.81	8.14	25.02
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Total Copper Sulphides: Chalcocite, Bornite, Chalcopyrite
Fahlore: Enargite, Tennantite, Tetrahedrite
Hard Silicates: Quartz, Albite, Plagioclase, K-Fe
Phyllosilicates: Muscovite, Biotite, Chlorite
Carbonates: Siderite, Dolomite, Ankerite, Calcite

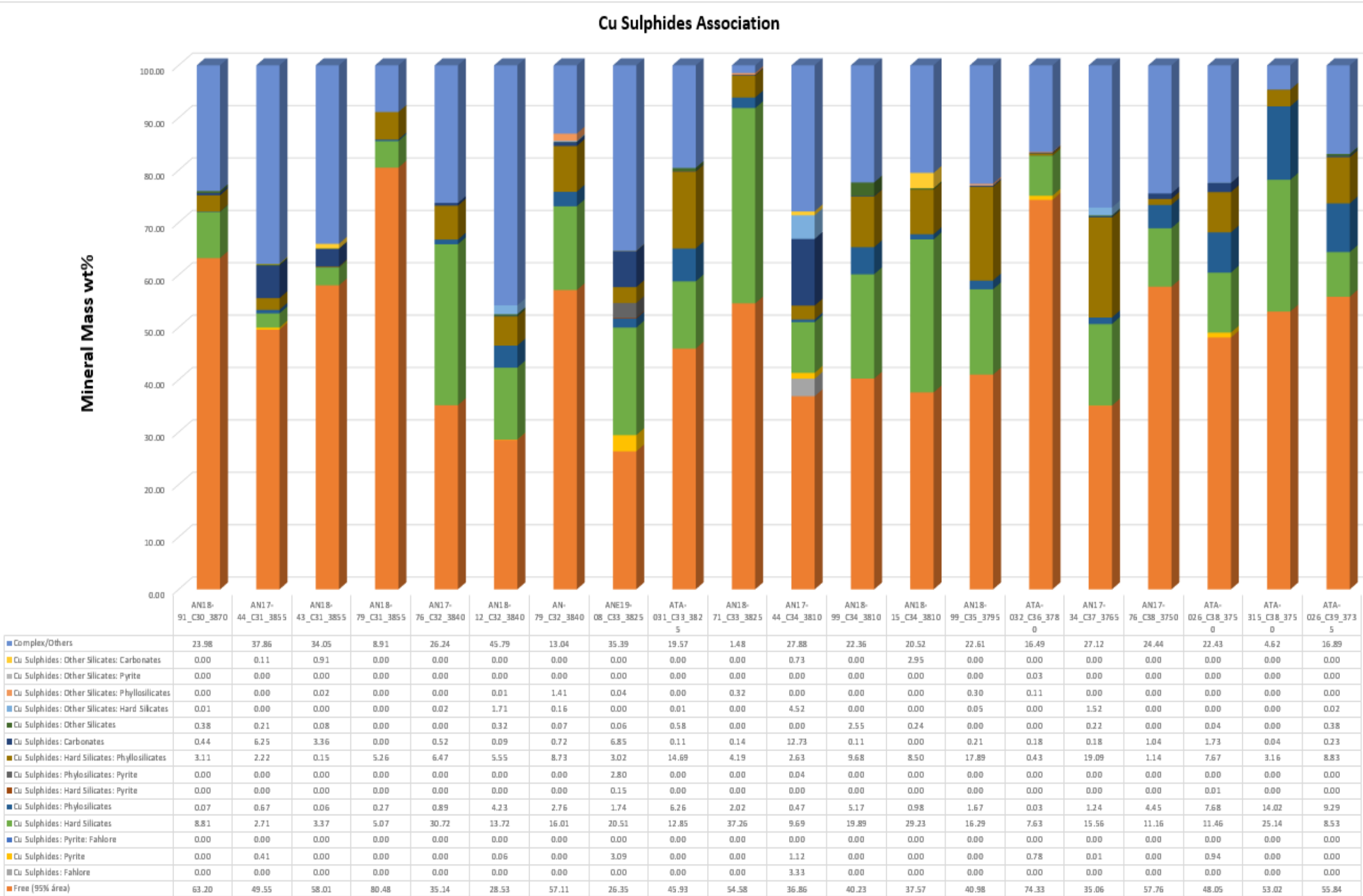


Figura 65: Gráfico de Resultados de Asociaciones normalizado de sulfuros de cobre.

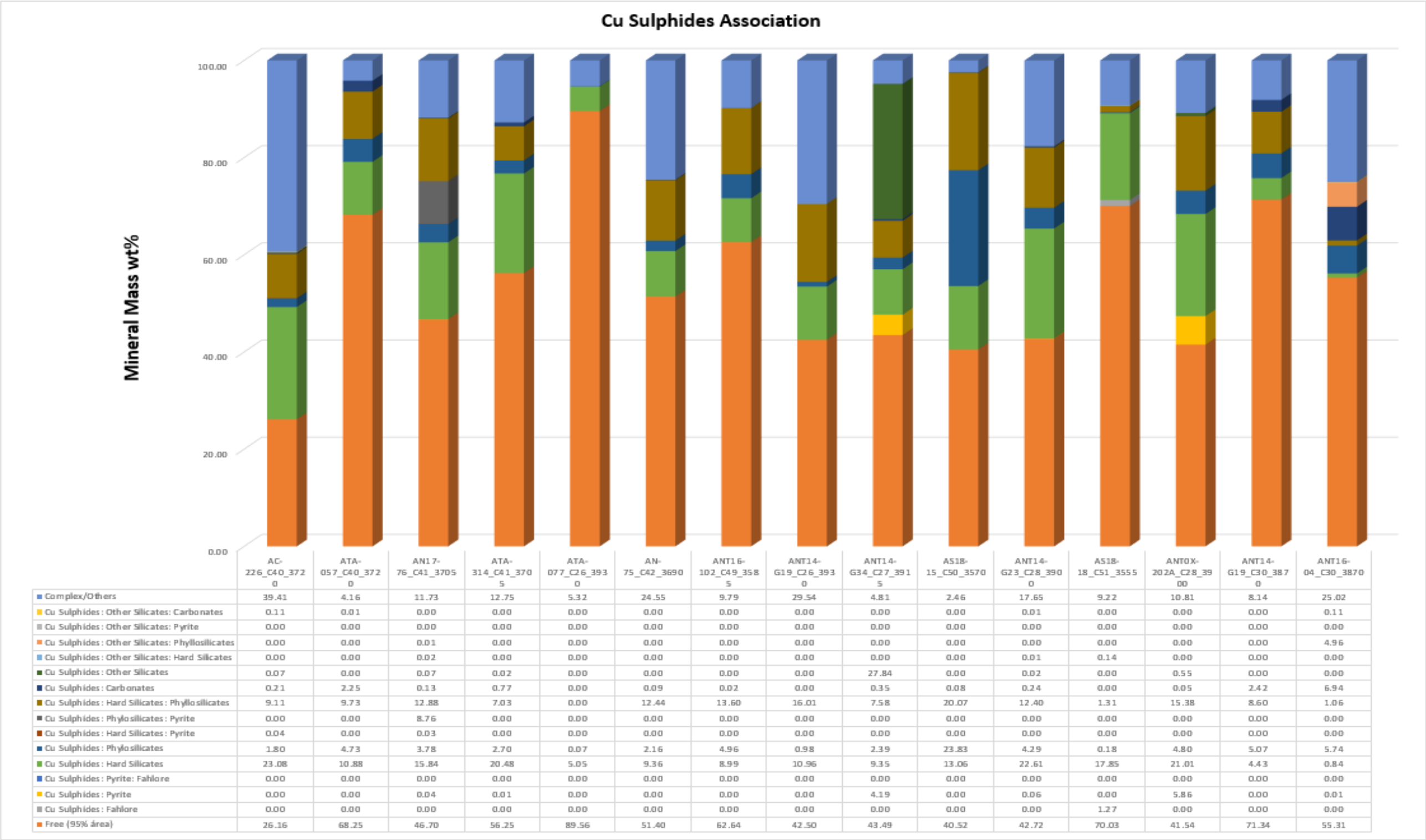


Figura 66: Gráfico de Resultados de Asociaciones normalizado de sulfuros de cobre (Continuación)

4.3.5 Resultados de pruebas de flotación

Cuadro 42: Resultados de las pruebas de flotación de cobre, oro, plata.

ITEM	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA	T= 1' Cu, %	T= 2' Cu, %	T= 4' Cu, %	T= 8' Cu, %	T= 10' Cu, %	T= 16' Cu, %	Relave Final, %	T= 16' Ag, %	Relave Final, Ag	T= 16' Au	Relave Final, Au
1	200848003	78.85	86.63	89.71	91.11	91.59	92.59	7.41	91.06	8.94	81.61	18.39
2	200837001	63.66	80.27	84.71	85.77	85.93	86.25	13.75	73.86	26.14	70.04	29.96
3	200837004	63.65	79.76	84.70	85.56	85.76	86.15	13.85	75.24	24.76	72.61	27.39
4	200837007	73.63	87.80	91.73	92.64	92.81	93.19	6.81	98.31	1.69	78.19	21.81
5	200839003	62.22	76.62	82.74	84.97	85.23	85.75	14.25	86.66	13.34	51.85	48.15
6	200840006	55.43	71.01	79.14	80.56	80.78	81.27	18.73	88.64	11.36	53.81	46.19
7	200841003	68.00	82.17	87.75	89.69	90.06	90.82	9.18	90.03	9.97	71.75	28.25
8	200841005	65.49	80.34	85.58	86.80	87.01	87.46	12.54	79.22	20.78	75.56	24.44
9	200843002	54.80	75.72	84.57	86.51	86.75	87.23	12.77	84.23	15.77	66.35	33.65
10	200843007	60.33	80.36	87.74	89.56	89.89	90.61	9.39	83.37	16.63	73.87	26.13
11	200844006	61.46	75.56	82.57	83.79	84.14	84.88	15.12	82.84	17.16	73.56	26.44
12	200845003	49.08	73.83	85.99	89.02	89.50	90.48	9.52	85.43	14.57	76.52	23.48
13	200845007	61.38	77.61	82.91	84.41	84.87	85.84	14.16	81.27	18.73	66.40	33.60
14	200847007	72.95	87.33	92.69	93.74	94.05	94.68	5.32	99.40	0.60	95.41	4.59
15	200845005	35.07	45.11	51.61	54.85	55.95	58.35	41.65	30.07	69.93	44.32	55.68
16	200847002	53.21	63.47	69.37	71.16	71.67	72.77	27.23	63.05	36.95	58.34	41.66
17	200847004	61.15	79.71	84.93	86.88	87.37	88.38	11.62	72.21	27.79	75.08	24.92
18	200849002	61.28	79.90	86.93	88.84	89.15	89.83	10.17	66.00	34.00	74.62	25.38
19	200835001	68.25	77.00	79.45	80.49	80.79	81.40	18.60	23.62	76.38	43.52	56.48
20	200836002	55.74	70.10	77.41	79.41	79.58	79.94	20.06	58.89	41.11	69.26	30.74
21	200836005	60.89	74.55	81.45	83.06	83.32	83.85	16.15	57.00	43.00	69.72	30.28
22	200836006	56.00	70.71	78.95	80.41	80.73	81.40	18.60	75.67	24.33	45.95	54.05
23	200838002	32.16	48.57	63.30	65.24	65.68	66.62	33.38	69.24	30.76	64.87	35.13
24	200838003	49.78	68.65	83.13	84.71	84.98	85.56	14.44	76.53	23.47	69.80	30.20
25	200838004	57.39	72.13	77.95	79.50	79.89	80.68	19.32	69.70	30.30	25.18	74.82
26	200840003	60.59	78.98	91.43	93.54	93.64	93.89	6.11	91.34	8.66	53.62	46.38
27	200842004	71.97	82.84	87.20	88.54	88.90	89.66	10.34	85.49	14.51	71.92	28.08
28	200843005	47.47	61.00	70.49	73.31	74.23	76.20	23.80	67.44	32.56	72.36	27.64
29	200846007	68.60	80.62	84.32	86.29	86.77	87.81	12.19	96.47	3.53	72.49	27.51
30	200848006	70.56	81.41	87.41	89.13	89.44	90.11	9.89	96.27	3.73	91.18	8.82
31	200850001	74.77	87.29	91.69	92.99	93.27	93.90	6.10	65.70	34.30	69.34	30.66
32	200850002	63.29	76.44	81.80	83.70	84.41	85.96	14.04	63.39	36.61	18.70	81.30
33	200836001	29.82	47.01	64.93	69.85	70.46	71.76	28.24	44.42	55.58	21.27	78.74
34	200837002	20.60	36.15	54.95	67.92	68.79	70.66	29.34	34.32	65.68	26.13	73.87
35	200835003	35.35	57.75	69.29	71.26	71.55	72.15	27.85	68.58	31.42	59.47	40.53

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 43: Resultados de las pruebas de flotación de Limpieza de cobre y hierro.

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS			FLOTACIÓN DE LIMPIEZA, LEYES COBRE						FLOTACIÓN DE LIMPIEZA, RECUPERACIÓN COBRE						FLOTACIÓN DE LIMPIEZA, LEYES HIERRO						FLOTACIÓN DE LIMPIEZA, RECUPERACIÓN HIERRO				
ITEM	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA		Cabeza Calculada, %	Conc. Ceaner 2	Relave Ceaner 2	Relave Ceaner 1	Conc. Ro-Scv	Relave Final	Conc. Ceaner 2	Relave Ceaner 2	Relave Ceaner 1	Conc. Ro-Scv	Relave Final	Cabeza Calculada, %	Conc. Ceaner 2	Relave Ceaner 2	Relave Ceaner 1	Conc. Ro-Scv	Relave Final	Conc. Ceaner 2	Relave Ceaner 2	Relave Ceaner 1	Conc. Ro-Scv	Relave Final	
1	200848003		0.65	22.08	1.93	0.31	3.97	0.07	81.61	3.33	5.30	90.24	9.76	2.05	24.02	5.81	2.67	6.38	1.29	28.35	3.20	14.78	46.34	53.66	
2	200837001		0.62	26.37	2.53	0.28	5.53	0.09	81.18	2.22	3.27	86.67	13.33	2.46	17.02	4.54	3.27	6.04	2.07	13.22	1.00	9.68	23.90	76.10	
3	200837004		0.64	31.21	10.81	0.45	6.03	0.09	71.38	10.44	4.95	86.78	13.22	2.79	17.19	8.53	3.86	6.29	2.43	9.08	1.90	9.92	20.90	79.10	
4	200837007		0.22	37.20	2.10	0.21	4.05	0.02	86.60	2.44	4.05	93.09	6.91	2.67	17.69	3.51	3.69	5.10	2.54	3.45	0.34	6.02	9.81	90.19	
5	200839003		0.41	20.11	3.08	0.39	4.26	0.06	74.73	5.54	5.66	85.93	14.07	2.62	23.50	9.88	4.01	8.12	2.12	13.76	2.80	9.27	25.84	74.16	
6	200840006		0.49	19.35	1.81	0.21	3.01	0.11	72.58	3.80	4.34	80.72	19.28	3.55	24.44	7.52	4.63	7.63	2.93	12.69	2.19	13.44	28.32	71.68	
7	200841003		0.37	32.96	5.65	0.38	5.34	0.04	76.91	8.79	4.93	90.63	9.37	3.07	19.11	6.60	5.04	7.12	2.80	5.33	1.23	7.87	14.42	85.58	
8	200841005		1.02	22.47	4.29	0.32	5.73	0.16	79.25	4.49	3.44	87.18	12.82	2.63	23.88	7.84	2.75	8.00	1.64	32.76	3.19	11.38	47.33	52.67	
9	200843002		0.62	24.17	4.03	0.30	4.40	0.09	73.91	8.31	4.32	86.55	13.45	2.36	16.47	5.09	3.37	5.59	1.91	13.22	2.76	12.87	28.85	71.15	
10	200843007		0.55	29.99	5.90	0.33	6.12	0.06	80.23	6.77	3.59	90.59	9.41	3.07	19.70	7.29	3.90	7.02	2.72	9.44	1.50	7.67	18.61	81.39	
11	200844006		0.74	29.75	2.73	0.30	5.08	0.14	75.68	4.67	3.62	83.97	16.03	2.68	17.26	5.12	4.17	6.28	2.18	12.13	2.42	14.14	28.68	71.32	
12	200845003		1.32	28.76	3.15	0.37	7.06	0.15	85.03	1.94	3.43	90.39	9.61	3.02	24.04	5.77	2.86	7.89	2.02	31.22	1.56	11.60	44.37	55.63	
13	200845007		0.53	23.02	3.74	0.26	4.38	0.08	75.32	6.66	3.84	85.83	14.17	3.13	18.34	5.79	4.05	6.59	2.73	10.20	1.76	10.02	21.98	78.02	
14	200847007		0.31	32.93	4.28	0.14	4.34	0.02	80.90	10.34	2.39	93.63	6.37	0.88	10.59	3.33	1.29	2.58	0.76	9.09	2.81	7.54	19.44	80.56	
15	200845005		0.13	9.00	1.00	0.17	0.88	0.06	42.30	5.44	9.02	56.76	43.24	3.86	26.96	9.36	5.44	7.33	3.53	4.41	1.78	10.36	16.55	83.45	
16	200847002		0.14	16.96	1.71	0.27	1.37	0.04	55.18	4.81	12.86	72.85	27.15	2.03	21.20	5.21	3.29	4.49	1.84	4.60	0.98	10.33	15.91	84.09	
17	200847004		0.12	5.29	0.96	0.09	0.93	0.01	75.08	7.62	6.70	89.41	10.59	2.43	39.27	14.66	3.27	9.50	1.52	27.17	5.68	11.87	44.72	55.28	
18	200849002		0.19	13.80	2.15	0.16	1.25	0.02	71.98	8.51	10.43	90.92	9.08	2.21	27.36	6.52	2.40	4.41	1.85	12.43	2.25	13.29	27.97	72.03	
19	200835001		0.16	18.69	6.01	0.18	1.65	0.03	51.51	21.97	7.56	81.03	18.97	1.48	15.05	7.00	2.14	3.23	1.33	4.55	2.81	10.03	17.39	82.61	
20	200836002		0.24	31.50	7.61	0.23	2.90	0.05	65.14	9.82	5.60	80.56	19.44	2.69	14.24	6.48	3.64	4.56	2.56	2.61	0.74	7.89	11.24	88.76	
21	200836005		0.17	16.89	3.74	0.14	1.54	0.03	66.47	9.52	6.72	82.71	17.29	1.82	25.55	8.21	3.00	4.89	1.52	9.16	1.90	12.94	24.00	76.00	
22	200836006		0.32	21.75	4.33	0.20	2.95	0.06	64.87	12.92	4.36	82.16	17.84	3.54	23.28	8.15	5.03	7.32	3.17	6.22	2.18	9.88	18.28	81.72	
23	200838002		0.16	13.61	0.92	0.22	0.88	0.06	43.41	8.57	13.18	65.16	34.84	3.57	26.45	7.56	4.96	6.22	3.22	3.79	3.16	13.64	20.59	79.41	
24	200838003		0.15	13.91	0.97	0.17	0.86	0.03	64.05	6.86	15.08	85.98	14.02	2.72	35.39	21.78	3.77	6.51	2.04	9.13	8.67	18.63	36.43	63.57	
25	200838004		0.14	13.49	4.45	0.13	1.27	0.03	48.14	24.58	7.14	79.86	20.14	3.20	24.16	12.78	4.98	6.76	2.85	3.86	3.16	11.96	18.98	81.02	
26	200840003		0.28	11.13	1.88	0.12	2.01	0.02	75.32	14.76	3.87	93.96	6.04	3.98	41.13	32.24	6.01	15.53	2.28	19.25	17.52	13.31	50.08	49.92	
27	200842004		0.27	28.44	2.09	0.32	4.53	0.03	82.14	2.29	5.05	89.48	10.52	3.23	18.97	3.61	4.18	6.31	3.06	4.56	0.33	5.49	10.38	89.62	
28	200843005		0.24	18.40	3.69	0.30	1.60	0.06	49.26	14.44	12.15	75.85	24.15	2.82	19.81	7.99	3.20	4.53	2.60	4.46	2.63	11.02	18.11	81.89	
29	200846007		0.19	18.75	2.69	0.20	1.97	0.03	71.92	7.58	7.33	86.83	13.17	3.48	16.85	6.51	4.24	5.48	3.30	3.49	0.99	8.56	13.05	86.95	
30	200848006		0.28	34.62	2.81	0.22	3.05	0.03	78.61	5.87	5.48	89.95	10.05	2.89	12.41	5.28	4.10	4.82	2.72	2.69	1.05	9.84	13.58	86.42	
31	200850001		0.27	23.62	3.98	0.44	3.26	0.02	76.87	6.14	10.42	93.43	6.57	1.38	25.06	6.58	2.38	5.18	1.06	16.13	2.01	11.22	29.36	70.64	
32	200850002		0.42	22.23	3.34	0.55	4.24	0.07	71.16	5.66	8.37	85.20	14.80	15.90	26.20	15.54	9.89	12.96	16.17	2.21	0.70	3.97	6.87	93.13	
33	200836001		0.17	17.11	1.00	0.38	0.63	0.06	23.63	7.63	40.13	71.40	28.60	6.74	28.44	6.59	5.24	5.61	7.01	1.00	1.28	14.06	16.34	83.66	
34	200837002		0.20	7.24	1.39	0.26	0.60	0.08	18.09	27.33	25.12	70.53	29.47	13.00	40.91	27.67	17.70	19.85	10.83	1.60	8.52	26.61	36.74	63.26	
35	200835003		0.79	23.50	5.50	0.65	4.99	0.24	59.85	6.54	7.11	73.50	26.50	6.62	25.40	18.42	7.81	11.71	5.95	7.76	2.63	10.31	20.70	79.30	

A partir de las muestras de relaves se observa que la mineralogía principal es la calcopirita seguido con la bornita y posterior la calcosina (cuadro 44)

Cuadro 44: Mineralogía normalizada al cobre en muestras de relaves

Normalized Cu Department	Max	Min	Promedio
Calcopirita	98.18	4.78	72.78
Calcosina	68.10	0.00	5.76
Bornita	67.72	0.00	15.81
Enargita	1.10	0.00	0.03
Tennantita	1.67	0.00	0.09
Tetraedrita	0.00	0.00	0.00
Otros Sulfuros	0.00	0.00	0.00
Otros Minerales de Cu	8.50	0.00	0.79
Otros	45.88	0.10	4.74

Con respecto al grado de liberación se observó que en promedio el 75% de las muestras se encuentran ocluidas, mientras que 10% se encuentra sub-midds, el 2% de midds, liberado esta 0.63% y libre de 11% (cuadro 45). A continuación se observa la descripción de las área y los porcentajes del grado liberación (cuadro 45).

Cuadro 45: Grado de liberación de minerales de cobre normalizado de relaves

<u>Leyenda</u>
Libre: 95% área
Liberado: 80% área & 50% perímetro libre
Midds: 50% área & 20% perímetro libre
Sub-Midds: 20% área & 10% perímetro libre
Locked: Ocluido

Mineral	Normalized Cu sulphides Liberation	Global
Mass	Libre	11.45
[wt%]	Liberado	0.63
	Midds	2.74
	Sub-Midds	10.03
	Locked	75.16

Composición Mineralógica – Muestra de Relave

En las cuatro (04) litologías (Diorita, Skarn, Pórfido y Stock work), de acuerdo a las descripciones detalladas en las muestras de cabezas, se confirma que la composición mineralógica de las muestras está constituida en su gran mayoría por silicatos duros y filosilicatos, y en menor contenido por carbonatos (dolomina, calcita, ankerita y siderita), óxidos de hierro y sulfuros de hierro (principalmente pirita en la litología de Skarn/Endoskarn). En la figura 24, se presentan el detalle de los resultados.

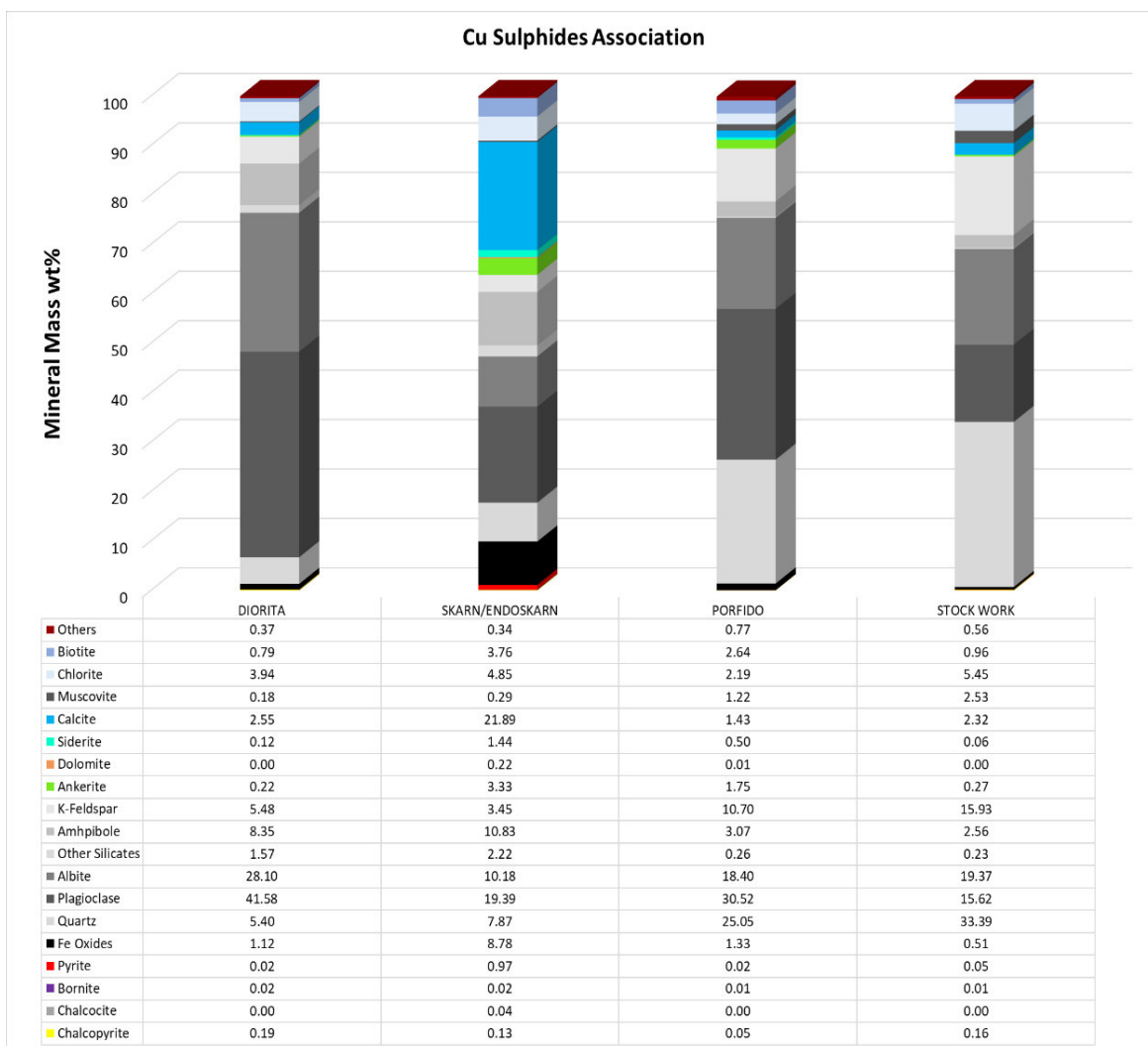


Figura 67: Composición mineralógica – muestras de Relave

Grado de liberación y Asociación mineralógica en muestras de relave

Grado de liberación en muestras de relave

En la figura 68 se muestran los resultados del Grado de Liberación global de los minerales de cobre en las muestras de relave.

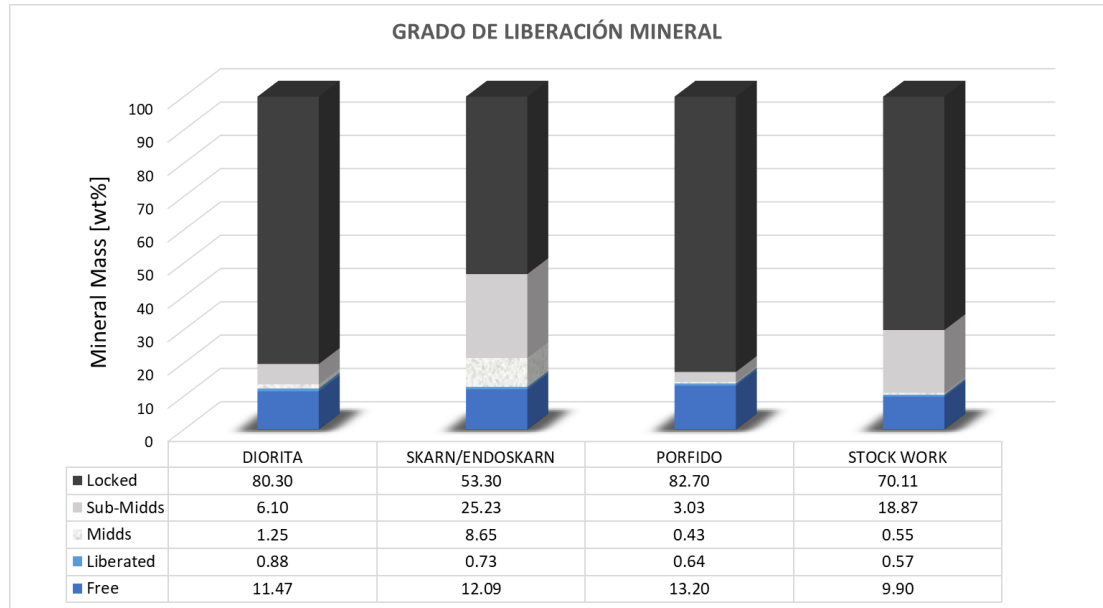


Figura 68: Grado de Liberación de los minerales de cobre - muestras de relave

Del grado de liberación, se está considerando como partículas liberadas a las partículas denominadas como “Free, Liberated y mids”. Todas las litologías presentan porcentajes importantes de partículas consideradas como libres; sin embargo, en los pórfidos y Skarn se han evidenciado algunas muestras que contienen alto grado de liberación (> a 10%) y con leyes significativas que no fueron recuperados durante el proceso de flotación; ver figura 69.

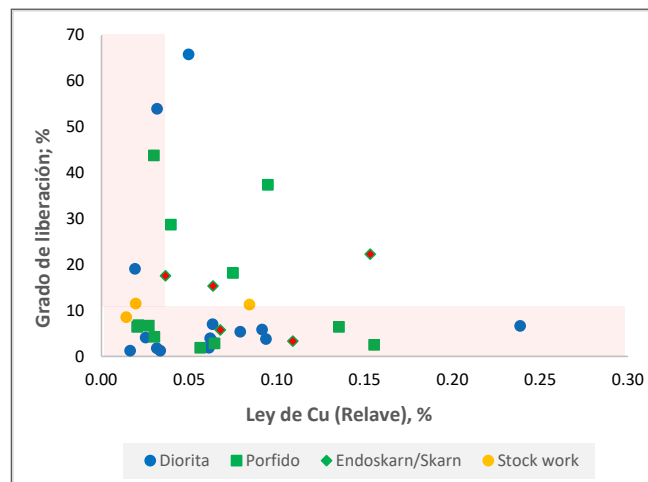


Figura 69: Grado de Liberación de relave VS Ley Cu en relave

Asociación mineralógica en muestras de relaves

En las cuatro (04) litologías (Diorita, Skarn, Pórfido y Stock work), de acuerdo a las descripciones detalladas en las muestras de cabezas, se confirma que, en la

mayoría de las litologías, las asociaciones mineralógicas principalmente se presentan con los silicatos duros y filosilicatos; sin embargo, en la litología Skarn/endoskarn adicionalmente se evidenciaron asociaciones con los carbonatos.

Un alto porcentaje del contenido de cobre se encuentran formando asociaciones muy complejas en multifase, es decir, con cuatro o más tipos de minerales; esto es mas predominante en la litología de Skarn/Endoskarn (70.62%); ver figura 70.

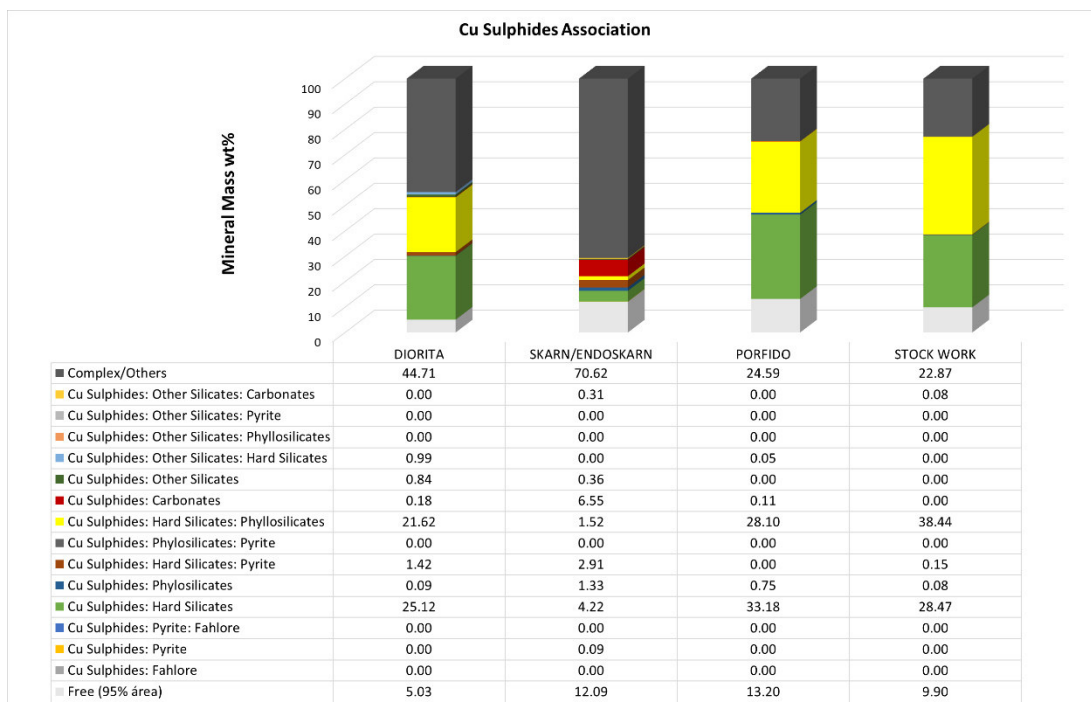


Figura 70: asociaciones mineralógicas de los sulfuros de cobre en muestras de reaves

CONCLUSIONES

El análisis de la caracterización mineral es una parte significativa de cualquier programa de optimización metalúrgica en cualquier etapa. Hay varios métodos para recopilar datos e imágenes mineralógicos, en un entorno operacional y en laboratorios. El desarrollo de pruebas de variabilidad del mineral para la respuesta metalúrgica y el uso de sustitutos metalúrgicos rápidos y baratos se han desarrollado en la última década. La tecnología sigue avanzando, y técnicas como las herramientas analíticas manuales, el escaneo automatizado del núcleo y las mediciones de abajo del agujero permiten realizar pruebas más rápidas y menos costosas.

- Los principales minerales de mena (cobre) son: calcopirita, y trazas de bornita la cuales fueron observadas en la mineralogía óptica. En los análisis de Qemscan se observa que la mineralogía principal promedio es la calcopirita con 73%, seguido con la bornita 20% y posterior la calcosina con 6%.
- Los principales minerales de ganga asociados a la mena son: cuarzo, plagioclasas (minerales de dureza > 6 en la escala de Mohs), carbonatos y ferromagnesianos. Los minerales de ganga como el cuarzo y plagioclasas presentan alta dureza, y que estas estén asociadas a los minerales de cobre originaron prolongados tiempos para su liberación en la etapa de molienda y remolienda. Los minerales de ganga como los carbonatos (calcita), generan efectos de variaciones del pH en el proceso y problemas en la formación de las burbujas, por lo que la dosificación del espumante aumenta. Los minerales de ganga denominados Cloritas y Ferromagnesianos, generan problemas reológicos, baja calidad de la espuma, tiempos largos de sedimentación, absorben bastante agua generando que la cantidad de filtros aumente, y presentan alta flotabilidad perjudicando la recuperación del cobre.
- Con respecto al grado de liberación del mineral de cabeza se observó que en promedio el 21% de las muestras se encuentran ocluidas, mientras que 11% se encuentra sub-midds, el 7% de midds, liberado esta 9.61% y libre de 51%.
- A partir de las pruebas de optimización los resultados de caracterización mineralógica que se emplearon para un mejor entendiendo de las propiedades del mineral resultaron positivas con un aumento de la recuperación del 3.06%, es decir de 83.95% Rec. Cu a 87.17%.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que durante los procesos que se llevan a cabo en cada etapa demanda una caracterización mineralógica diferente y específica. Desde saber que minerales componen la ganga y características de liberación de la mena en una etapa de diseño hasta la revisión de ley y recuperación mineral en los concentrados, en la etapa de producción se debe saber la calidad de los concentrados, las pérdidas de mineral, entre otras cosas. En el análisis mineralógico se deben tener en cuenta los daños ambientales por los minerales residuales.

Respecto a la influencia de los minerales que ingresan a la molienda, se recomienda realizar un estudio de los tectosilicatos, en donde se observa de manera somera que la mayor disolución es la albita, liberando Na y Si, con efecto menor de clorita y biotita para generar hidróxidos. La alunita tiene efecto en el pH que puede ser relevante (deprime el pH), mientras que la calcita se satura naturalmente debido a la alta presencia de cal en el sistema. El apatito también es un mineral de interés, ya que prácticamente no se disuelve y por ende puede precipitar si se dan las condiciones necesarias. Pasando a los sulfuros, los que tienen mayores contenidos de hierro son los que poseen un mayor efecto en el Eh (desde un punto de vista interacción agua-roca).

La eficiencia de la flotación depende de varios parámetros, de los cuales los parámetros fisicoquímicos y mineralógicos pueden ser revisados. Respecto a ello, se recomienda realizar muestreo en la alimentación debido a que las muestras presentan magnesio y aluminio como hidróxido y calcio como carbonato, pero la presencia de estas no tiene incidencia significativa en la recuperación y por ende esta estará sujeta a las variables fisicoquímicas. La flotabilidad de las partículas puede variar, aunque tengan la misma cantidad de mineral de interés, pero diferente distribución.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, J., Cardozo, M., & Bustamante, A. (2019). *Copper in Peru: Present status and future challenge. Economic and Environmental Geology*. Lima-Perú: Revista de geología , vol. 46, n. 6, 2013, pp. 561-568.
- Alvarez-Silva, M., Vinnett, L., Langlois, R., & Waters, K. E. (2016). A comparison of the predictability of batch flotation kinetic models. *Minerals Engineering*, 99, 142-150.
- Barnuevo, L. P. (2014). *Caracterización automatizada de texturas de menas mediante análisis digital de imagen para su aplicación geometalúrgica*. Madrid-España: Doctoral dissertation, Universidad Politécnica de Madrid.
- Berger, B., Ayuso, R., Wynn, J., & Seal, R. (2008). *Preliminary model of porphyry copper deposits*. US Geological.
- BHP Billiton. (2020). *Caracterización de la calidad del mineral alimentado a Flotación Rougher*. Santiago-CHILE: Impulsando soluciones para la minería del futuro (EXPANDE).
- Bisquerra , A. (2009). *Psicopedagogía de las emociones*. Madrid: Síntesis.
- Butcher, A. R. (2009). What Exactly is a Porphyry? . *Seminar, JKMRC*, 15.
- Campbell, D., & Stanley, J. (1966). *Experimental and quasi-experimental designs for research*. Boston: Houghton Mifflin Company.
- Cárdenas del Río, E. (2015). *Caracterización geoquímica y mineralógica de alteraciones hidrotermales en pórfido cuprífero Escondida*. Santiago-Chile: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/134307>.
- Concha, J. &. (2013). Flotación de finos y gruesos aplicada a la recuperación de minerales de cobre. [https://www.eriezflotation.com/pdfs/Flotación% CC% 81n% 20de% 20Finos% 20y, 2.](https://www.eriezflotation.com/pdfs/Flotación%20de%20Finos%20y%20de%20Gruesos.pdf)
- Contreras González, S. (2019). *Caracterización del efecto de la mineralogía, abundancia de la fracción arcillosa y presencia de medio salino en las propiedades reológicas de relaves de sulfuros de Cobre*. Santiago-Chile: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/171780>.
- Denzin, N., & Lincoln, Y. (1994). Introduction: entering the Field of Qualitative Research. *Handbook of Qualitative Research* (pp. 1-18). Londres: DENZIN, N. K. e LINCOLN, Y.S. (Eds.).
- Dexter, P. (2020). *Textbook for College-Level Mineralogy Courses*. Dakota: University of North Dakota.
- Díaz Villena, E. (2017). *Modelamiento geometalúrgico del consumo de medios de molienda basado en técnicas de caracterización avanzada*. Santiago-Chile: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/147418>.
- Dominy, S. (2014). *Predicting the unpredictable—Evaluating high-nugget effect gold deposits*. Melbourne, Australia: In Mineral Resource and Ore Reserve Estimation; Australasian Institute of Mining and Metallurgy:.
- Dominy, S., O'Connor, L., Glass, H., & Xie, Y. (2018). Geometallurgical study of a gravity recoverable gold orebody. *Minerals*, 8, 186.
- Dominy, S., O'Connor, L., Glass, H., Purevgerel, S., & Xie, Y. (2018). Towards representative metallurgical sampling and recovery testwork programmes. *Minerals*, 8, 193.
- Donoso Droguett, G. (2020). *Modelamiento geometalúrgico de recuperación de cobre incorporando datos espectrales*. Santiago: en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/176633>.

- Ehrig, K., Liebezeit, V., & Macmillan, E. (2017). Metallurgical QAQC—who needs it? The Olympic Dam experience. In *Proceedings of the Metallurgical Plant Design and Operating Strategie. Australasian Institute of Mining and Metallurgy: Melbourne, Australia*, 31-44.
- Esquivel, J., & Venegas, V. (2013). *Preparación de la Tesis Universitaria*. Lima: Juan Gutenberg Editores Impresores E.I.R.L.
- Evans, C. L., Wightman, E. M., & Yuan, X. (2015). Quantifying mineral grain size distributions for process modelling using X-ray micro-tomography. *Minerals Engineering*, 82, 78-83.
- Gaudin. (1939). *Principle of Mineral Dressing*. New York: McGraw-Hill.
- Goodall, W., Cropp, A., & Bradshaw, D. (2013). The influence of textural variation and gangue mineralogy on recovery of copper by flotation from porphyry ore: a review. *Conference: Second AusIMM International Geometallurgy Conference 2013 At: Brisbane*, 279-291.
- Hartley, A., & Rice, C. (2005). Controls on supergene enrichment of porphyry copper deposits in the Central Andes – a review and discussion. *Mineralium Deposit*, 515-525.
- Henley, K. J. (1983). Ore-dressing mineralogy-a review of techniques, applications and recent developments. *ICAM 81*, 1-30.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, L. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Hurtado, D. (2016). Recursos naturales, empleo y medio ambiente: efectos locales en Perú. *Serie Documentos de Base del Reporte Recursos Naturales y Desarrollo*.
- Jerome, S. (1966). Some features pertinent in the exploration of porphyry copper deposits, in Titley, S.R., and Hicks, C.L., eds., *Geology of the porphyry copper deposits, southwestern North America*.: *University of Arizona* (pp. 75-85p). Tucson: University of Arizona.
- Joint Ore Reserves Committee (JORC). (2012). *Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves—The JORC Code*. Melbourne, Australia: Joint Ore Reserves Committee of the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists and Minerals Council of Australia.
- Jones, M. P. (1987). *Applied mineralogy: a quantitative approach*. New York: Springer.
- Kwong, Y. J. (1987). Evolution of the Iron Mask Batholith and its. *Mines and Petroleum Resources Bulletin*, 77.
- León, O., & Montero, I. (2003). *Métodos de investigación en Psicología y Educación*. Madrid: McGraw-Hill.
- Lin D, L. R. (1999). Comparison of stereological correction procedures for liberation measurements by use of standard material. *Trans. I.M.M*, Section C, sept-dic, C127-c137.
- Lund, C., Lamberg, P., & Lindberg, T. (2015). Development of a geometallurgical framework to quantify mineral textures for process prediction. *Minerals Engineering*, 82, 61-77.
- Manzaneda, J. (2002). *Aplicación de microscopía en el procesamiento de minerales por Flotación* . Lima: Doctoral dissertation, Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería.
- Mario, T. (2004). *El proceso de la investigación científica*. España.
- McKinstry, H. (1948). Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall. *Mining geology*, 680p.

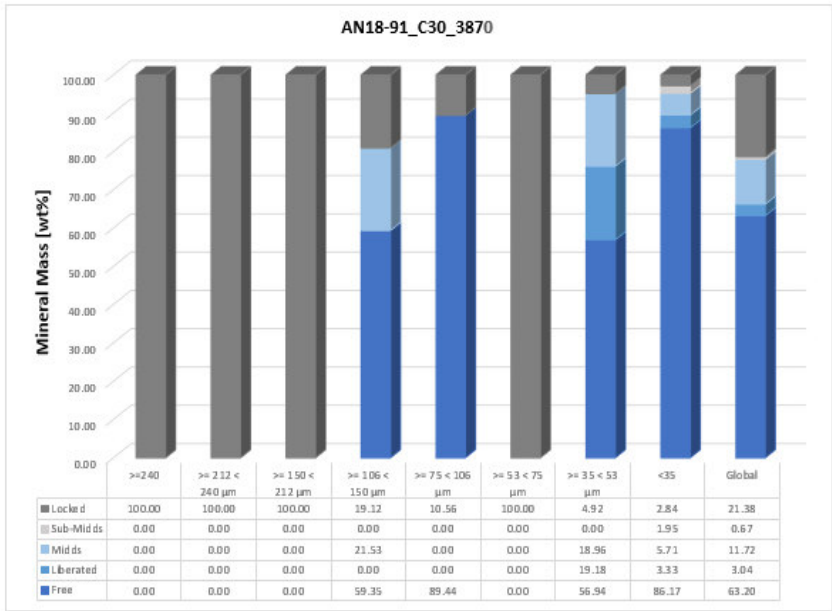
- Meyer, C., Shea, E., & Goddard, C. (1968). Ore deposits at Butte, Montana, in Ridge, J.D., ed., *Ore Deposits of the United States*. In C. Meyer, *American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers* (pp. 1373-1416). New York: American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers.
- Ministerio de Energía y Minas. (2020, mayo 22). Anuario Minero 2019. *Producción Minera*, pp. 58-61.
- Mudd, G. M. (2019). *The Environmental Sustainability of Mining in Australia: Key Mega Trends and Looming Constraints*. *Resources Policy*. 35 Vol. 2, pp. 98-115.
- Negreiros García, C. A. (2019). Evaluación mineralógica y grado de liberación de los minerales en los concentrados de flotación de cu, pb y zn de la Compañía Minera Volcán. *Universidad Nacional de Trujillo*.
- Parsons, A. (1933). *The porphyry coppers: New York, American*. New York: Institute of Mining and Metallurgical Engineers.
- Petruck, W. (2000). *Applied mineralogy in the mining industry*. Ottawa, Ontario, Canadá: Elsevier Science.
- Quispe, J., Carlotto, V, Acosta, J, Macharé, J, Chirif, H, Rivera, R, . . . Rodríguez, R. (2008). Mapa Metalogenético 2008. *XIV Congreso Peruano de Geología*. Lima.
- Ransome, F. (1919). The copper deposits of Ray and Miami, Arizona. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 115, 192p.
- Rodríguez, J., Mendez, M., Suclupe, P, Chávez D, & Campaña, G. (2019). Reporte Semestral de Monitoreo de Productos Mineros – Minería. *Gerencia de Políticas y Análisis Económico, Osinergmin –Perú*, Año 8 – Número 14.
- Romero Toledo, H. V. (2017). Explorando conflictos entre comunidades indígenas y la industria minera en Chile: las transformaciones socioambientales de la región de Tarapacá y el caso de Lagunillas. *Estudios atacameños*, (55) 231.
- Ruiz, R. (2012). *Geología y Mineralizaciones del sector sudoccidental del Macizo del Deseado, Santa Cruz*. La Plata: (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de la Plata).a). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Sarquis, P. E. (2012). *Flotación selectiva de minerales complejos usando reactivos de baja toxicidad*. Oviedo-España: Doctoral dissertation, Universidad de Oviedo.
- Schneider, C. (1995). *The Measurement and Calculation of Liberation in Continuous Grinding., Circuits*. Utah-USA: Ph.D. thesis, University of Utah.
- Selltiz, C. (1976). *Métodos de investigación en las relaciones sociales*. Madrid: 3rd. Hardcover.
- Solomon, N., Becker, M., Mainza, A., Petersen, J., & Franzidis, J. P. (2011). Understanding the influence of HPGR on PGM flotation behavior using mineralogy. *Minerals Engineering*, 24(12), 1370-1377.
- Tamayo, M. T. (2007). *El proceso de la investigación científica*. México: Limusa.
- Tavares, L. M., de Carvalho, R. M., & Guerrero, J. C. (2012). Simulating the Bond rod mill grindability test. *Minerals Engineering*, 26, 99-101.
- Tavares, L. M., & Kallembach, R. D. (2013). Grindability of binary ore blends in ball mills. *Minerals Engineering*, 41, 115-120.
- Tchobanov, A. (2016). *Impactos geológicos en el grado de liberación de los sulfuros de cobre en el procesamiento mineral de los pórfidos CU-MO, Distrito Escondida, Región de Antofagasta*. Santiago: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/143714>.

- Tijsseling, L. T, Dehaine, Q, Rollinson, G. K, & Glass, H. J. (2020). Mineralogical Prediction of Flotation Performance for a Sediment-Hosted Copper–Cobalt Sulphide Ore. *Minerals*, 10(5), 474.
- Tungpalan, K., Manlapig, E., Andrusiewicz, M., Keeney, L., Wightman, E., & Edraki, M. (2015). An integrated approach of predicting metallurgical performance relating to variability in deposit characteristics. *Minerals Engineering*, 71, 49-54.
- Vereau Jave, J. E. (2019). *Zoneamiento genético de la mineralización y su relación con la extracción y recuperación de minerales en el área del yacimiento Corona*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Yildirim, B., Bradshaw, D., Powell, M., & Clark, A. (2013). Development of an effective and practical process alteration index. *Minerals Engineering*, 50.
- Zumaran Ferrofin, D. M. (2017). Evaluación de la influencia de las variables en la distribución granulométrica del producto de molienda por bolas de minerales mediante diseños experimentales. *Universidad Nacional San Agustín*.

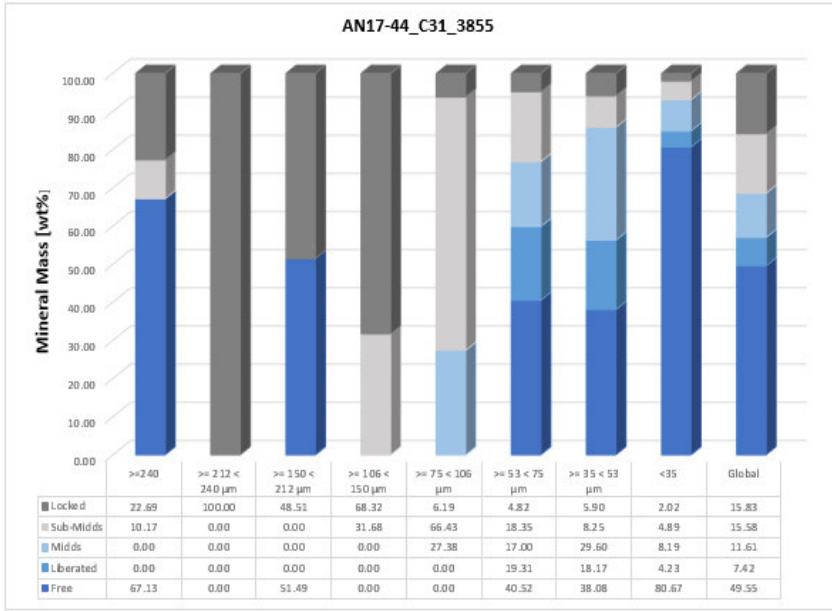
ANEXO

Cuadro 46: Resultados de grado liberación para sulfuros de cobre (cabeza)

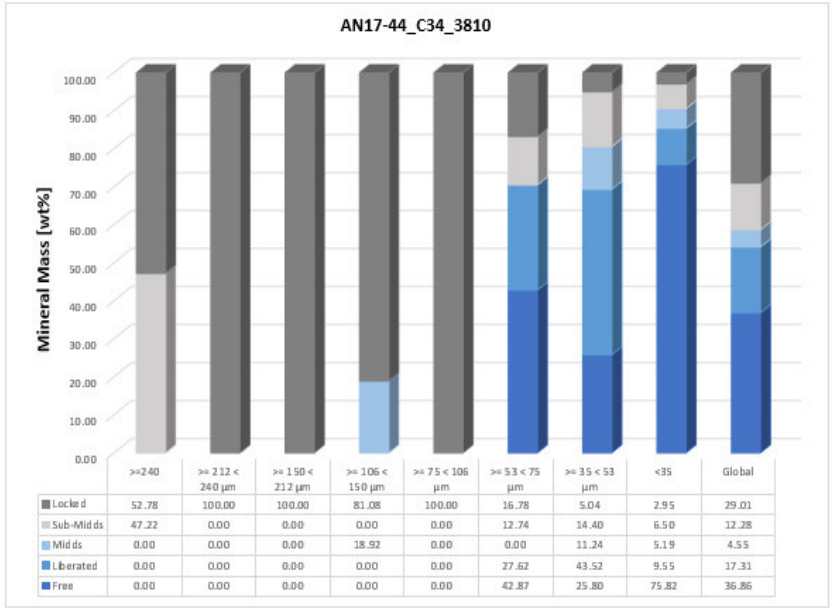
AN18-91_C30_3870		Size [µm]								Global
Mineral Mass [wt%]	Normalized Cu sulphides Liberation	>=240	>= 212 < 240	>= 150 < 212	>= 106 < 150	>= 75 < 106 µm	>= 53 < 75	>= 35 < 53	<35	
	Free	0.00	0.00	0.00	59.35	89.44	0.00	56.94	86.17	63.20
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.18	3.33	3.04
	Midds	0.00	0.00	0.00	21.53	0.00	0.00	18.96	5.71	11.72
	Sub-Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.95	0.67
	Locked	100.00	100.00	100.00	19.12	10.56	100.00	4.92	2.84	21.38
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



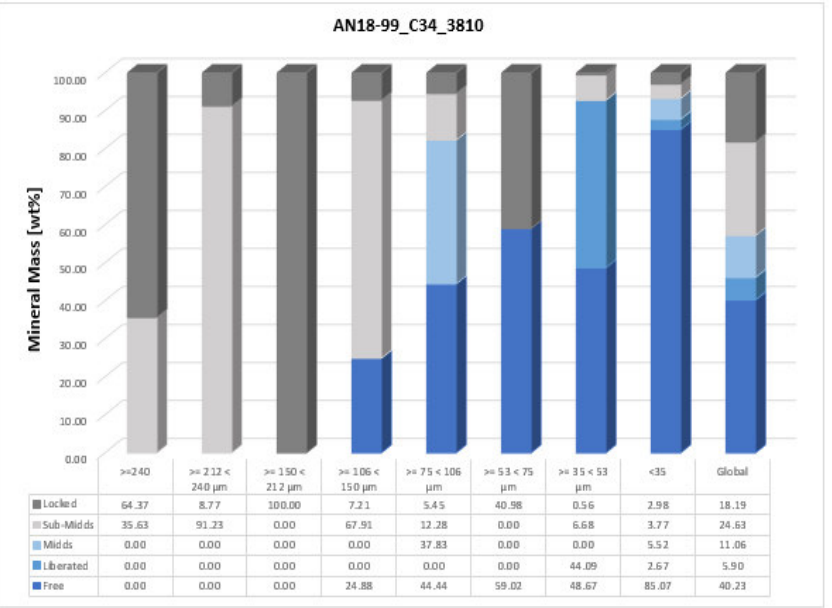
AN17-44_C31_3855		Size [µm]								Global
Mineral Mass [wt%]	Normalized Cu sulphides Liberation	>=240	>= 212 < 240	>= 150 < 212	>= 106 < 150	>= 75 < 106 µm	>= 53 < 75 µm	>= 35 < 53	<35	
	Free	67.13	0.00	51.49	0.00	0.00	40.52	38.08	80.67	49.55
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.31	18.17	4.23	7.42
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	27.38	17.00	23.60	8.19	11.61
	Sub-Midds	10.17	0.00	0.00	31.68	66.43	18.35	8.25	4.89	15.58
	Locked	22.69	100.00	48.51	68.32	6.19	4.82	5.90	2.02	15.83
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



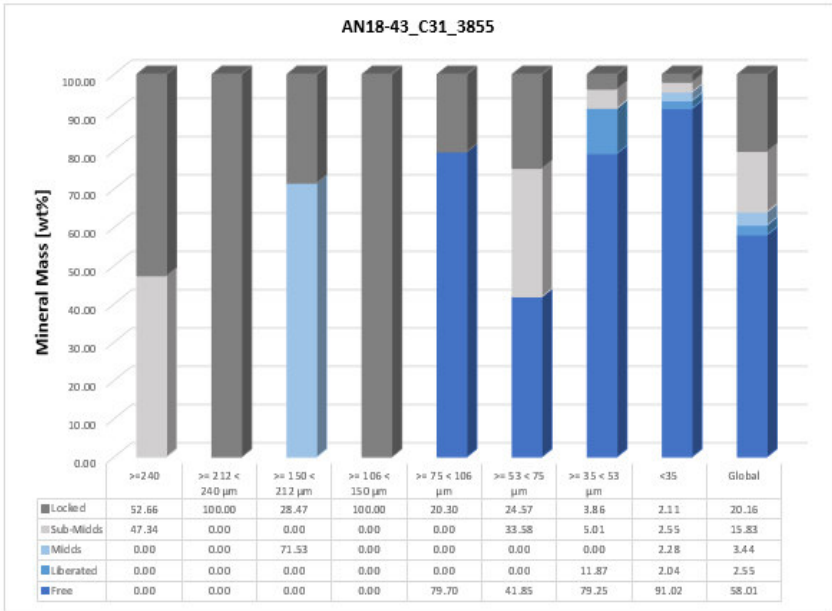
AN17-44_C34_3810		Size [µm]								Global
Mineral Mass [wt%]	Normalized Cu sulphides Liberation	>=240	>= 212 < 240	>= 150 < 212	>= 106 < 150	>= 75 < 106 µm	>= 53 < 75	>= 35 < 53	<35	
	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.87	25.80	75.82	36.86
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.62	43.52	9.55	17.31
	Midds	0.00	0.00	0.00	18.92	0.00	0.00	11.24	5.19	4.55
	Sub-Midds	47.22	0.00	0.00	0.00	0.00	12.74	14.40	6.50	12.28
	Locked	52.78	100.00	100.00	81.08	100.00	16.78	5.04	2.95	29.01
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



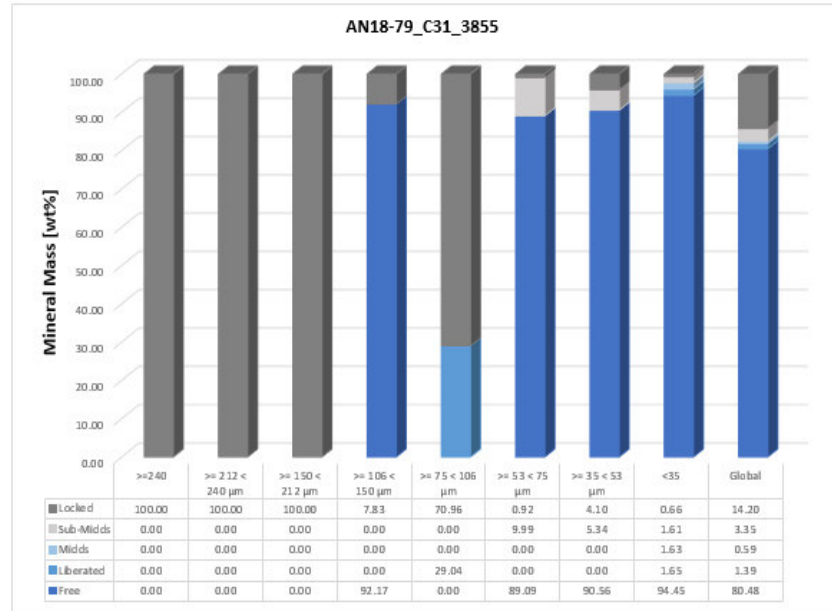
AN18-99_C34_3810		Size [µm]								Global
Mineral Mass [wt%]	Normalized Cu sulphides Liberation	>=240	>= 212 < 240	>= 150 < 212	>= 106 < 150	>= 75 < 106 µm	>= 53 < 75 µm	>= 35 < 53	<35	
	Free	0.00	0.00	0.00	24.88	44.44	53.02	48.67	85.07	40.23
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	44.09	2.67	5.90
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	37.83	0.00	0.00	5.52	11.06
	Sub-Midds	35.63	91.23	0.00	67.91	12.28	0.00	6.68	3.77	24.63
	Locked	64.37	8.77	100.00	7.21	5.45	40.98	0.56	2.98	18.19
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



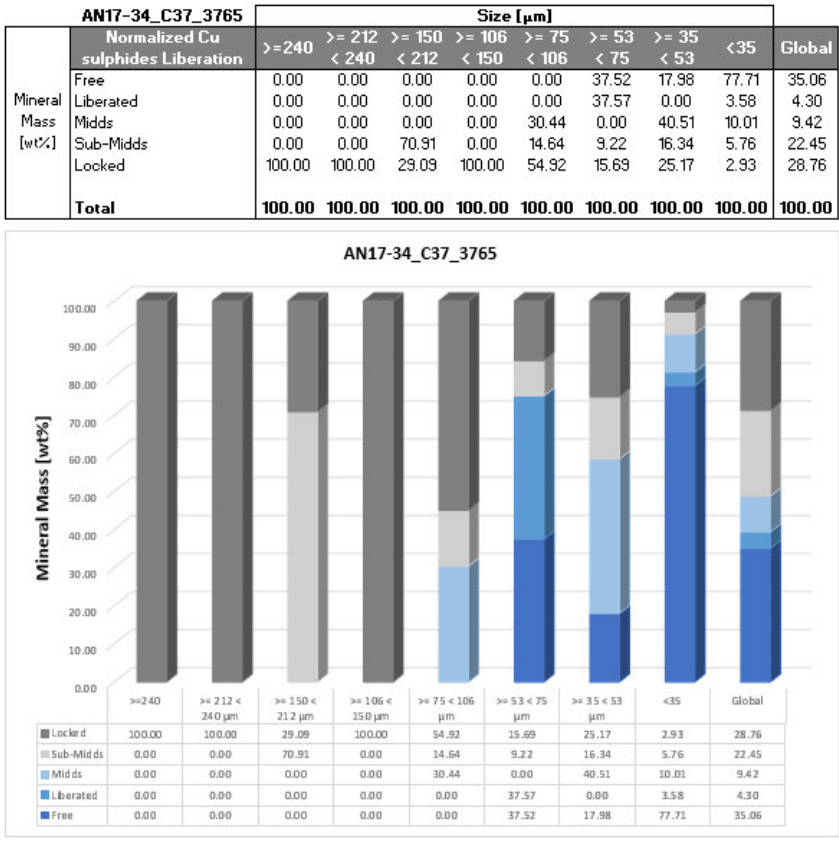
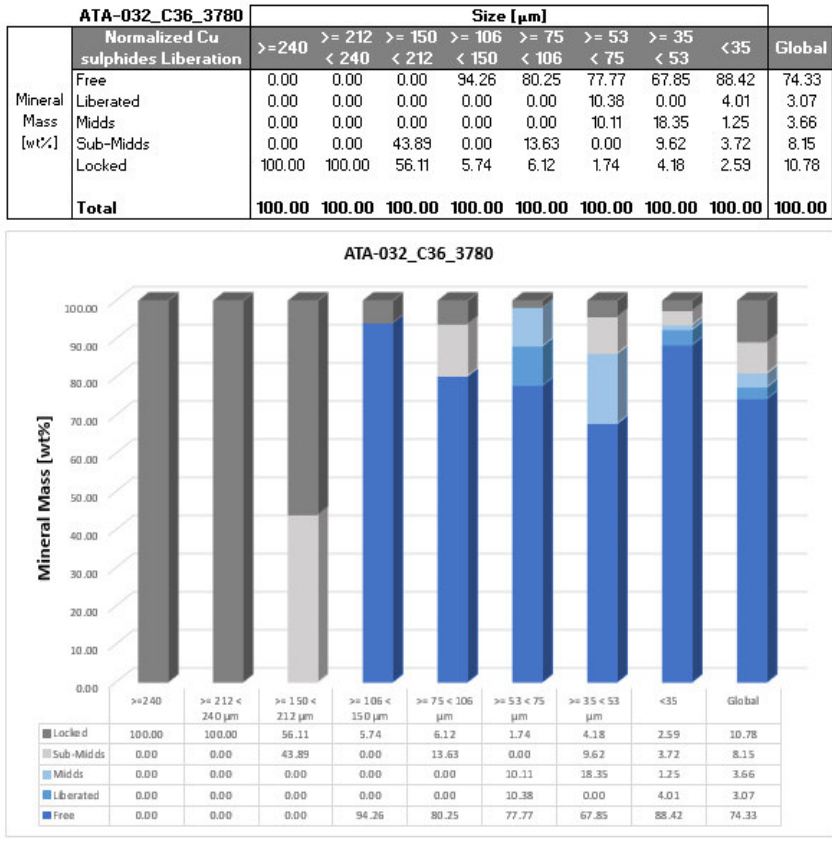
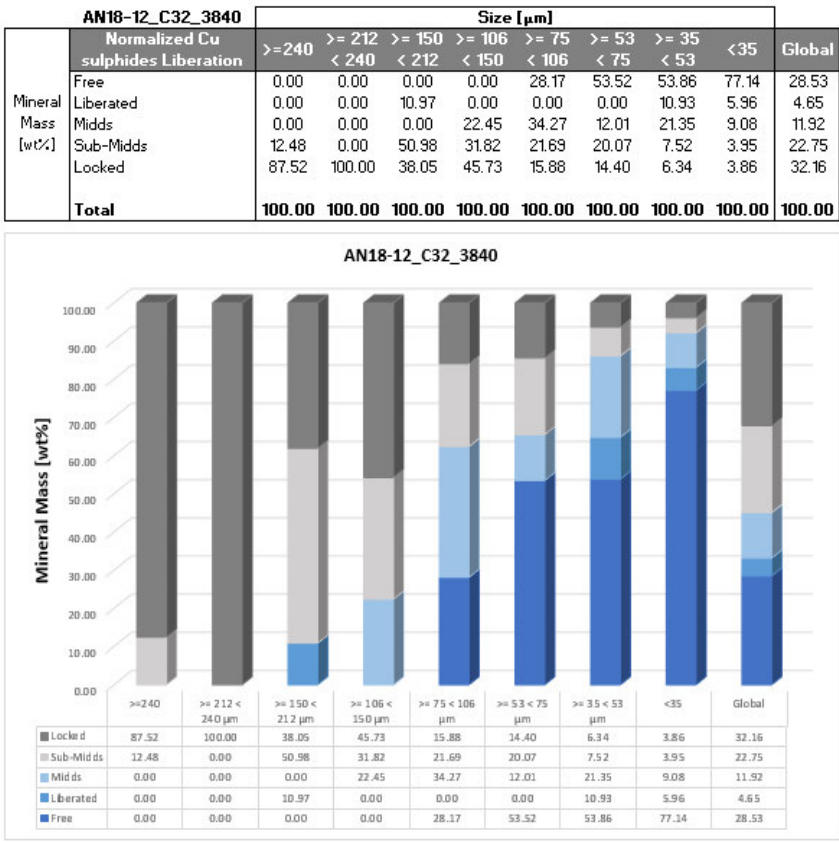
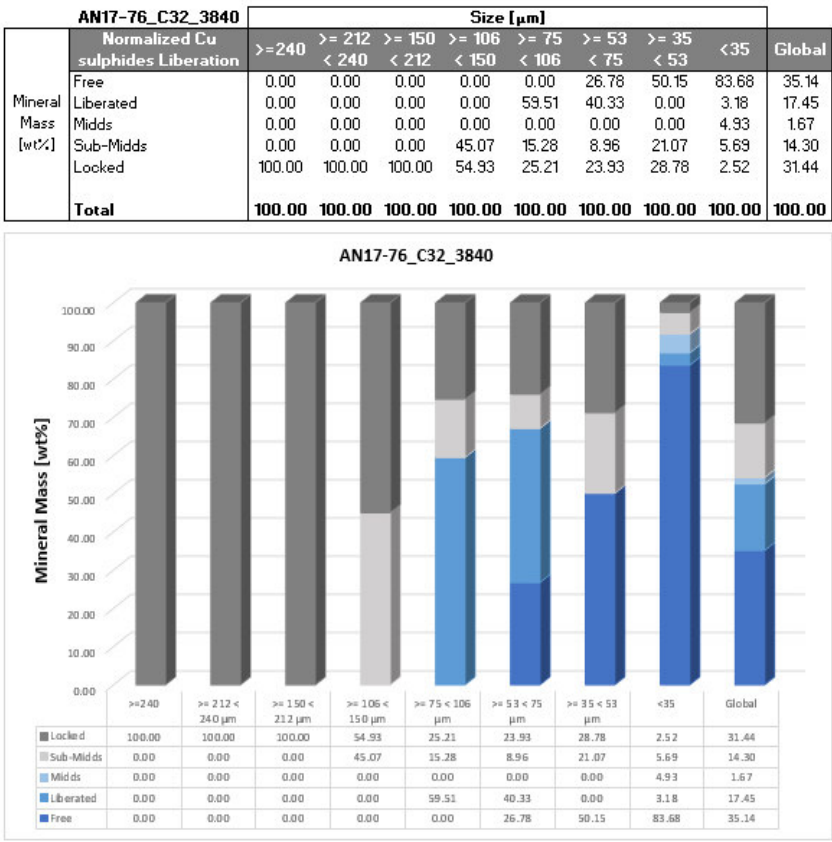
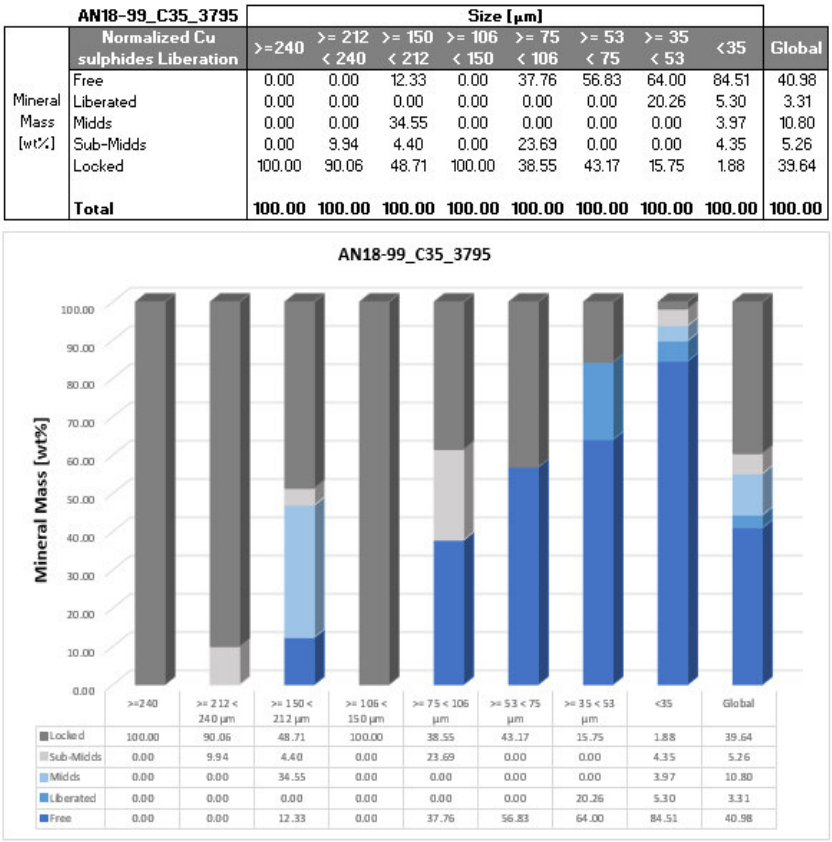
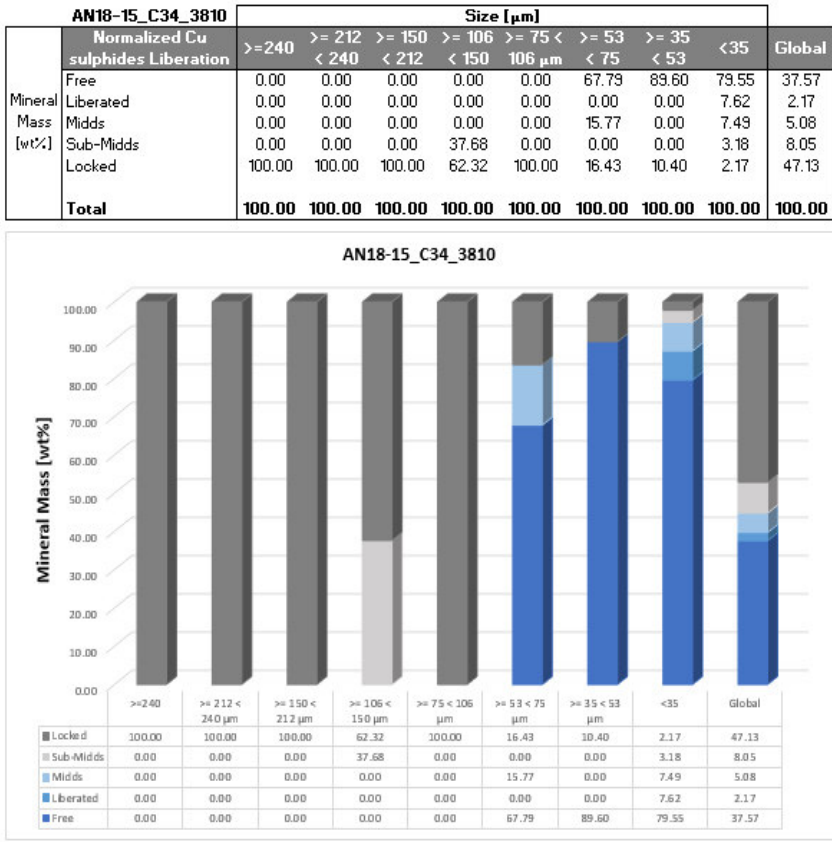
AN18-43_C31_3855		Size [µm]								Global
Mineral Mass [wt%]	Normalized Cu sulphides Liberation	>=240	>= 212 < 240	>= 150 < 212	>= 106 < 150	>= 75 < 106 µm	>= 53 < 75	>= 35 < 53	<35	
	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	79.70	41.85	79.25	91.02	58.01
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.87	2.04	2.55
	Midds	0.00	0.00	71.53	0.00	0.00	0.00	0.00	2.28	3.44
	Sub-Midds	47.34	0.00	0.00	0.00	0.00	33.58	5.01	2.55	15.83
	Locked	52.66	100.00	28.47	100.00	20.30	24.57	3.86	2.11	20.16
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



AN18-79_C31_3855		Size [µm]								Global
Mineral Mass [wt%]	Normalized Cu sulphides Liberation	>=240	>= 212 < 240	>= 150 < 212	>= 106 < 150	>= 75 < 106 µm	>= 53 < 75 µm	>= 35 < 53	<35	
	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	92.17	0.00	89.09	90.56	80.48
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	29.04	0.00	0.00	1.65	1.39
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.63	0.59
	Sub-Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.99	5.34	1.61	3.35
	Locked	100.00	100.00	100.00	7.83	70.96	0.92	4.10	0.66	14.20
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

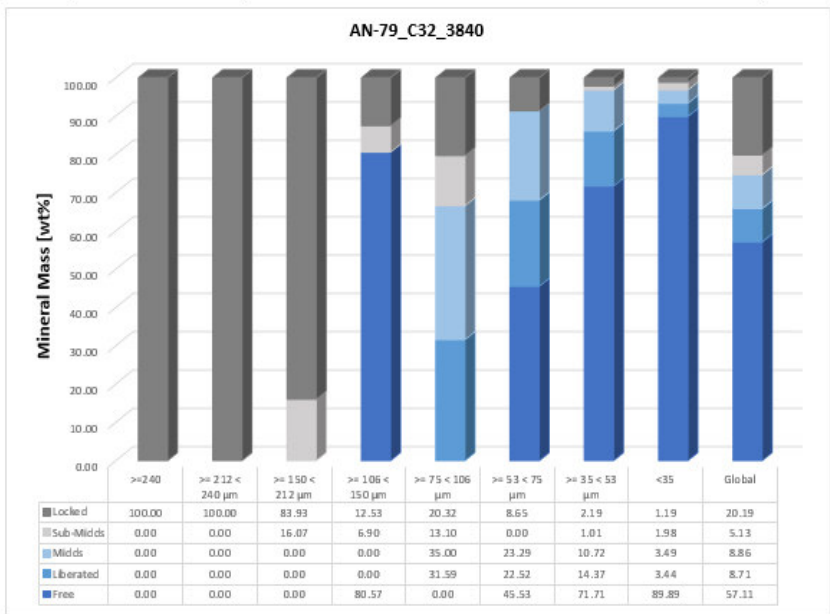


Cuadro 46: Análisis de grado liberación para sulfuros de cobre (continuación)

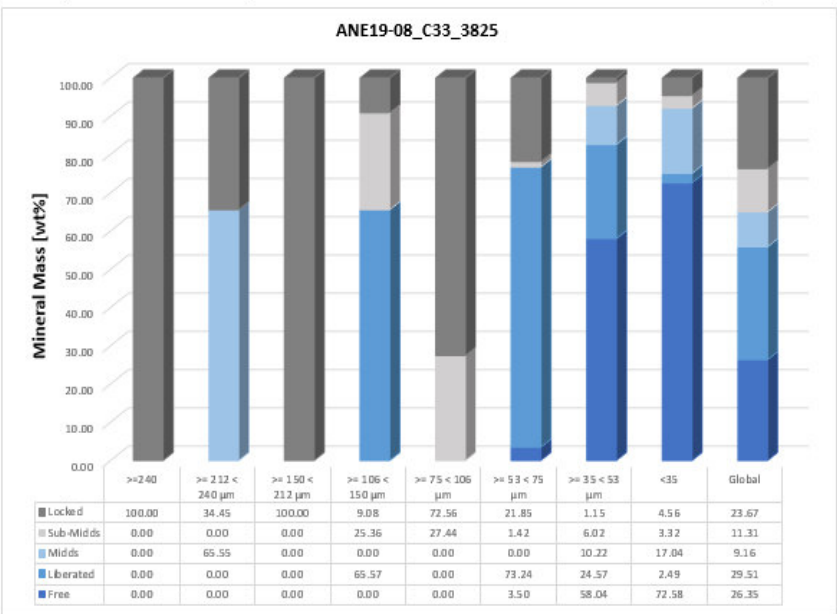


Cuadro 46: Análisis de grado liberación para sulfuros de cobre (continuación)

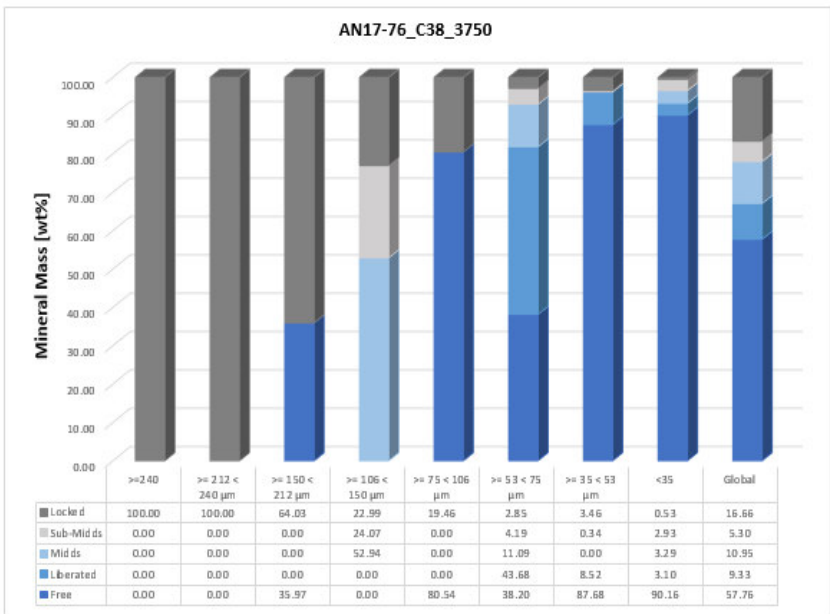
AN-79_C32_3840		Size [µm]								Global
Mineral Mass [wt%]	Normalized Cu sulphides Liberation	>=240	>= 212 < 240	>= 150 < 212	>= 106 < 150	>= 75 < 106	>= 53 < 75	>= 35 < 53	<35	
	Free	0.00	0.00	0.00	80.57	0.00	45.53	71.71	89.89	57.11
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	31.59	22.52	14.37	3.44	8.71
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	35.00	23.29	10.72	3.49	8.86
	Sub-Midds	0.00	0.00	16.07	6.90	13.10	0.00	1.01	1.98	5.13
	Locked	100.00	100.00	83.93	12.53	20.32	8.65	2.19	1.19	20.19
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



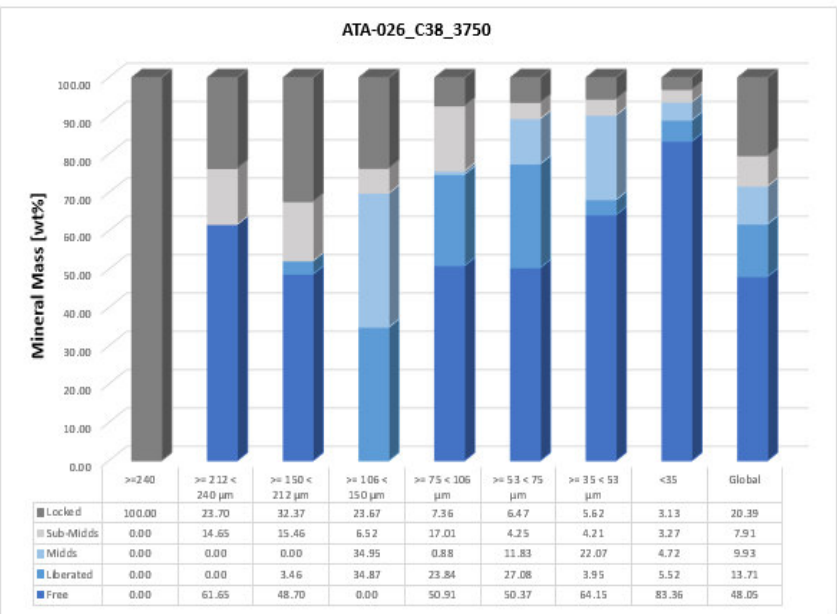
ANE19-08_C33_3825		Size [µm]								Global
Mineral Mass [wt%]	Normalized Cu sulphides Liberation	>=240	>= 212 < 240	>= 150 < 212	>= 106 < 150	>= 75 < 106	>= 53 < 75	>= 35 < 53	<35	
	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.50	58.04	72.58	26.35
	Liberated	0.00	0.00	0.00	65.57	0.00	73.24	24.57	2.49	29.51
	Midds	0.00	65.55	0.00	0.00	0.00	0.00	10.22	17.04	9.16
	Sub-Midds	0.00	0.00	0.00	25.36	27.44	1.42	6.02	3.32	11.31
	Locked	100.00	34.45	100.00	9.08	72.56	21.85	1.15	4.56	23.67
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



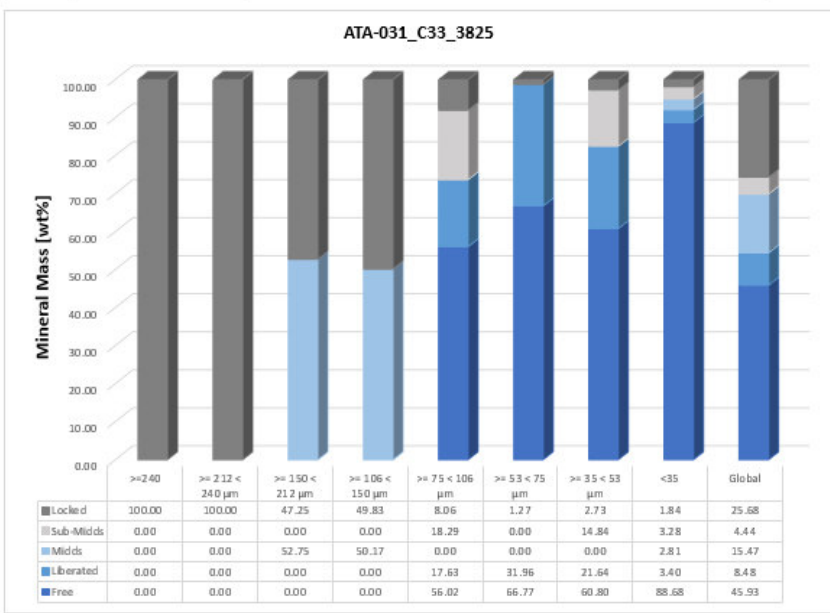
AN17-76_C38_3750		Size [µm]								Global
Mineral Mass [wt%]	Normalized Cu sulphides Liberation	>=240	>= 212 < 240	>= 150 < 212	>= 106 < 150	>= 75 < 106	>= 53 < 75	>= 35 < 53	<35	
	Free	0.00	0.00	35.37	0.00	80.54	38.20	87.68	90.16	57.76
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	43.68	8.52	3.10	9.33
	Midds	0.00	0.00	0.00	52.94	0.00	11.09	0.00	3.29	10.95
	Sub-Midds	0.00	0.00	0.00	24.07	0.00	4.19	0.34	2.93	5.30
	Locked	100.00	100.00	64.03	22.99	19.46	2.85	3.46	0.53	16.66
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



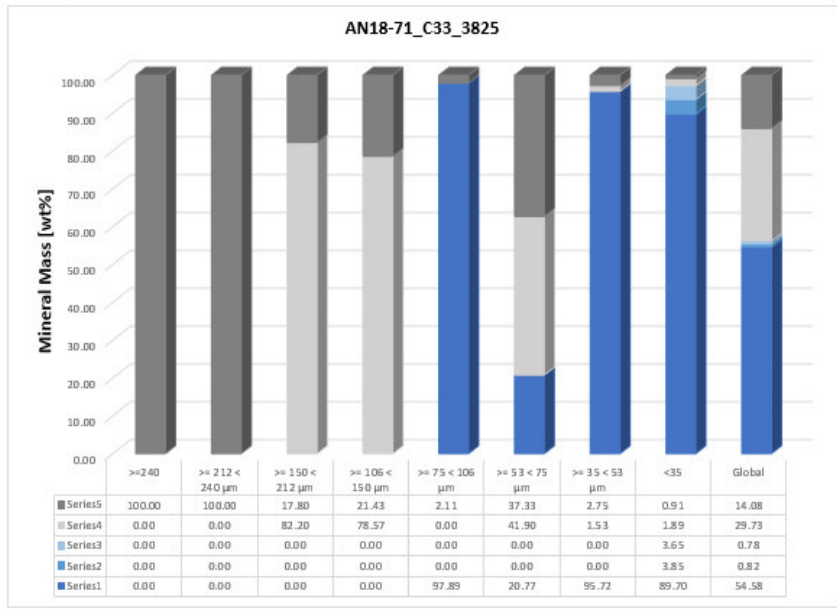
ATA-026_C38_3750		Size [µm]								Global
Mineral Mass [wt%]	Normalized Cu sulphides Liberation	>=240	>= 212 < 240	>= 150 < 212	>= 106 < 150	>= 75 < 106	>= 53 < 75	>= 35 < 53	<35	
	Free	0.00	61.65	48.70	0.00	50.91	50.37	64.15	83.36	48.05
	Liberated	0.00	0.00	3.46	34.87	23.84	27.08	3.95	5.52	13.71
	Midds	0.00	0.00	0.00	34.95	0.88	11.83	22.07	4.72	9.93
	Sub-Midds	0.00	14.65	15.46	6.52	17.01	4.25	4.21	3.27	7.91
	Locked	100.00	23.70	32.37	23.67	7.36	6.47	5.62	3.13	20.39
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



ATA-031_C33_3825		Size [µm]								Global
Mineral Mass [wt%]	Normalized Cu sulphides Liberation	>=240	>= 212 < 240	>= 150 < 212	>= 106 < 150	>= 75 < 106	>= 53 < 75	>= 35 < 53	<35	
	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	56.02	66.77	60.80	88.68	45.93
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	17.63	31.96	21.64	3.40	8.48
	Midds	0.00	0.00	52.75	50.17	0.00	0.00	0.00	2.81	15.47
	Sub-Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	18.29	0.00	14.84	3.28	4.44
	Locked	100.00	100.00	47.25	49.83	8.06	1.27	2.73	1.84	25.68
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

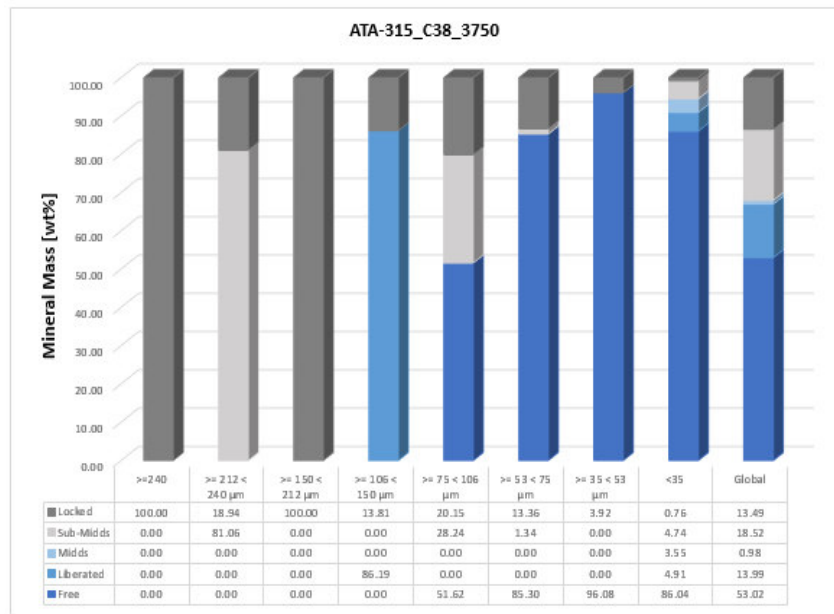


AN18-71_C33_3825		Size [µm]								Global
Mineral Mass [wt%]	Normalized Cu sulphides Liberation	>=240	>= 212 < 240	>= 150 < 212	>= 106 < 150	>= 75 < 106	>= 53 < 75	>= 35 < 53	<35	
	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	97.89	20.77	95.72	89.70	54.58
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.85	0.82
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.65	0.78
	Sub-Midds	0.00	0.00	82.20	78.57	0.00	41.90	1.53	1.89	29.73
	Locked	100.00	100.00	17.80	21.43	2.11	37.33	2.75	0.91	14.08
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

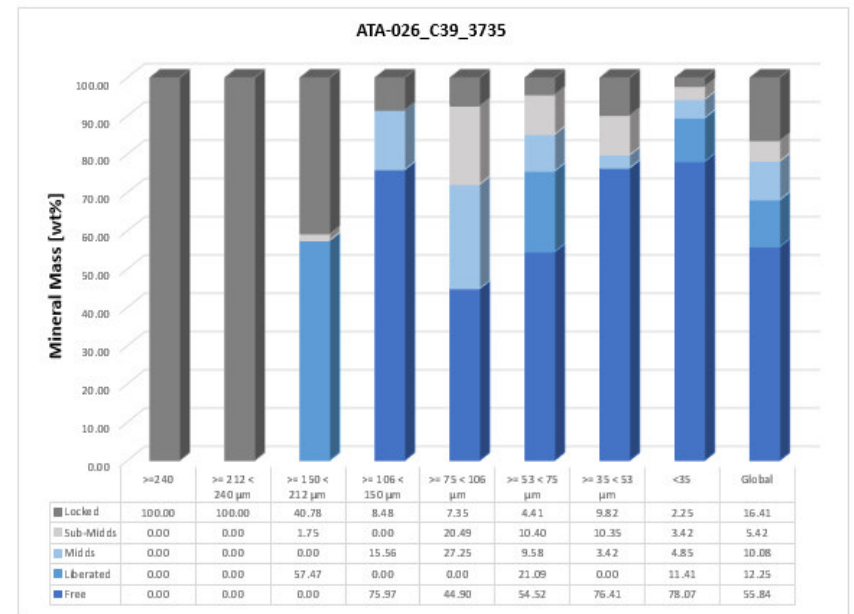


Cuadro 46: Análisis de grado liberación para sulfuros de cobre (continuación)

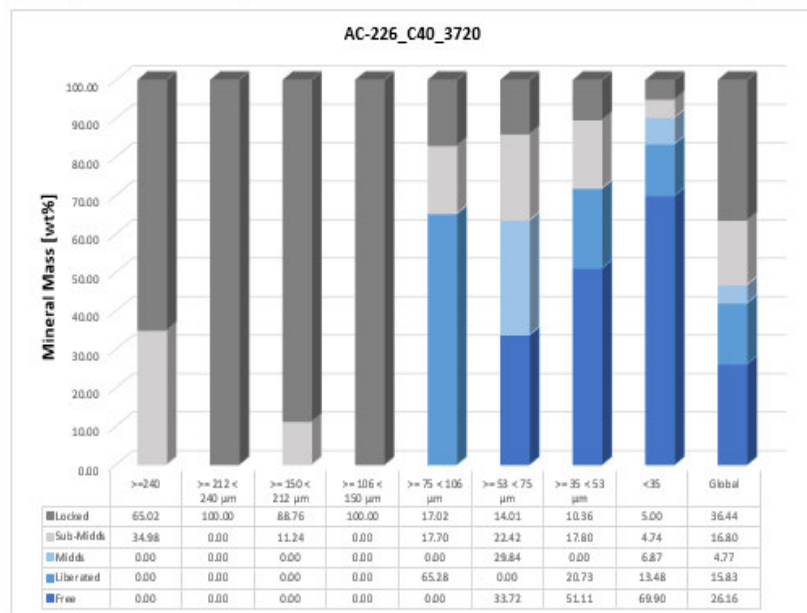
ATA-315_C38_3750		Size [µm]								Global
Normalized Cu sulphides Liberation		>=240	>= 212 < 240	>= 150 < 212	>= 106 < 150	>= 75 < 106	>= 53 < 75	>= 35 < 53	<35	
Mineral Mass [wt%]	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	51.62	85.30	96.08	86.04	53.02
	Liberated	0.00	0.00	0.00	86.19	0.00	0.00	0.00	4.91	13.99
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.55	0.98
	Sub-Midds	0.00	81.06	0.00	0.00	28.24	1.34	0.00	4.74	18.52
	Locked	100.00	18.94	100.00	13.81	20.15	13.36	3.92	0.76	13.49
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



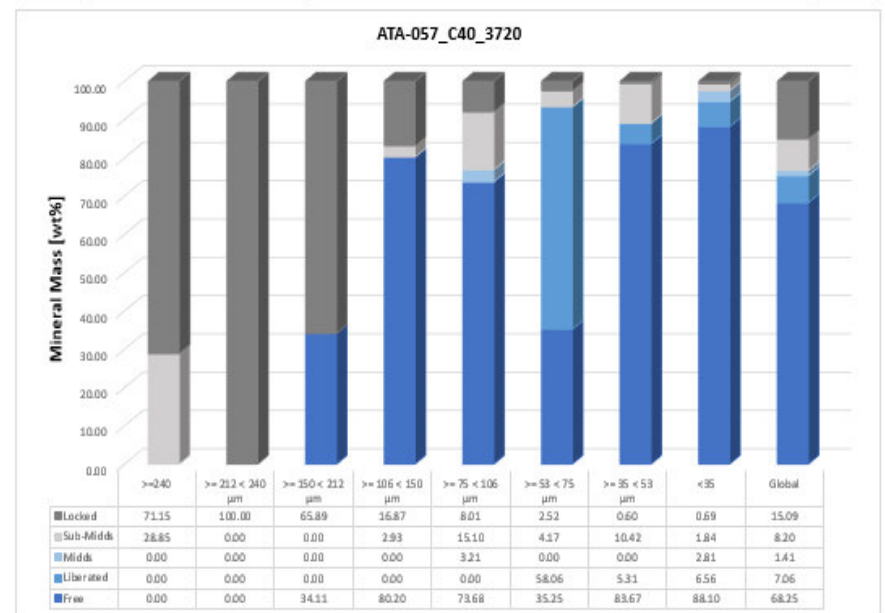
ATA-026_C39_3735		Size [µm]								Global
Normalized Cu sulphides Liberation		>=240	>= 212 < 240	>= 150 < 212	>= 106 < 150	>= 75 < 106	>= 53 < 75	>= 35 < 53	<35	
Mineral Mass [wt%]	Free	0.00	0.00	0.00	75.97	44.90	54.52	76.41	78.07	55.84
	Liberated	0.00	0.00	57.47	0.00	0.00	21.09	0.00	11.41	12.25
	Midds	0.00	0.00	0.00	15.56	27.25	9.58	3.42	4.85	10.08
	Sub-Midds	0.00	0.00	1.75	0.00	20.49	10.40	10.35	3.42	5.42
	Locked	100.00	100.00	40.78	8.48	7.35	4.41	9.82	2.25	16.41
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



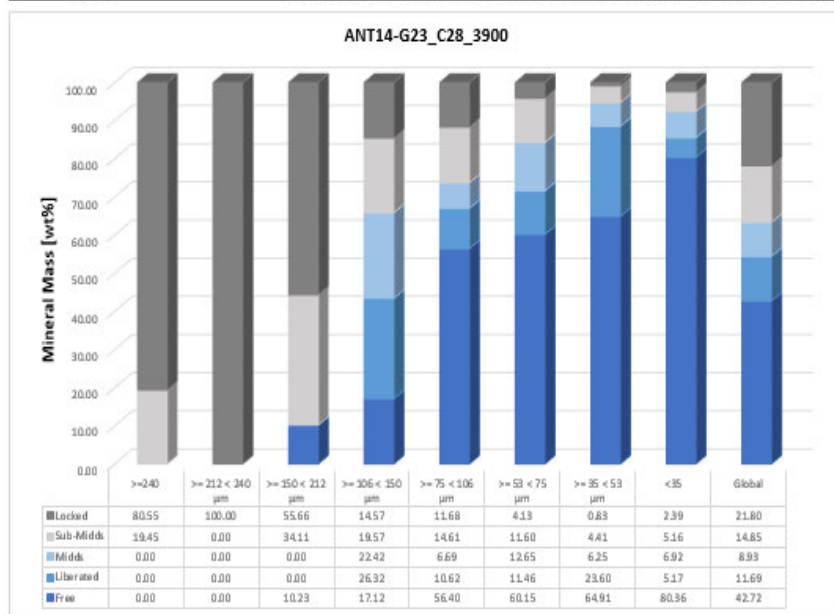
AC-226_C40_3720		Size [µm]								Global
Normalized Cu sulphides Liberation		>=240	>= 212 < 240	>= 150 < 212	>= 106 < 150	>= 75 < 106	>= 53 < 75	>= 35 < 53	<35	
Mineral Mass [wt%]	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	33.72	51.11	69.90	26.16	26.16
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	65.28	0.00	20.73	13.48	15.83
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.84	0.00	6.87	4.77
	Sub-Midds	34.98	0.00	11.24	0.00	17.70	22.42	17.80	4.74	16.80
	Locked	65.02	100.00	88.76	100.00	17.02	14.01	10.36	5.00	36.44
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



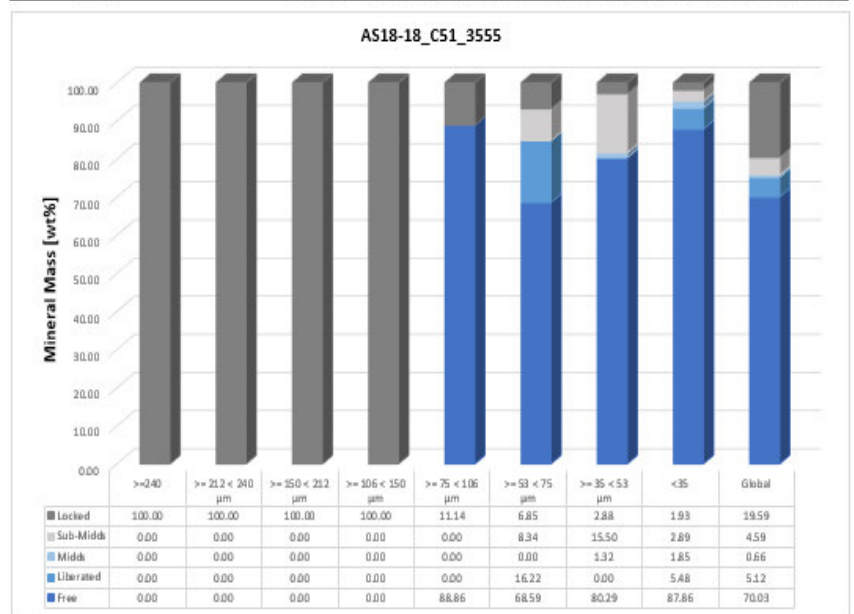
ATA-057_C40_3720		Size [µm]								Global
Normalized Cu sulphides Liberation		>=240	>= 212 < 240	>= 150 < 212	>= 106 < 150	>= 75 < 106	>= 53 < 75	>= 35 < 53	<35	
Mineral Mass [wt%]	Free	0.00	0.00	34.11	80.20	73.68	35.25	83.67	88.10	68.25
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	58.06	5.31	6.56	7.06
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	3.21	0.00	0.00	2.81	1.41
	Sub-Midds	28.85	0.00	0.00	2.93	15.10	4.17	10.42	1.84	8.20
	Locked	71.15	100.00	65.89	16.87	8.01	2.52	0.60	0.69	15.09
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



ANT14-G23_C28_3900		Size [µm]								Global
Normalized Cu sulphides Liberation		>=240	>= 212 < 240	>= 150 < 212	>= 106 < 150	>= 75 < 106	>= 53 < 75	>= 35 < 53	<35	
Mineral Mass [wt%]	Free	0.00	0.00	10.23	17.12	56.40	60.15	64.91	80.36	42.72
	Liberated	0.00	0.00	0.00	26.32	10.62	11.46	23.60	5.17	11.69
	Midds	0.00	0.00	0.00	22.42	6.69	12.65	6.25	6.92	8.93
	Sub-Midds	19.45	0.00	34.11	19.57	14.61	11.60	4.41	5.16	14.85
	Locked	80.55	100.00	55.66	14.57	11.68	4.13	0.83	2.39	21.80
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

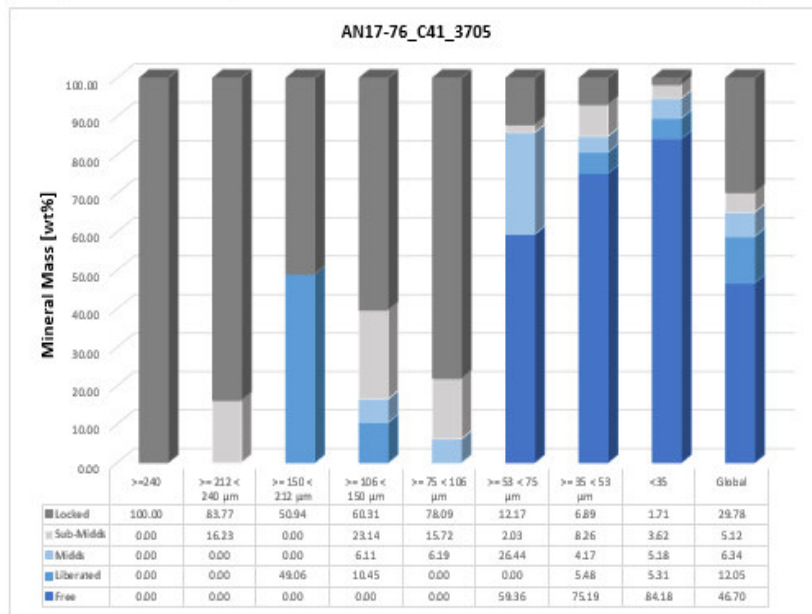


AS18-18_C51_3555		Size [µm]								Global
Normalized Cu sulphides Liberation		>=240	>= 212 < 240	>= 150 < 212	>= 106 < 150	>= 75 < 106	>= 53 < 75	>= 35 < 53	<35	
Mineral Mass [wt%]	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	88.86	68.59	80.29	87.86	70.03
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.22	0.00	5.48	5.12
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.32	1.85	0.66
	Sub-Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.34	15.50	2.89	4.59
	Locked	100.00	100.00	100.00	11.14	6.85	6.85	2.88	1.93	19.59
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

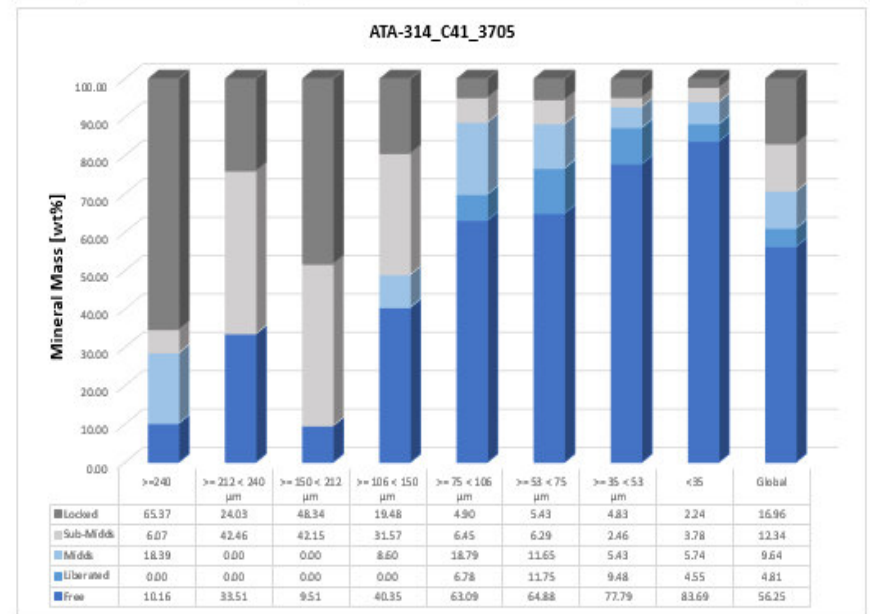


Ciclo 46: Análisis de grado liberación para sulfuros de cobre (continuación)

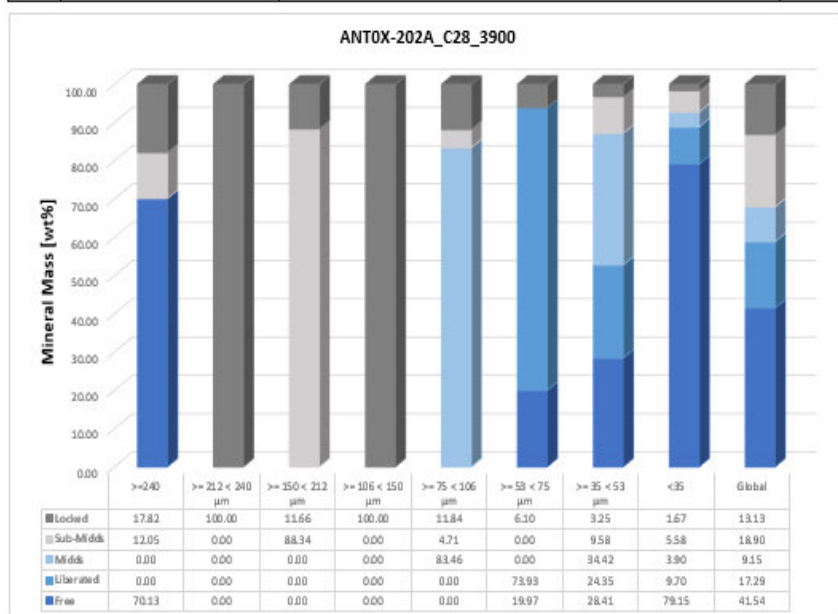
AN17-76 C41_3705		Size [µm]								Global
Normalized Cu sulphides		>= 240	>= 212 < 240	>= 150 < 212	>= 106 < 150	>= 75 < 106	>= 53 < 75	>= 35 < 53	< 35	
Mineral Mass [wt%]	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	59.36	75.19	84.18	46.70
	Liberated	0.00	0.00	49.06	10.45	0.00	0.00	5.48	5.31	12.05
	Midds	0.00	0.00	0.00	6.11	6.19	26.44	4.17	5.18	6.34
	Sub-Midds	0.00	16.23	0.00	23.14	15.72	2.03	8.26	3.62	5.12
	Locked	100.00	83.77	50.94	60.31	78.09	12.17	6.89	1.71	29.78
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



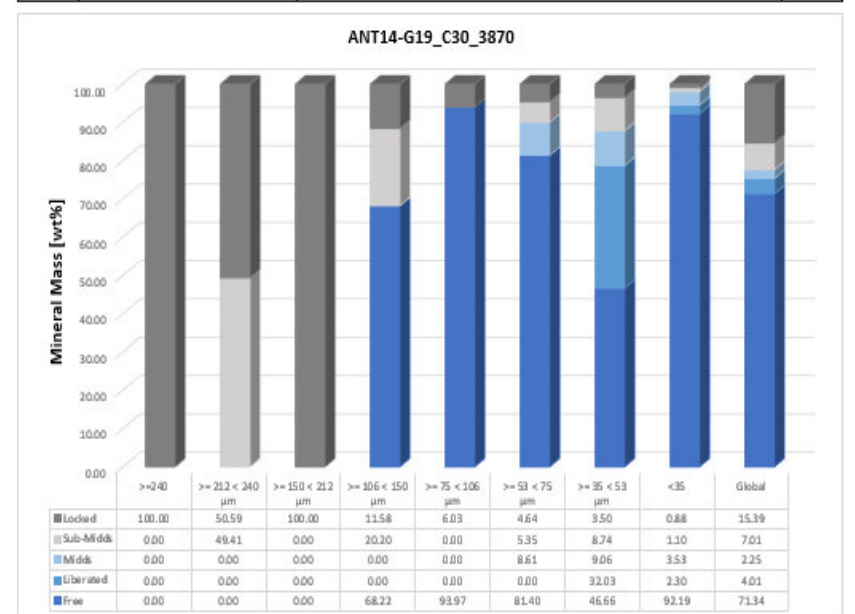
ATA-314 C41_3705		Size [µm]								Global
Normalized Cu sulphides Liberation		>= 240	>= 212 < 240	>= 150 < 212	>= 106 < 150	>= 75 < 106	>= 53 < 75	>= 35 < 53	< 35	
Mineral Mass [wt%]	Free	10.16	33.51	9.51	40.35	63.09	64.88	77.79	83.69	56.25
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	6.78	11.75	9.48	4.55	4.81
	Midds	18.39	0.00	0.00	8.60	18.79	11.65	5.43	5.74	9.64
	Sub-Midds	6.07	42.46	42.15	31.57	6.45	6.29	2.46	3.78	12.34
	Locked	65.37	24.03	48.34	19.48	4.90	5.43	4.83	2.24	16.96
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



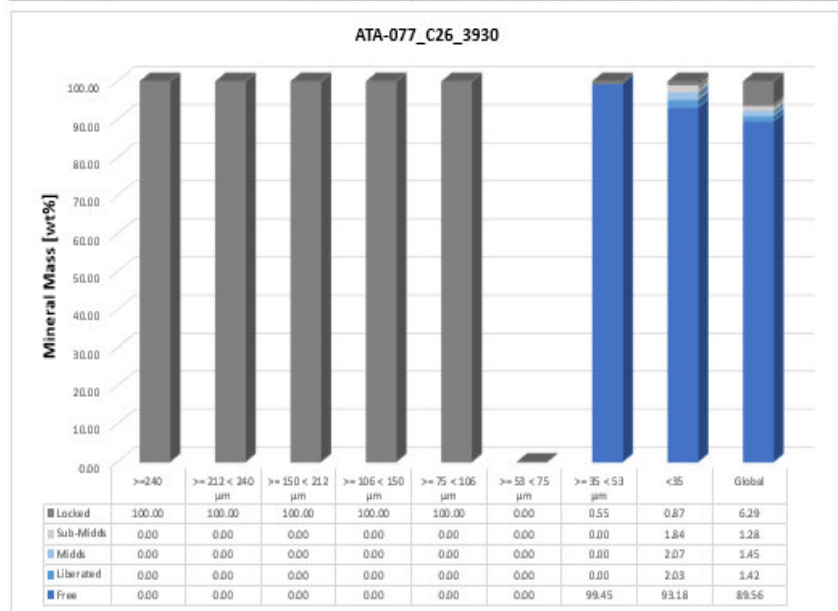
ANTOX-202A C28_3900		Size [µm]								Global
Normalized Cu sulphides Liberation		>= 240	>= 212 < 240	>= 150 < 212	>= 106 < 150	>= 75 < 106	>= 53 < 75	>= 35 < 53	< 35	
Mineral Mass [wt%]	Free	70.13	0.00	0.00	0.00	0.00	19.97	28.41	79.15	41.54
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	73.93	24.35	9.70	17.29
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	83.46	0.00	34.42	3.90	9.15
	Sub-Midds	12.05	0.00	88.34	0.00	4.71	0.00	9.58	5.58	18.90
	Locked	17.82	100.00	11.66	100.00	11.84	6.10	3.25	1.67	13.13
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



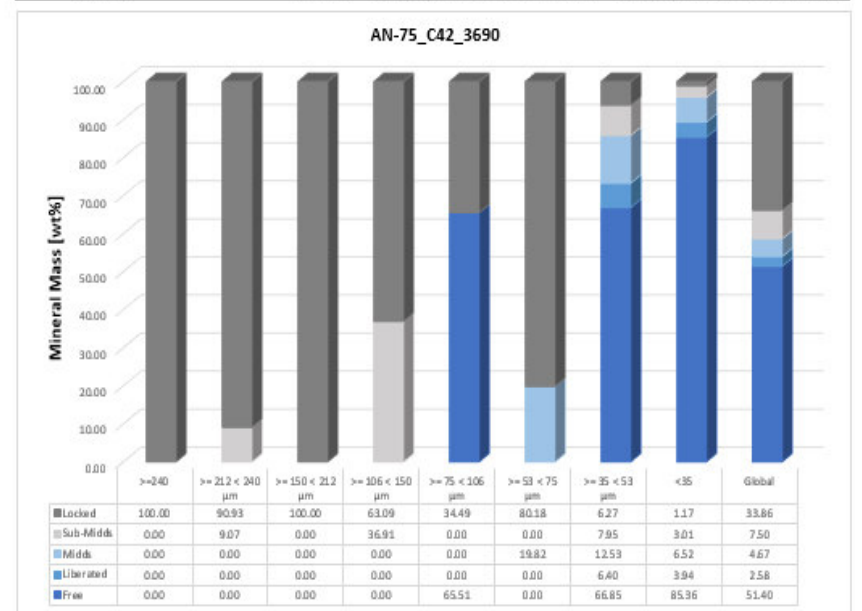
ANT14-G19 C30_3870		Size [µm]								Global
Normalized Cu sulphides Liberation		>= 240	>= 212 < 240	>= 150 < 212	>= 106 < 150	>= 75 < 106	>= 53 < 75	>= 35 < 53	< 35	
Mineral Mass [wt%]	Free	0.00	0.00	0.00	68.22	93.97	81.40	46.66	92.19	71.34
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.03	2.30	4.01
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.61	9.06	3.53	2.25
	Sub-Midds	0.00	49.41	0.00	20.20	0.00	5.35	8.74	1.10	7.01
	Locked	100.00	50.59	100.00	11.58	6.03	4.64	3.50	0.88	15.39
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



ATA-077 C26_3930		Size [µm]								Global
Normalized Cu sulphides Liberation		>= 240	>= 212 < 240	>= 150 < 212	>= 106 < 150	>= 75 < 106	>= 53 < 75	>= 35 < 53	< 35	
Mineral Mass [wt%]	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	#DIV/0!	93.45	93.18	89.56
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	#DIV/0!	0.00	2.03	1.42
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	#DIV/0!	0.00	2.07	1.45
	Sub-Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	#DIV/0!	0.00	1.84	1.28
	Locked	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	#DIV/0!	0.55	0.87	6.29
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	###	100.00	100.00	100.00

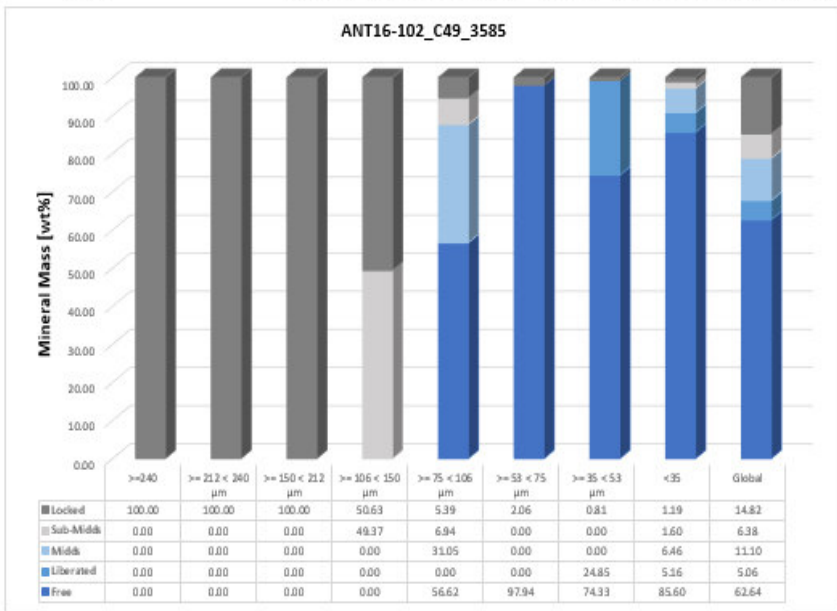


AN-75 C42_3690		Size [µm]								Global
Normalized Cu sulphides Liberation		>= 240	>= 212 < 240	>= 150 < 212	>= 106 < 150	>= 75 < 106	>= 53 < 75	>= 35 < 53	< 35	
Mineral Mass [wt%]	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	65.51	0.00	66.85	85.36	51.40
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.40	3.94	2.58
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.82	12.53	6.52	4.67
	Sub-Midds	0.00	9.07	0.00	36.91	0.00	0.00	7.95	3.01	7.50
	Locked	100.00	90.93	100.00	63.09	34.49	80.18	6.27	1.17	33.86
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

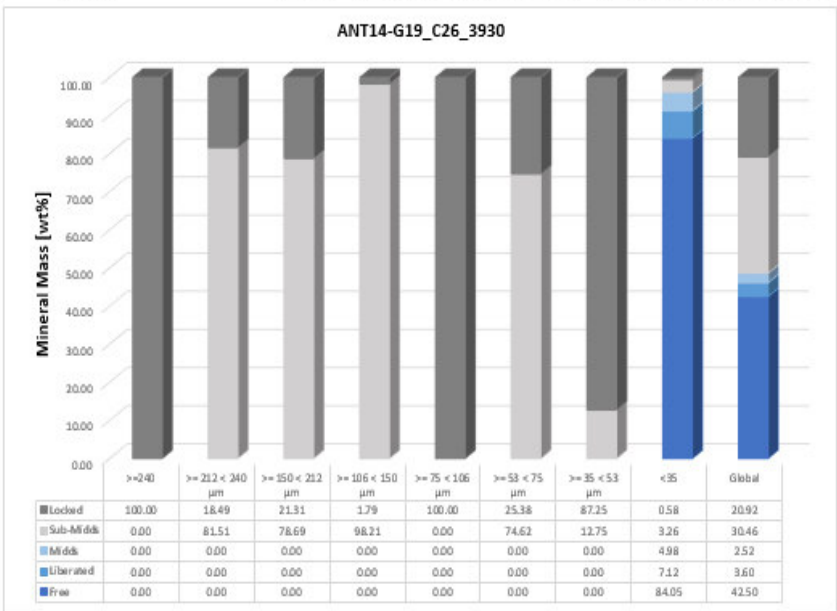


Cuadro 46: Análisis de grado liberación para sulfuros de cobre (continuación)

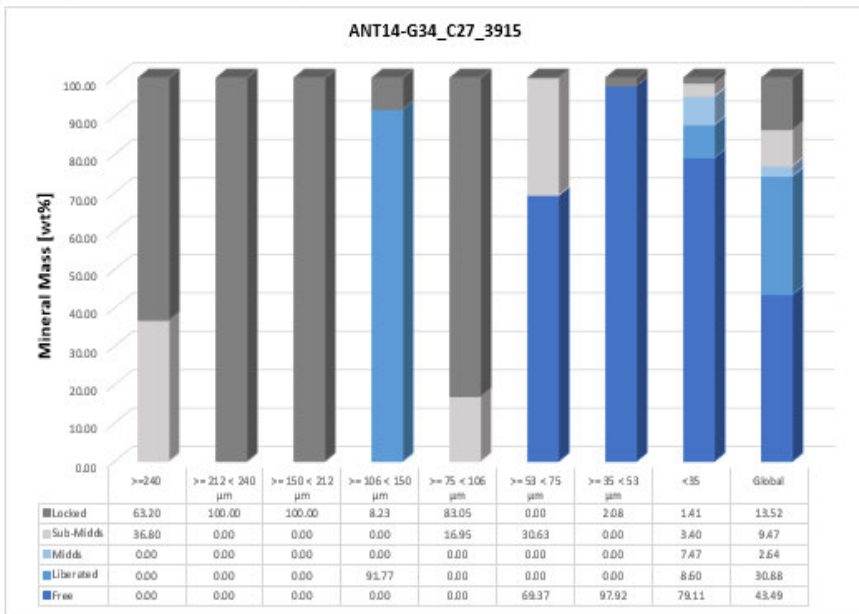
ANT16-102_C49_3585		Size [µm]								Global
Normalized Cu sulphides Liberation		>=240	>= 212 < 240	>= 150 < 212	>= 106 < 150	>= 75 < 106	>= 53 < 75	>= 35 < 53	<35	
Mineral Mass [wt%]	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	56.62	97.94	74.33	85.60	62.64
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.85	5.16	5.06
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	31.05	0.00	0.00	6.46	11.10
	Sub-Midds	0.00	0.00	0.00	49.37	6.94	0.00	0.00	1.60	6.38
	Locked	100.00	100.00	100.00	50.63	5.39	2.06	0.81	1.19	14.82
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



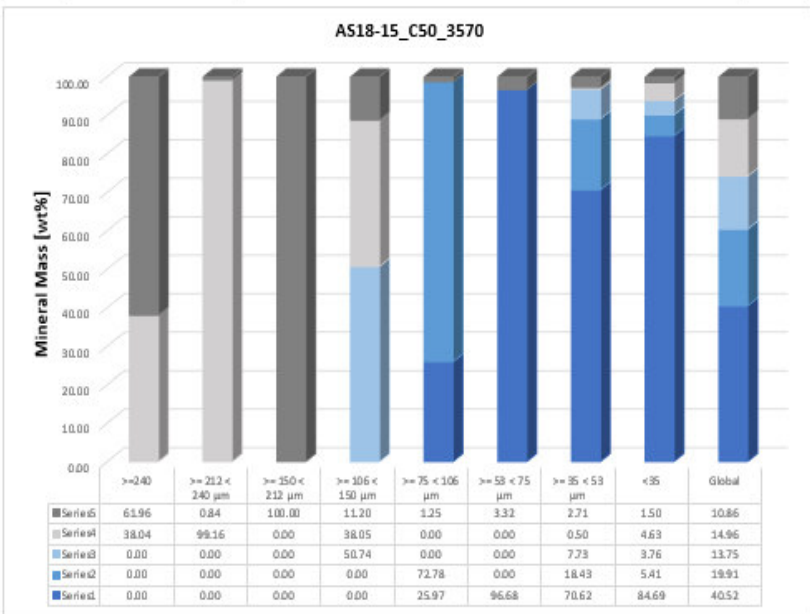
ANT14-G19_C26_3930		Size [µm]								Global
Normalized Cu sulphides Liberation		>=240	>= 212 < 240	>= 150 < 212	>= 106 < 150	>= 75 < 106	>= 53 < 75	>= 35 < 53	<35	
Mineral Mass [wt%]	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	84.05	42.50
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.12	3.60
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.98	2.52
	Sub-Midds	0.00	81.51	78.69	98.21	0.00	74.62	12.75	3.26	30.46
	Locked	100.00	18.49	21.31	1.79	100.00	25.38	87.25	0.58	20.92
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



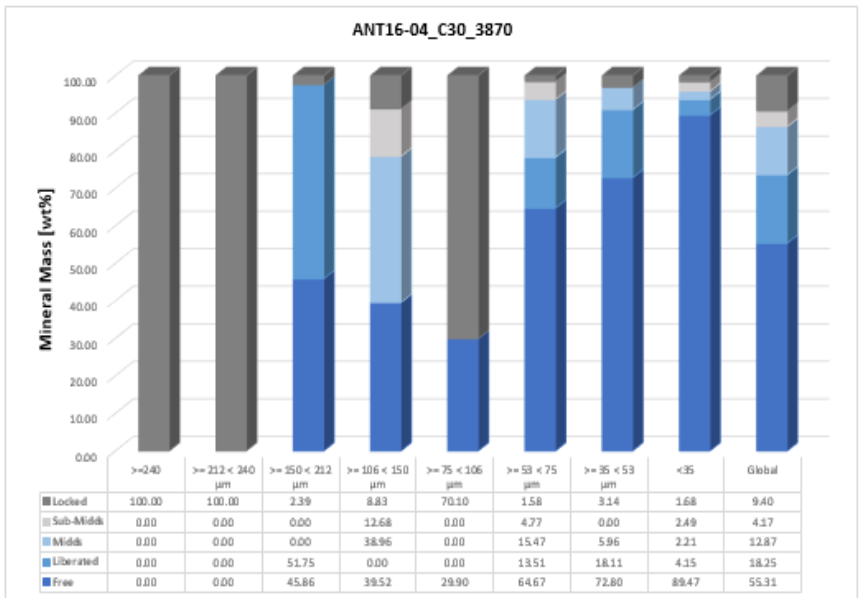
ANT14-G34_C27_3915		Size [µm]								Global
Normalized Cu sulphides Liberation		>=240	>= 212 < 240	>= 150 < 212	>= 106 < 150	>= 75 < 106	>= 53 < 75	>= 35 < 53	<35	
Mineral Mass [wt%]	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	69.37	97.92	79.11	43.49
	Liberated	0.00	0.00	0.00	91.77	0.00	0.00	0.00	8.60	30.88
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.47	2.64
	Sub-Midds	36.80	0.00	0.00	0.00	16.95	30.63	0.00	3.40	9.47
	Locked	63.20	100.00	100.00	8.23	83.05	0.00	2.08	1.41	13.52
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



AS18-15_C50_3570		Size [µm]								Global
Normalized Cu sulphides		>=240	>= 212 < 240	>= 150 < 212	>= 106 < 150	>= 75 < 106	>= 53 < 75	>= 35 < 53	<35	
Mineral Mass [wt%]	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	25.97	96.68	70.62	84.69	40.52
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	72.78	0.00	18.43	5.41	19.91
	Midds	0.00	0.00	0.00	50.74	0.00	0.00	7.73	3.76	13.75
	Sub-Midds	38.04	99.16	0.00	38.05	0.00	0.00	0.50	4.63	14.96
	Locked	61.96	0.84	100.00	11.20	1.25	3.32	2.71	1.50	10.86
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



ANT16-04_C30_3870		Size [µm]								Global
Normalized Cu sulphides Liberation		>=240	>= 212 < 240	>= 150 < 212	>= 106 < 150	>= 75 < 106	>= 53 < 75	>= 35 < 53	<35	
Mineral Mass [wt%]	Free	0.00	0.00	45.86	39.52	29.90	64.67	72.80	89.47	55.31
	Liberated	0.00	0.00	51.75	0.00	0.00	13.51	18.11	4.15	18.25
	Midds	0.00	0.00	0.00	38.96	0.00	15.47	5.96	2.21	12.87
	Sub-Midds	0.00	0.00	0.00	12.68	0.00	4.77	0.00	2.49	4.17
	Locked	100.00	100.00	2.39	8.83	70.10	1.58	3.14	1.68	9.40
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



Cuadro 52: Resultado de Análisis de grado liberación para sulfuros de cobre (relaves)

[illegible][illegible][illegible]

AN18-99_C34_3810		Size [µm]								
Mineral Mass [wt%]	Normalized Cu sulphides Liberation	>=240	>= 212 < 240 µm	>= 150 < 212 µm	>= 106 < 150 µm	>= 75 < 106 µm	>= 53 < 75 µm	>= 35 < 53 µm	<35	Global
	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	92.89	81.27	37.38
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Sub-Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.09	0.00	0.61
	Locked	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	5.02	18.73	62.00
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	100.00	100.00	100.00

[illegible][illegible][illegible]

Cuadro 52: Resultado de Análisis de grado liberación para sulfuros de cobre (relaves) continua

AN18-99_C35_3795		Size [µm]								
	Normalized Cu sulphides Liberation	>=240	>= 212 < 240 µm	>= 150 < 212 µm	>= 106 < 150 µm	>= 75 < 106 µm	>= 53 < 75 µm	>= 35 < 53 µm	<35	Global
Mineral Mass [wt%]	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	63.86	5.36
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.38	0.00	0.51
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.40	0.00	9.96	1.89
	Sub-Midds	0.00	0.00	11.33	0.00	24.28	51.19	0.00	17.69	9.78
	Locked	100.00	100.00	88.67	100.00	75.72	33.40	83.62	8.48	82.46
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
AN17-76_C32_3840		Size [µm]								
	Normalized Cu sulphides Liberation	>=240	>= 212 < 240 µm	>= 150 < 212 µm	>= 106 < 150 µm	>= 75 < 106 µm	>= 53 < 75 µm	>= 35 < 53 µm	<35	Global
Mineral Mass [wt%]	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.68	1.25
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.04	0.41
	Sub-Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	78.95	45.20	5.73
	Locked	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	21.05	18.08	92.61
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
AN18-12_C32_3840		Size [µm]								
	Normalized Cu sulphides Liberation	>=240	>= 212 < 240 µm	>= 150 < 212 µm	>= 106 < 150 µm	>= 75 < 106 µm	>= 53 < 75 µm	>= 35 < 53 µm	<35	Global
Mineral Mass [wt%]	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	90.55	72.18	6.66
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.32	0.10
	Sub-Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	61.24	0.00	13.91	3.10
	Locked	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	38.76	9.45	11.59	90.14
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ATA-032_C36_3780		Size [µm]								
	Normalized Cu sulphides Liberation	>=240	>= 212 < 240 µm	>= 150 < 212 µm	>= 106 < 150 µm	>= 75 < 106 µm	>= 53 < 75 µm	>= 35 < 53 µm	<35	Global
Mineral Mass [wt%]	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	86.03	2.85
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Sub-Midds	0.00	0.00	0.00	41.38	0.00	0.00	0.00	6.98	5.58
	Locked	100.00	100.00	100.00	58.62	100.00	0.00	100.00	6.98	91.58
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	100.00	100.00	100.00
AN17-34_C37_3765		Size [µm]								
	Normalized Cu sulphides Liberation	>=240	>= 212 < 240 µm	>= 150 < 212 µm	>= 106 < 150 µm	>= 75 < 106 µm	>= 53 < 75 µm	>= 35 < 53 µm	<35	Global
Mineral Mass [wt%]	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.55	86.58	5.36
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.23	0.24
	Sub-Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Locked	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	74.45	9.19	94.40
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
AN-79_C32_3840		Size [µm]								
	Normalized Cu sulphides Liberation	>=240	>= 212 < 240 µm	>= 150 < 212 µm	>= 106 < 150 µm	>= 75 < 106 µm	>= 53 < 75 µm	>= 35 < 53 µm	<35	Global
Mineral Mass [wt%]	Free	0.00	0.00	0.00	80.57	0.00	45.53	71.71	89.89	57.11
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	31.59	22.52	14.37	3.44	8.71
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	35.00	23.29	10.72	3.49	8.86
	Sub-Midds	0.00	0.00	16.07	6.90	13.10	0.00	1.01	1.98	5.13
	Locked	100.00	100.00	83.93	12.53	20.32	8.65	2.19	1.19	20.19
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
ANE19-08_C33_3825		Size [µm]								
	Normalized Cu sulphides Liberation	>=240	>= 212 < 240 µm	>= 150 < 212 µm	>= 106 < 150 µm	>= 75 < 106 µm	>= 53 < 75 µm	>= 35 < 53 µm	<35	Global
Mineral Mass [wt%]	Free	0.00	0.00	0.00	52.79	0.00	0.00	0.00	76.87	14.75
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.50	0.55
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	39.69	0.00	2.60	1.14
	Sub-Midds	0.00	0.00	84.18	0.00	64.50	0.00	0.00	3.74	47.39
	Locked	100.00	100.00	15.82	47.21	35.50	60.31	100.00	11.28	36.17
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Cuadro 52: Resultado de Análisis de grado liberación para sulfuros de cobre (relaves) continua

[illegible][illegible][illegible]

AN18-71_C33_3825		Size [µm]								
Mineral Mass [wt%]	Normalized Cu sulphides Liberation	>=240	>= 212 < 240 µm	>= 150 < 212 µm	>= 106 < 150 µm	>= 75 < 106 µm	>= 53 < 75 µm	>= 35 < 53 µm	<35	Global
	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	97.03	61.97	43.81
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.64	1.45
	Sub-Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.97	3.79	1.58
	Locked	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	100.00	0.00	22.60	53.16
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00

[illegible][illegible][illegible]

Cuadro 52: Resultado de Análisis de grado liberación para sulfuros de cobre (relaves) continua

ATA-057_C40_3720		Size [µm]								Global
Mineral Mass [wt%]	Normalized Cu sulphides Liberation	>=240	>= 212 < 240 µm	>= 150 < 212 µm	>= 106 < 150 µm	>= 75 < 106 µm	>= 53 < 75 µm	>= 35 < 53 µm	<35	
	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	81.96	6.45
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.26	0.97
	Sub-Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	19.85	0.00	0.00	3.85	1.20
	Locked	100.00	100.00	100.00	100.00	80.15	100.00	100.00	1.92	91.38
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

ANT14-G23_C28_3900		Size [µm]								Global
Mineral Mass [wt%]	Normalized Cu sulphides Liberation	>=240	>= 212 < 240 µm	>= 150 < 212 µm	>= 106 < 150 µm	>= 75 < 106 µm	>= 53 < 75 µm	>= 35 < 53 µm	<35	
	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	90.18	17.20
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.14	0.98
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Sub-Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.94	0.18
	Locked	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	3.74	81.64
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

AS18-18_C51_3555		Size [µm]								Global
Mineral Mass [wt%]	Normalized Cu sulphides Liberation	>=240	>= 212 < 240 µm	>= 150 < 212 µm	>= 106 < 150 µm	>= 75 < 106 µm	>= 53 < 75 µm	>= 35 < 53 µm	<35	
	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	55.60	2.02
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.87	0.00	2.24
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Sub-Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	72.38	8.11	7.08
	Locked	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	3.75	36.28	88.66
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

ANT17-76_C41_3705		Size [µm]								Global
Mineral Mass [wt%]	Normalized Cu sulphides Liberation	>=240	>= 212 < 240 µm	>= 150 < 212 µm	>= 106 < 150 µm	>= 75 < 106 µm	>= 53 < 75 µm	>= 35 < 53 µm	<35	
	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	57.57	2.67
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.37	0.62
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.15	0.15
	Sub-Midds	0.00	0.00	0.00	23.80	17.95	51.13	79.40	15.56	6.88
	Locked	100.00	100.00	100.00	76.20	82.05	48.87	20.60	10.35	89.68
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

ATA-314_C41_3705		Size [µm]								Global
Mineral Mass [wt%]	Normalized Cu sulphides Liberation	>=240	>= 212 < 240 µm	>= 150 < 212 µm	>= 106 < 150 µm	>= 75 < 106 µm	>= 53 < 75 µm	>= 35 < 53 µm	<35	
	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	80.57	90.07	79.83	10.62
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.25	0.00	0.00	0.69
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.61	2.97	0.36
	Sub-Midds	0.00	0.00	21.23	0.00	0.00	0.00	0.00	14.32	3.14
	Locked	100.00	100.00	78.77	100.00	100.00	6.18	1.32	2.88	85.19
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

ANTOX-202A_C28_3900		Size [µm]								Global
Mineral Mass [wt%]	Normalized Cu sulphides Liberation	>=240	>= 212 < 240 µm	>= 150 < 212 µm	>= 106 < 150 µm	>= 75 < 106 µm	>= 53 < 75 µm	>= 35 < 53 µm	<35	
	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	62.14	6.42
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.44	0.15
	Sub-Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.27	17.25	2.81
	Locked	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	83.73	19.17	90.62
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

ANT14-G19_C30_3870		Size [µm]								Global
Mineral Mass [wt%]	Normalized Cu sulphides Liberation	>=240	>= 212 < 240 µm	>= 150 < 212 µm	>= 106 < 150 µm	>= 75 < 106 µm	>= 53 < 75 µm	>= 35 < 53 µm	<35	
	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	87.50	10.51
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.41	1.01
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.28	0.15
	Sub-Midds	0.00	0.00	91.54	0.00	0.00	0.00	0.00	2.80	44.44
	Locked	100.00	0.00	8.46	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	43.89
	Total	100.00	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	100.00	100.00

Cuadro 52: Resultado de Análisis de grado liberación para sulfuros de cobre (relaves) continua

[illegible][illegible][illegible][illegible]

ANT14-G34_C27_3915		Size [µm]								
Mineral Mass [wt%]	Normalized Cu sulphides Liberation	>=240	>= 212 < 240 µm	>= 150 < 212 µm	>= 106 < 150 µm	>= 75 < 106 µm	>= 53 < 75 µm	>= 35 < 53 µm	<35	Global
	Free	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	68.79	8.58
	Liberated	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Midds	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.04	1.13
	Sub-Midds	0.00	0.00	0.00	38.73	0.00	0.00	0.00	3.81	9.03
	Locked	100.00	100.00	100.00	61.27	0.00	100.00	100.00	18.36	81.26
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00

[illegible]