

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

DETERMINACIÓN DE COSTOS PARA ANÁLISIS DE ELEMENTOS DE INTERÉS
EN MUETRAS MINERALES

Trabajo de Titulación para optar al
Título de Técnico Universitario en
MINERÍA Y METALURGIA

Alumno:
Evelyn Macarena Cayulef Rojas

Profesor Guía:
Sr. Luis Gutiérrez Meneses

2017

RESUMEN EJECUTIVO

Keywords: DETERMINACION DE COBRE – REACTIVOS - COSTOS

Un mineral es una sustancia sólida inorgánica, formada por uno o más elementos químicos de interés, definidos y representados a través de fórmulas químicas. En este trabajo el mineral de interés es el cobre presente en minerales sulfurados.

Para cuantificar el cobre presente en muestras minerales se realiza en primera instancia la digestión ácida de la muestra, para obtener el metal de interés en solución. Para ello se requieren reactivos como ácido nítrico, sulfúrico, clorhídrico entre otros.

Cada uno de estos reactivos conlleva un costo y la inclusión de materiales usados, equipos especializados, personal y elementos de protección personal el costo del procedimiento varía entre \$577 y \$960 según la metodología utilizada. El mayor número de análisis solicitados corresponden al cliente Minas con un costo anual de \$18.820.860, abarcando el 21% del gasto generado en el laboratorio.

ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE GRÁFICOS

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1: CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE SULFUROS DE COBRE

- 1.1. CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS
 - 1.1.1. Mineralogía descriptiva
 - 1.1.2. Mineralogía determinativa
- 1.2. MINERALES DE COBRE
 - 1.2.1. Minerales sulfurados de Cobre
 - 1.2.2. Caracterización mineral de Cu procesado

CAPÍTULO 2: PROCESAMIENTO DE MUESTRA MINERALES PARA DETERMINACIÓN DE COBRE TOTAL EN LABORATORIO

- 2.1. ANÁLISIS DE COBRE TOTAL EN MINERALES MENORES A 4,5%
 - 2.1.1. Digestión ácida con HNO_3 y HCl
 - 2.1.2. Lectura por espectrometría de absorción atómica
- 2.2. DETERMINACIÓN DE COBRE TOTAL MAYOR A 4,5%
 - 2.2.1. Digestión ácida
 - 2.2.2. Análisis volumétrico

CAPÍTULO 3: DETERMINACIÓN DE COSTOS SEGÚN REQUERIMIENTOS DE CLIENTES

- 3.1. COSTOS POR PROCEDIMIENTOS
 - 3.1.1. Análisis de Cobre Soluble
 - 3.1.2. Análisis de Cobre Total en minerales
 - 3.1.3. Análisis de Plata
 - 3.1.4. Análisis de Oro en minerales y concentrados
 - 3.1.5. Análisis de Cadmio, Plomo y Zinc en minerales y concentrados
 - 3.1.6. Análisis de Hierro Total en muestras de minerales y concentrados
 - 3.1.7. Análisis de Óxido de Calcio
- 3.2. COSTOS POR CLIENTE
 - 3.2.1. Minas
 - 3.2.2. Planta
 - 3.2.3. Geología

- 3.2.4. Sondaje Base H
- 3.2.5. DJ
- 3.2.6. Mina Margarita
- 3.2.7. Mina Sauce
- 3.2.8. MCM
- 3.2.9. Laboratorio Metalúrgico
- 3.2.10. ENAMI
- 3.2.11. Mina Jaime
- 3.2.12. Despacho Concentrado
- 3.2.13. Paquete Segundo
- 3.2.14. Concentrado Embarque
- 3.2.15. MINEX
- 3.2.16. GV
- 3.2.17. Otros

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1-1. Clasificación de la mineralogía
- Figura 1-2. Sistemas cristalinos
- Figura 1-3. Distribución de minerales de Cobre en yacimiento pórfido cuprífero
- Figura 1-4. Calcosina
- Figura 1-5. Covelina
- Figura 1-6. Bornita
- Figura 1-7. Calcopirita
- Figura 1-8. Enargita
- Figura 1-9. Tetraedrita
- Figura 2-1. Muestras para análisis y espectrómetro de absorción atómica
- Figura 2-2. Adición de acetato de sodio
- Figura 2-3. Adición de Fluoruro de sodio
- Figura 2-4. Adición de Yoduro de sodio
- Figura 2-5. Adición de solución indicadora de almidón
- Figura 2-6. Titulación de cobre con $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 5\text{H}_2\text{O}$

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1-1. Resumen características mineralógicas del mineral

Tabla 2-1.	Dosificación de reactivos, digestión ácida de Cu >4,5%
Tabla 2-2.	Propiedades físicas y químicas de HCl y HNO ₃
Tabla 2-3.	Propiedades físicas y químicas de HF, H ₂ SO ₄ Y HClO ₄
Tabla 2-4.	Dosificación de reactivos, digestión ácida mayor a 4,5% de Cu
Tabla 2-5.	Propiedades físicas y químicas de KMnO ₄ y FeSO ₄ X 7H ₂ O
Tabla 2-6.	Propiedades físicas y químicas de acetato de sodio
Tabla 2-7.	Propiedades físicas y químicas de CH ₃ COOH
Tabla 2-8.	Propiedades físicas y químicas de Fluoruro de sodio
Tabla 2-9.	Propiedades físicas y químicas de Yoduro de potasio
Tabla 2-10.	Propiedades físicas y químicas de Almidón
Tabla 2-11.	Propiedades físicas y químicas Tiosulfato de sodio
Tabla 2-12.	Dosificación de reactivos para el acondicionamiento y titulación de la muestra
Tabla 3-1.	Procedimientos realizados año 2016
Tabla 3-2.	Promedio de análisis mensuales
Tabla 3-3.	Costos por análisis de Cu soluble
Tabla 3-4.	Costos por análisis de Cu menor y mayor a 4,5%
Tabla 3-5.	Costos por análisis de plata
Tabla 3-6.	Costos de reactivos según tipo de mineral
Tabla 3-7.	Costos análisis de oro
Tabla 3-8.	Costos por análisis de Cd, Pb y Zn
Tabla 3-9.	Costos análisis de hierro
Tabla 3-10.	Costos análisis de óxido de calcio
Tabla 3-11.	Análisis solicitados y costos asociados - Minas
Tabla 3-12.	Análisis solicitados y costos asociados - Planta
Tabla 3-13.	Análisis solicitados y costos asociados - Geología
Tabla 3-14.	Análisis solicitados y costos asociados – Sondaje Base H
Tabla 3-15.	Análisis solicitados y costos asociados - DJ
Tabla 3-16.	Análisis solicitados y costos asociados – Mina Margarita
Tabla 3-17.	Análisis solicitados y costos asociados – Mina Sauce
Tabla 3-18.	Análisis solicitados y costos asociados - MCM
Tabla 3-19.	Análisis solicitados y costos asociados – Laboratorio Metalúrgico
Tabla 3-20.	Análisis solicitados y costos asociados - ENAMI
Tabla 3-21.	Análisis solicitados y costos asociados – Mina Jaime
Tabla 3-22.	Análisis solicitados y costos asociados – Despacho concentrado
Tabla 3-23.	Análisis solicitados y costos asociados – Paquete segundo
Tabla 3-24.	Análisis solicitados y costos asociados – Concentrado embarque
Tabla 3-25.	Análisis solicitados y costos asociados - MINEX
Tabla 3-26.	Análisis solicitados y costos asociados – GV
Tabla 3-27.	Análisis solicitados y costos asociados – Otros clientes
Tabla 3-28.	Resumen análisis solicitados y costos por cliente

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3-1. Análisis realizados por elementos año 2016

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

A. SIGLAS

EAA : Espectrometría de absorción atómica
ENAMI : Empresa Nacional de Minería

B. SIMBOLOGÍA

Ag : Plata
Au : Oro
Cd : Cadmio
Cu : Cobre
Fe : Hierro
H₂SO₄ : Ácido sulfúrico
HCl : Ácido clorhídrico
HClO₄ : Ácido perclórico
HF : Ácido fluorhídrico
HNO₃ : Ácido nítrico
KI : Yoduro de potasio
KMnO₄ : Permanganato de potasio
Pb : Plomo
S : Azufre
Zn : Zinc
\$: Peso chileno
% : Porcentaje
< : Menor que
> : Mayor que
 $\bar{X}$: Promedio

INTRODUCCIÓN

Minera Las Cenizas- Faena Cabildo está ubicada, como su nombre lo indica, en la localidad de Cabildo, Provincia de Petorca, Región de Valparaíso. En sus instalaciones cuenta con una planta concentradora, que procesa mayoritariamente minerales sulfurados de cobre provenientes de minas propias, minas de terceros y del poder compra de minerales de ENAMI. Con la finalidad de controlar los resultados del procesamiento metalúrgico, la faena Cabildo posee un laboratorio químico perteneciente al área de control de calidad, en el cual se cuantifican los elementos de interés presente en muestras minerales. Los procedimientos desarrollados en el laboratorio, consisten en la determinación de: Cobre total y soluble, Plata, Oro, Zinc, Plomo, Hierro, Cadmio y Óxido de calcio; los cuales son realizados según las necesidades de la empresa y las solicitudes de los respectivos clientes.

Para llevar a cabo estos procedimientos de control de calidad en minerales y concentrados, se requieren diversos recursos, lo que genera costos de producción. Este trabajo se origina en la necesidad de conocer los valores actuales que conlleva la realización de los distintos procedimientos realizados en el laboratorio.

El objetivo general de este trabajo es determinar los costos asociados a los análisis de elementos de interés en muestras minerales, tomando en cuenta los recursos utilizados para estos fines durante los meses de Enero a Diciembre del año 2016.

Como primer objetivo específico se caracterizarán los minerales sulfurados de cobre, de acuerdo a sus propiedades físico-químicas.

El segundo objetivo específico es conocer el uso de reactivos y procedimientos realizados para la determinación de leyes de cobre, según el origen de la muestra.

El tercer y último objetivo específico de este trabajo es cuantificar los costos asociados a los procesos mencionados anteriormente, en base a la utilización de recursos humanos, materiales, reactivos, equipos y elementos de protección personal. Logrados los costos finales de cada uno de los procesos, se procederá a calcular el gasto por análisis de cada uno de los clientes, tomando como usuarios a, Minas, Plantas, Geología, Metalúrgicos, ENAMI, Despacho Concentrado, Concentrado Embarque, entre otros.

Finalmente se concluirá la información estudiada, dando énfasis a los costos de cada uno de los procesos, el gasto de cada uno de los usuarios y la importancia de cuantificar los metales de interés en muestras minerales.

CAPÍTULO 1: CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE SULFUROS DE
COBRE

1. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE SULFUROS DE COBRE

Un mineral es una sustancia sólida inorgánica, formada por uno o más elementos químicos definidos, organizados ordenadamente en una estructura interna lo que le otorga propiedades y características determinadas que se pueden representar a través de fórmulas químicas.

Bajo ciertas circunstancias, que dependerán del factor geológico de un lugar determinado, se puede acumular en la tierra una concentración anómala de sustancias minerales útiles que pueden ser extraídos con beneficio económico, estos son llamados depósito o yacimiento mineral.

Los minerales se encuentran en la superficie o en las diversas capas de la corteza terrestre, unidos químicamente a otros materiales formando las menas, que a su vez suelen aparecer entremezcladas con minerales no metálicos o materia rocosa sin valor comercial, a lo que se denomina ganga. La mezcla de mena y ganga se llama cuerpo mineralizado.

Los minerales son naturales, es decir, no son producidos artificialmente en el laboratorio, más bien se encuentran en forma espontánea en el ambiente. También son homogéneos, en otras palabras una sustancia pura, elemento o compuesto químico, ordenados con estructura definida. Las menas que contienen al mineral de interés son una mezcla heterogénea al ser un conjunto de minerales. También los minerales presentan una estructura cristalina, donde los átomos o moléculas de la sustancia tienen un ordenamiento geométrico constante en el espacio. Si, por el contrario, no se observa una disposición periódica y ordenada de las entidades, se dice que la sustancia no está cristalizada o que es amorfa. Ejemplos de minerales de estructura amorfa son las rocas volcánicas y el vidrio.

1.1. CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS

La mineralogía es la ciencia que se ocupa de identificar minerales y estudiar sus propiedades y origen, con el propósito de realizar su clasificación.

El estudio de los minerales se efectúa a partir de la observación y del análisis de las rocas que constituyen muestras geológicas permitiendo conocer más acerca de los procesos geológicos que han tenido lugar en una determinada zona, y comprender las características que se observan en la actualidad y definir sus posibles usos.

La clasificación del estudio mineralógico es representado en la figura 1-1.



Fuente: <https://www.codelcoeduca.cl/>

Figura 1-1. Clasificación de la mineralogía

1.1.1. Mineralogía descriptiva

Se encarga de estudiar las propiedades y clasificación de los minerales individuales, su localización, sus formas de aparición y sus usos.

1.1.2. Mineralogía determinativa

Esta área de la mineralogía se ocupa de identificar los minerales presentes en una muestra en función de sus propiedades químicas, físicas y cristalográficas.

1.1.2.1. Mineralogía química

Se ocupa de estudiar e identificar la composición química de los minerales. Esta es la propiedad más importante para realizar la identificación de los minerales. La mineralogía química se realiza con métodos normalizados, cuantitativos y cualitativos.

1.1.2.2. Mineralogía física

Estudia las propiedades físicas de los minerales, tales como las ópticas, mecánicas y electromagnéticas. Las propiedades físicas constituyen una importante ayuda para identificar los minerales. Muchos de ellos se pueden reconocer a simple vista (utilizando elementos como la lupa, el martillo o una punta para rayar) o por medio de pruebas sencillas. Algunas propiedades son:

A. Densidad: Esta propiedad que permite medir la ligereza o pesadez de una sustancia. Cuanto mayor sea la densidad de un cuerpo, más pesado parecerá. Se define como el cociente entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa. En el Sistema Internacional la densidad se medirá en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3). La densidad de una roca depende de su composición química-mineralógica, de la porosidad, humedad y condiciones de formación.

B. Exfoliación: Es la propiedad que tiene un mineral de partirse según unas direcciones preferentes. Depende de la estructura interna del cristal y es constante para cada mineral. En la práctica, se distinguen los siguientes grados de exfoliación:

- Excelente: el mineral se exfolia en finas láminas en un sentido.
- Perfecta: el mineral se exfolia en formas regulares delimitadas por los planos de exfoliación.
- Buena: los planos de exfoliación son menos visibles y no siempre son perfectamente rectos
- Imperfecta: la exfoliación no es neta; los planos de separación presentan en general una superficie irregular.
- Muy imperfecta: no existe exfoliación. En estos minerales se suele observar fractura.

C. Fractura: es la manera como se rompe un mineral cuando no se exfolia o parte. Las fracturas pueden ser: concooidal, fibrosa o astillosa, ganchuda y desigual o irregular

D. Tenacidad: es la resistencia del mineral a ser roto, molido, doblado o desgarrado. Se emplea la siguiente escala:

- frágil (cuando se rompe o reduce a polvo; cuarzo y azufre)
- maleable (cuando puede ser transformado en hojas; oro, plata, cobre, plomo, cinc, hierro)
- séctil (que puede cortarse con un cuchillo)
- dúctil (que se le puede dar forma de hilo; oro, plata, cobre)
- flexible (que puede ser doblado; yeso y talco)
- elástico (que recobra la forma primitiva después de ser deformado; mica)

E. Dureza: Es la propiedad que presenta un cuerpo cuando se resiste a ser rayado por otro. Se mide en la escala de MOHS, donde el diamante se encuentra en lo más alto de la escala, con una dureza de 10, El talco es el más blando, con una dureza de 1. Un mineral de una cierta dureza rallará a otro mineral de dureza inferior.

F. Propiedades que dependen de la luz: brillo, color, raya y otros.

- Brillo: aspecto de la superficie cuando se refleja la luz, puede ser de dos tipos metálicos y no metálicos. Entre los no metálicos se pueden clasificar como: vítreo (que tiene reflejo del vidrio como el cuarzo), resinoso (que tiene aspecto de resina como la blenda), graso (que parecen estar cubiertos por una delgada capa de aceite como la malaquita), adamantino (con reflejo fuerte y brillante como el diamante), nacarado (con el aspecto de la perla) y sedoso (como la seda ejemplo el yeso fibroso).

- Luminiscencia: propiedad que poseen ciertos minerales de emitir luz casi en la oscuridad, tales como blenda, calcita y fluorita.
- Raya: El color del polvo fino de un mineral se conoce con el nombre de raya o huella. La huella se emplea frecuentemente en la identificación de minerales, porque, aunque el color de un mineral puede variar entre límites amplios el de la huella es normalmente constante.

1.1.2.3. Mineralogía cristalográfica

Esta estudia el crecimiento y la forma que adoptan la mayoría de los minerales cuando las condiciones de formación son favorables, además analiza el carácter geométrico de los cristales. La cristalografía se puede dividir en 3 secciones: geométrica, física y química. Las dos últimas involucran las relaciones de la forma cristalina (geométrica) en las propiedades físicas y químicas de cualquier mineral dado.

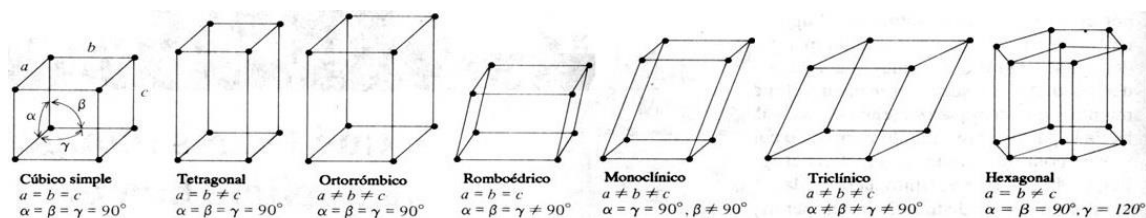
Los cristales se caracterizan por un ordenamiento interno de los átomos de tal manera que forma superficies planas, paralelas a planos reticulares de su estructura. Un cristal es una forma regular poliédrica, limitada por caras lisas que son formadas por un compuesto químico, debido a la acción de sus fuerzas interatómicas, al pasar, bajo condiciones convenientes, del estado de líquido o gas a un sólido. La forma del poliedro es de un sólido limitado por los planos (se les denomina a estos planos son las caras del cristal).

Un compuesto químico dice que todos los minerales son entes químicos que se han formado en la naturaleza. Cuando los minerales están a la misma temperatura, los ángulos entre las caras de cristales similares permanecen constantes sin tener en cuenta el tamaño o la forma del cristal. Así, si el cristal creció bajo las condiciones ideales o no, si se comparan los ángulos entre las caras correspondientes en los distintos cristales del mismo mineral, el ángulo permanece constante.

Durante el proceso de cristalización en el ambiente apropiado, los cristales asumen distintas formas geométricas dependientes de la clasificación de su estructura atómica y las condiciones físicas y químicas bajo la que ellos crecen.

Estas formas y de acuerdo con las características de geometría propias los cristales pueden subdividirse en siete sistemas de simetría a saber, estos presentan ejes cristalográficos, que se plantean en tres dimensiones, puesto que deben tener 3 ejes para tener cuerpo y volumen.

Los sistemas de simetría se describen en la siguiente página y están representados en la figura 1-2.



Fuente: <https://www.codelcoeduca.cl/>

Figura 1-2. Sistemas cristalinos

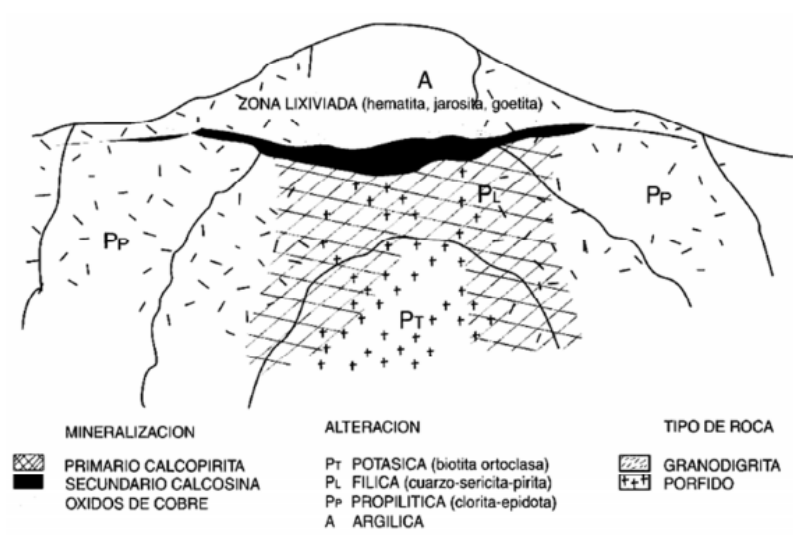
- **Cúbico simple (isométrico)**: Los tres ejes cristalográficos son todos de igual longitud y cortan a los ángulos rectos (90°) en dirección al observador.
- **Tetragonal**: Tiene los tres ejes, todos en ángulo recto, dos de los cuales son iguales en la longitud (a y b) y uno (c) que es diferente en la longitud (más corto o más largo).
- **Ortorrómbico**: Tres ejes, todos en ángulo recto, y los tres de longitudes diferentes.
- **Romboédrico trigonal**: los tres ejes son todos iguales en longitud y los ángulos son iguales entre ellos y distinto a 90°
- **Hexagonal**: Cuatro ejes, tres de los ejes son horizontales y contenidos en el mismo plano es así como cortan a la cruz axial a 120° entre los extremos positivos. Estos 3 ejes, denominados a_1 , a_2 , y a_3 , son la misma longitud. El cuarto eje, llamado c , puede ser más largo o más corto que los demás ejes. El eje c también pasa a través de la intersección de los ejes en ángulo recto en el plano formado.
- **Monoclínico**: Los tres ejes, todos desiguales en la longitud, dos de los cuales (a y c) se cortan en ángulo oblicuo (no de 90°), el tercer eje (b) es perpendicular a los otros dos ejes.
- **Triclínico**: Los tres ejes son todos desiguales en la longitud y se cortan a tres ángulos diferentes (cualquier ángulo pero diferentes de 90°)

1.2. MINERALES DE COBRE

Los principales yacimientos de cobre en Chile son del tipo Pórfido Cuprífero por origen hidrotermal. En estas estructuras la mineralización se encuentra

distribuida en toda la roca, en forma diseminada y en estructuras como vetas, fracturas y fallas. Son de gran tonelaje (106-109 t) y de baja ley (0,2 a 2,0 % Cu).

En la Figura 1-3 se puede observar el estado inicial que contiene mineralización primaria de calcopirita y de pirita. Por millones de años, estos yacimientos primarios, pasan por una intensa transformación producida por fenómenos de óxido-reducción. De esta forma, las especies inicialmente primarias, se van convirtiendo en secundarias, del tipo calcosina y covelina, generando una zona de Enriquecimiento Secundario. Una posterior oxidación de esta zona, puede conducir a la formación de los llamados Minerales Oxidados, tales como atacamita, crisocola, cuprita, entre otras; de acuerdo a las condiciones en que esto ocurre, se tienen dos tipos de material mineralizado: los sulfuros y los óxidos.



Fuente: Universidad de Chile, 2011

Figura 1-3. Distribución de minerales de Cobre en yacimiento pórfido cuprífero

Los sulfuros y óxidos de cobre, en la naturaleza, se pueden encontrar asociado a diferentes elementos, conformando compuestos químicos. Si la fuente de cobre se encuentra cerca de la superficie y en contacto con la atmósfera, se oxida por el oxígeno del aire formando CuO y se denomina óxido de cobre. Por otro lado si la fuente de cobre se encuentra bajo tierra, se encontrará generalmente asociado al azufre, formando los denominados sulfatos de cobre.

La presencia de éstos define las características de un yacimiento, las que a su vez determinan la manera de explotar el mineral: la vía hidrometalurgia para los óxidos y la vía piro-metalurgia para los sulfuros.

1.2.1. Minerales sulfurados de Cobre

Los minerales sulfurados de cobre están constituidos por azufre y otros elementos metálicos, tales como el cobre, hierro, plomo, zinc, entre otros. Se

caracterizan por su ser insolubles en agua y estar exentos de oxígeno. De acuerdo a su formación se clasifican en sulfuros primarios y secundarios.

Los principales minerales sulfurados de cobre son calcopirita, calcosina, covelina, bornita, y en menores cantidades, tenantita y enargita

1.2.1.1. Calcosina

Mineral compuesto de sulfuro de cobre, de fórmula Cu_2S . Cristaliza en el sistema ortorrómbico. Es una mena importante de cobre, se encuentra con frecuencia en masas granulares o compactas. Su brillo es metálico y su color es un gris plomo como se muestra en la figura 1-4, pierde su brillo y se oscurece cuando se expone al aire. De dureza $2\frac{1}{2}$ - 3. Contiene un 79,8% de Cobre (Cu) y 20,2% Azufre (S)

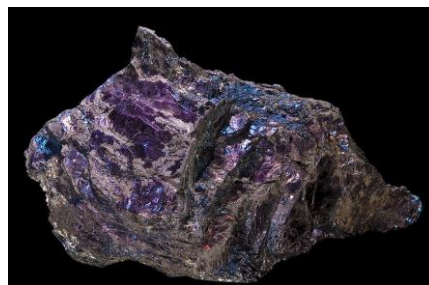


Fuente: Universidad de Chile, 2011

Figura 1-4. Calcosina

1.2.1.2. Covelina

Es un mineral de cobre sulfurado de fórmula química CuS . Presenta un 66% de cobre aproximadamente. Cristaliza en sistema hexagonal. Es un mineral blando de dureza $1\frac{1}{2}$ - 2, presenta en brillo metálico color azul oscuro, apreciable en la figura 1-5 y huella gris a negra.



Fuente: Sernageomin

Figura 1-5. Covelina

1.2.1.3. Bornita:

Es un mineral de origen Hidrotermal. Mostrada en la figura 1-6. De Cristalización tetragonal. Su Brillo es metálico color bronce pardo, de Huella negra y exfoliación imperfecta. Su dureza es 3. Aporta 63,4% cobre (Cu), 11,2% de fierro (Fe) y 25,5% S.



Fuente: Sernageomin

Figura 1-6. Bornita

1.2.1.4. Calcopirita

La calcopirita es un mineral que se presenta en la naturaleza como un disulfuro de hierro y de cobre. Es decir, una combinación de hierro (Fe), cobre (Cu) y azufre (S).

La fórmula química de este mineral es: CuFeS_2 , al descomponer esto, se encuentra que los distintos elementos se presentan con las siguientes proporciones: 34,5% de cobre, 30,5% de hierro y 35% de azufre. Se considera dentro del grupo de los sulfuros por su importante presencia de azufre.

Se presenta en forma de cristales pseudotetraedros. Presenta un color amarillo latón (figura 1-7) y su raya es negra verdosa. La dureza de la calcopirita es de 3 a 3,5 en la escala de Mohs, siendo la densidad de 4,3 gramos por centímetro cuadrado.



Fuente: <https://www.codelcoeduca.cl/>

Figura 1-7. Calcopirita

1.2.1.5. Enargita

La enargita es un sulfuro de cobre y de arsénico, es un mineral de origen hidrotermal de temperatura media. En depósitos se encuentra asociado a minerales como cuarzo y algunos sulfuros de cobre como la calcopirita y bornita

De fórmula química Cu_3AsS_4 , contiene 48.3% de cobre, 19.1% de arsénico y el 32.6% de azufre. Existe sustitución de arsénico por antimonio (hasta un 6%) y en menor medida de hierro y zinc. Como se observa en la figura 1-8, el mineral presenta un color negro grisáceo, al igual que la raya y brillo metálico.



Fuente: <https://www.codelcoeduca.cl/>

Figura 1-8. Enargita

1.2.1.6. Tetraedrita

Debe su nombre a la forma de sus cristales, de fórmula química $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ es un sulfuro doble de cobre y antimonio con una composición de: 45,77% de Cobre; 29,22% de antimonio y 25,01% azufre.

La tetraedrita aparece en vetas hidrotermales, a temperaturas bajas a moderadas. También se puede encontrar en algunos depósitos de metamórfico normalmente asociado a minerales de cobre, plata, plomo y cinc

Como se puede observar en la figura 1-9 el mineral tiene color gris acero y brillo metálico.



Fuente: <https://www.codelcoeduca.cl/>

Figura 1-9. Tetraedrita

1.2.2. Caracterización mineral de Cu procesado

Las especies sulfuradas de cobre presentes en el mineral procesado en planta son: calcosina, bornita y calcopirita con trazas de covelina; presentando una ley promedio de 1,55% de Cu. La tabla siguiente muestra las principales características de ellos:

Tabla 1-2. Resumen características mineralógicas del mineral

	Calcosina Cu₂S	Bornita Cu₅FeS₄	Calcopirita CuFeS₂	Covelina CuS
Fractura	Concoidea	-	-	Exfoliación basal
Dureza de Mohs	2,5 – 3	3	3,5 – 4	1,5 – 2
G.E.	5,5 – 5,8	5,0 – 5,1	4,1 – 4,3	4,6 – 4,76
Brillo	Metálico	Metálico	Metálico	Metálico-resinoso
Tenacidad	Séctil	-	Frágil	-
Cristal	Monoclínico	Tetragonal	Tetragonal	Hexagonal
Color	Gris plomo brillante, se torna negro al aire	Bronce pardo, al aire se cubre con pátina jaspeada púrpura y azul	Amarillo de latón, con pátina bronceada o iridiscente	Azul añil u oscuro. Frecuentemente iridiscente. Opaco.
Raya	Negra grisácea	Negra grisácea	Negra verdosa	Gris plomo a negra
Composición	79,8% Cu 20,2% S	63,3% Cu 11,2% Fe 25,5% S	34,5% Cu 30,5% Fe 35,0% S	66,4% Cu 33,6% S

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

Para conocer la ley de cobre es necesario realizar análisis químicos cuantitativos a los minerales extraídos, así también a muestras provenientes de procesos de concentración, lo que permitirá evaluar la eficiencia de los procesos metalúrgicos llevados a cabo en la empresa.

**CAPÍTULO 2: PROCESAMIENTO DE MUESTRAS MINERALES PARA
DETERMINACIÓN DE COBRE TOTAL EN LABORATORIO**

2. PROCESAMIENTO DE MUESTRA MINERALES PARA DETERMINACIÓN DE COBRE TOTAL EN LABORATORIO

Como se describe en el capítulo anterior el cobre está acompañado de otros elementos en el mineral. Para poder obtener la concentración de este metal de interés en estado puro, es necesario eliminar las interferencias de materia orgánica y otros elementos que puedan afectar al resultado del análisis. En este capítulo se abordará la obtención de la solución a analizar y la lectura de determinación del analito en la muestra mediante técnicas analíticas.

El método utilizado en la preparación de muestras para análisis químicos, se llevan a cabo en solución, por lo que las sustancias sólidas deben ser disgregadas de forma conveniente para poner en solución acuosa los elementos de interés.

Este método es conocido como digestión ácida y es utilizado en la preparación de varios tipos de muestras a fin de transferir por completo las muestras a solución para que el analito pueda ser analizado en forma líquida mediante técnicas analíticas como la espectrometría de absorción atómica y el análisis volumétrico. Por lo tanto, el objetivo de todo proceso de digestión ácida es la solución completa de las muestras y su descomposición total evitando la pérdida o contaminación de la sustancia de interés.

En la mayoría de los casos la digestión es llevada a cabo con ácido nítrico, ya que es adecuado para la extracción de diversos metales, sin embargo algunas muestras necesitan de la adición de diferentes ácidos fuertes tales como el ácido perclórico, ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, entre otros, para producir una digestión ácida lo suficientemente agresiva y así lograr una digestión completa.

La adición de reactivos en la digestión ácida y el tipo de técnica analítica a utilizar para la determinación de cobre total, está determinada por la concentración del mineral en análisis. Para leyes menores a 4,5% de Cu Total la cuantificación será realizada por técnica instrumental (E.A.A.), mientras que las muestras con un alto contenido de cobre (>4,5%) serán analizadas por técnica volumétrica.

2.1. ANÁLISIS DE COBRE TOTAL EN MINERALES MENORES A 4,5%

La cuantificación de cobre en minerales con leyes inferiores a 4,5% es realizada al mineral resultante de la etapa de chancado, que corresponde a la alimentación fresca del circuito de molienda, también son analizadas por este método muestras provenientes del proceso de flotación como la pulpa de alimentación a celdas Rougher y el relave final.

Para obtener el metal de interés, la muestra es tratada por digestión ácida con ácido nítrico y ácido clorhídrico. Posterior al proceso mencionado, es trasvasijada y aforada para ser analizada por espectrometría de absorción atómica.

Esta técnica permite determinar la concentración de un elemento metálico de interés en una muestra y se basa en la propiedad de los elementos para absorber longitudes de onda únicas.

2.1.1. Digestión ácida con HNO₃ y HCl

La muestra mineral previamente pesada y depositada en vasos precipitados es atacada con ácido nítrico (HNO₃), agente oxidante fuerte, corrosivo, con alto poder disgregante de metales. Este proceso es complementado con la adición de ácido clorhídrico, con el fin de eliminar algunos elementos que no fueron disueltos por el efecto del ácido nítrico y contribuir en la solubilización del analito. La dosificación necesaria para llevar a cabo la digestión del elemento de interés aplicable a minerales de cobre de baja ley está expuesta en la tabla 2-1.

Para acelerar la acción oxidante de los ácidos, las muestras son expuestas a temperaturas entre los 400 y 200 °C, hasta la eliminación de vapores y sequedad total.

Tabla 2-1. Dosificación de reactivos, digestión ácida menor a 4,5%Cu

	Reactivo	Cantidad
Digestión	HNO ₃	10 [ml]
	HCl	10 [ml]
Solubilización	HCl	15 [ml]

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

A continuación se muestra en la tabla 2-2 algunas propiedades físicas y químicas características de los ácidos utilizados en la digestión ácida de los minerales sulfurados de cobre.

Tabla 2-2. Propiedades físicas y químicas de HCl y HNO₃

	Ácido clorhídrico	Ácido nítrico
Estado físico	Líquido	Líquido
Color	Incoloro	Incoloro
Olor	Picante	Picante
Punto de ebullición	-	121 °C
Densidad	1,19 g/cm ³ (20°C)	1,39 g/cm ³ (20°C)
Punto de fusión	-	-32 °C
pH	<1 fuertemente ácido	<1 fuertemente ácido

Fuente: www.merckmillipore.com

2.1.2. Lectura por espectrometría de absorción atómica

El equipo utilizado para realizar la cuantificación de cobre en muestras minerales de baja ley es el espectrómetro de absorción atómica que puede ser observado en la parte derecha de la figura 2-1. Acompañado de las muestras preparadas para el análisis.



Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

Figura 2-1. Muestras para análisis y espectrómetro de absorción atómica

La muestra líquida debe ser atomizada. Para ello es aspirada a través de un tubo capilar y conducida a un nebulizador con el objetivo de desintegrar y forma un rocío o pequeñas gotas de líquido. Las gotas formadas son conducidas a una llama, que entrega la energía suficiente para evaporar el solvente y descomponer los compuestos químicos resultantes en átomos libres en su estado fundamental.

El equipo de absorción cuenta con una lámpara de cátodo hueco, construida del metal a analizar. Esta fuente de energía emite el espectro atómico del metal del cual está construido. Estos átomos libres al ser excitados absorben la radiación emitida por la lámpara de cátodo hueco a una longitud de onda específica en función de su concentración.

La señal de la lámpara una vez que pasa por la llama llega a un monocromador, que tiene como finalidad el discriminar todas las señales que acompañan la línea de interés. Esta señal de radiación electromagnética llega a un detector, que es capaz de transformar, en relación proporcional, las señales de intensidad de radiación electromagnética, en señales eléctricas o de intensidad de corriente. Posteriormente pasa a un amplificador, que como su nombre lo indica amplifica la señal eléctrica producida, para que en el siguiente paso pueda ser procesada en un sistema de lectura.

2.2. DETERMINACIÓN DE COBRE TOTAL MAYOR A 4,5%

La determinación de leyes de cobre con alto porcentaje se realiza a muestras provenientes del proceso de flotación de las plantas concentradoras de esta empresa minera. Entre estas muestras se encuentra el concentrado de cobre de la columna de flotación y concentrado de cobre final, originado tras el espesamiento y filtrado del rebalse de la columna (concentrado); además de algunas muestras analizadas por el método instrumental (E.A.A) que están sobre el rango de lectura del equipo.

Posterior a la homogenización y pesaje, la muestra mineral es tratada por digestión ácida a temperaturas elevadas. Luego de solubilizar y eliminar los interferentes con reactivos específicos, el cobre presente es cuantificado mediante técnica volumétrica con la adición de Tiosulfato de sodio pentahidratado.

2.2.1. Digestión ácida

Al igual que en el proceso de digestión realizada a minerales de cobre con leyes menores a 4,5%, en primera instancia se requiere la aplicación de ácido nítrico y ácido clorhídrico. Y luego para producir una digestión ácida lo suficientemente agresiva y así lograr una digestión completa se agrega ácido fluorhídrico, ácido sulfúrico y ácido perclórico.

A continuación se muestra en la tabla 2-3 algunas propiedades físicas y químicas características de los ácidos utilizados en la digestión ácida de los minerales sulfurados de cobre.

Tabla 2-3. Propiedades físicas y químicas de HF, H₂SO₄ Y HClO₄

	HF	H ₂ SO ₄	HClO ₄
Estado físico	Líquido	Líquido	Líquido
Color	Incoloro	Incoloro	Incoloro
Olor	Picante	Picante	Picante
Punto de ebullición	112 °C	-	198,7 °C
Densidad	1,16 g/cm ³ (20°C)	1,84 g/cm ³ (20°C)	1,68 g/cm ³ (20°C)
Punto de fusión	-35 °C	-20 °C	-18 °C
pH	2	0,3 (49 g/l 25°C)	2,5 (50 g/l 20°C)

Fuente: www.merckmillipore.com

La dosificación necesaria para llevar a cabo la digestión del elemento de interés aplicable a minerales de cobre de alta ley está expuesta en la tabla 2-4 en la siguiente página.

Tabla 2-4 Dosificación de reactivos, digestión ácida mayor a 4,5% de Cu

Reactivo	Cantidad
HNO ₃	10 [ml]
HCl	10 [ml]
HF	1 [ml]
H ₂ SO ₄	1 [ml]
HClO ₄	3 [ml]

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

2.2.2. Análisis volumétrico

Un análisis volumétrico es todo procedimiento basado en la medida de volumen de reactivo (consumo o gasto) necesario para reaccionar con el analito en una solución. De este modo, al medir de forma exacta el volumen de reactivo, de concentración conocida, necesario para reaccionar completamente con el analito, se puede calcular su concentración en la muestra.

La técnica volumétrica utilizada en este procedimiento de trabajo es conocida como Yodometría. Consiste en la adición de un exceso de yoduro, liberándose una cantidad de yodo equivalente al analito presente.

Las titulaciones yodométricas consisten en una titulación indirecta que se emplea el yoduro de potasio (KI) como agente reductor. En ésta técnica la concentración de agente oxidante (analito) se determina de manera indirecta por la titulación del ion triyoduro (I₃⁻) que se forma durante la reacción del KI con el analito.

El Yodo que es liberado por la oxidación del yoduro, es titulado con una solución estándar de tiosulfato de sodio, en presencia de almidón como indicador.

Como se muestra en las figuras de este capítulo, el análisis volumétrico se lleva a cabo en un vaso precipitado que contiene la disolución de analito y una bureta digital con la disolución del reactivo valorante o titulante. El medio de valoración debe ser agitado de forma continua para favorecer el contacto entre las especies reaccionantes.

2.2.2.1. Permanganato de potasio y sulfato ferroso heptahidratado

Estos reactivos son utilizados para acondicionar la muestra, para su posterior titulación. Son encargados de eliminar interferentes presentes que puedan alterar el resultado. Primero se añaden gotas de permanganato de potasio, las cuales otorgan un color rosado a la solución. Posterior a esto es añadido el sulfato ferroso hasta la eliminación del color rosado.

A continuación la tabla 2-5 presenta propiedades físico químicas de los reactivos mencionados.

Tabla 2-5. Propiedades físicas y químicas de KMnO_4 y $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$

	Permanganato de potasio	Sulfato ferroso
Estado físico	Sólido	Sólido
Color	Blanco	Blanco
Olor	-	-
Densidad	2,70 g/cm ³ (20°C)	1,89 g/cm ³ (20°C)
Punto de fusión	>240 °C	>60 °C
pH	7 - 9 (20 g/l 20°C)	3 - 4 (50 g/l 20°C)

Fuente: www.merckmillipore.com

2.2.2.2. Acetato de sodio (CH_3COONa)

Es añadido para lograr la precipitación de hierro, situación que produce un cambio de color en la solución. Esto es observable en la figura 2-2, posterior a la adición de acetato de sodio la muestra toma un tono marrón.



Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

Figura 2-2. Adición de acetato de sodio

A continuación se muestra en la tabla 2-6 algunas propiedades físicas y químicas características del acetato de sodio.

Tabla 2-6. Propiedades físicas y químicas de acetato de sodio

Estado físico	Sólido
Color	Blanco
Olor	-
Punto de ebullición	>400 °C (descomposición)
Densidad	1,52 g/cm ³ (20°C)
Punto de fusión	324 °C (descomposición)
pH	7,5-9,2 (30 g/l 20 °C)

Fuente: www.merckmillipore.com

2.2.2.3. Ácido acético glacial (CH₃COOH)

Es utilizado para ajustar el pH de la solución entre 3,5-5, condición en la cual el cobre se mantiene en solución. En la tabla 2-7 se muestran algunas propiedades físicas y químicas características de ácido acético glacial

Tabla 2-7. Propiedades físicas y químicas de CH₃COOH

Estado físico	Líquido
Color	Incoloro
Olor	Picante
Punto de ebullición	116 – 118 °C
Densidad	1,05 g/cm ³ (20°C)
Punto de fusión	17 °C
pH	2,5 (50 g/l 20 °C)

Fuente: www.merckmillipore.com

2.2.2.4. Fluoruro de sodio (NaF)

Este reactivo se adiciona en solución hasta decolorar el precipitado de hierro formado en la etapa anterior, situación observable en la figura 2-3. En la tabla 2-8 se mencionan algunas propiedades físico-químicas de este reactivo.



Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

Figura 2-3. Adición de Fluoruro de sodio

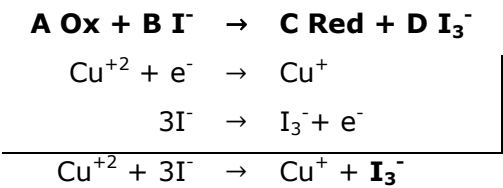
Tabla 2-8. Propiedades físicas y químicas de Fluoruro de sodio

Estado físico	Sólido
Color	Blanco
Densidad	2,8 g/cm ³ (20°C)
Punto de fusión	996 °C
pH	10,2 (40 g/l 20 °C)

Fuente: www.merckmillipore.com

2.2.2.5. Yoduro de potasio

Durante esta etapa se hace reaccionar el oxidante cuya concentración se desea conocer (analito), con un exceso de yoduro (I^-), formando triyoduro (I_3^-) según la siguiente reacción:



En la figura 2-4 se puede apreciar el cambio de color producto de la reducción de cobre y formación de triyoduro resultante de la adición de yoduro de potasio.



Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

Figura 2-4. Adición de Yoduro de sodio

En tabla 2-9 se presentan algunas propiedades físicas químicas del yoduro de potasio en estado sólido.

Tabla 2-9. Propiedades físicas y químicas de Yoduro de potasio

Estado físico	Sólido
Color	Blanco
Olor	-
Punto de ebullición	1325 °C
Densidad	3,23 g/cm ³ (25 °C)
Punto de fusión	685 °C
pH	6,9 (50 g/l 20 °C)

Fuente: www.merckmillipore.com

2.2.2.6. Almidón soluble (C₆H₁₀O₅)_n

La forma más común de detectar el punto final de una volumetría es agregando un indicador químico (almidón soluble) a la disolución de analito para producir un cambio físico perceptible, como se observa en la figura 2-5. Entre los cambios típicos de los indicadores se incluyen la aparición o desaparición de color, cambio de color, o aparición o desaparición de turbidez.



Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

Figura 2-5. Adición de solución indicadora de almidón

La solución indicadora de almidón responde a la presencia de yodo, con la aparición de color purpura intenso. Este color se supone de la absorción del yodo en la cadena helicoidal de β -amilosa, componente del almidón.

Las propiedades físico-químicas del almidón se mencionan en la tabla 2-11.

Tabla 2-10. Propiedades físicas y químicas de Almidón

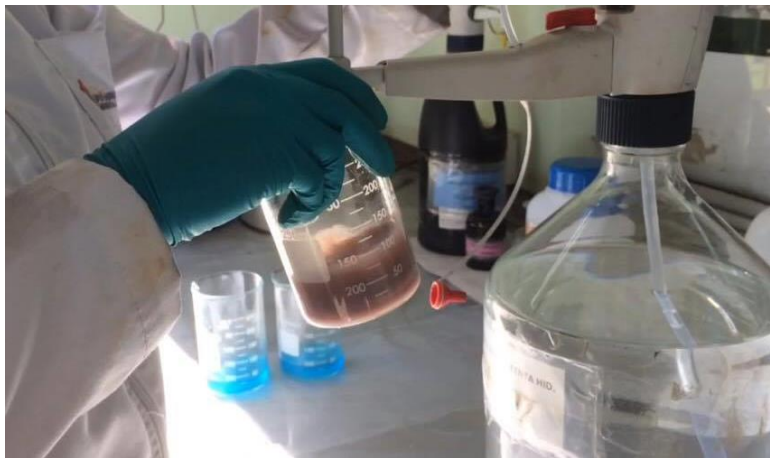
Estado físico	Sólido
Color	Blanco
Olor	Inodoro
Punto de ebullición	-
Densidad	-
Punto de fusión	-
pH	6,0–7,5 (20g/l 25 °C)

Fuente: www.merckmillipore.com

2.2.2.7. Tiosulfato de sodio pentahidratado

La titulación consiste en ir agregando lentamente, a la disolución de analito (contenida en el vaso precipitado), la disolución estándar de reactivo (Tiosulfato de

sodio pentahidratado) desde la bureta u otro material de precisión dispensador de líquidos, hasta que la reacción entre las dos especies químicas se haya completado. Teóricamente el resultado ideal se alcanza cuando la cantidad de valorante añadido es químicamente equivalente a la cantidad de analito en la muestra.



Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

Figura 2-6. Titulación de cobre con $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 5\text{H}_2\text{O}$

En la práctica, se puede apreciar el punto final de la reacción cuando ocurre algún cambio físico, en este caso cuando desaparece el color amarillo de la solución. Esto se aprecia mejor al agregar una solución indicadora de almidón a la muestra.

Como lo expresa la tabla 2-12, la dosificación de la solución titulante se realiza hasta la desaparición del color violeta producido por el almidón soluble, situación observable en la figura 2-6

En la tabla 2-11 se exponen propiedades físico-químico del reactivo en estado sólido.

Tabla 2-11. Propiedades físicas y químicas Tiosulfato de sodio

Estado físico	Sólido
Color	Blanco
Olor	-
Punto de ebullición	-
Densidad	1,74 g/cm ³ (20°C)
Punto de fusión	48 °C
pH	6,0–7,5 (100g/l 20 °C)

Fuente: www.merckmillipore.com

Para hacer posible la determinación del porcentaje de cobre presente en muestras provenientes en su mayoría de concentrados de flotación, se requiere de dosificaciones estandarizadas en la siguiente tabla.

Tabla 2-12. Dosificación de reactivos para el acondicionamiento y titulación de la muestra

Reactivo	Cantidad
Sol. Permanganato de Potasio	2 a 3 [gotas]
Sol. Sulfato ferroso	2 a 3 [gotas]
Acetato de sodio	1 a 2 [g]
Ácido acético glacial	1 [ml]
Sol. Saturada de Fluoruro de sodio	Hasta decolorar precipitado (color café)
Yoduro de Potasio	2,5 [g]
Sol. Almidón	2 [ml] Aproximado
Tiosulfato de sodio pentahidratado	Hasta la desaparición del color violeta producido por la solución de almidón

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

**CAPÍTULO 3: DETERMINACIÓN DE COSTOS SEGÚN REQUERIMIENTOS
DE CLIENTES**

3. DETERMINACIÓN DE COSTOS SEGÚN REQUERIMIENTOS DE CLIENTES

Como se observó en el capítulo anterior el procesamiento de muestras minerales en el laboratorio requiere de la utilización de reactivos con dosificaciones específicas; Esto en conjunto a materiales, equipos especializados, elementos de protección personal y recurso humanos están asociados a un costo económico que será analizado en este capítulo para conocer el costo mensual y anual según requerimientos de cada cliente.

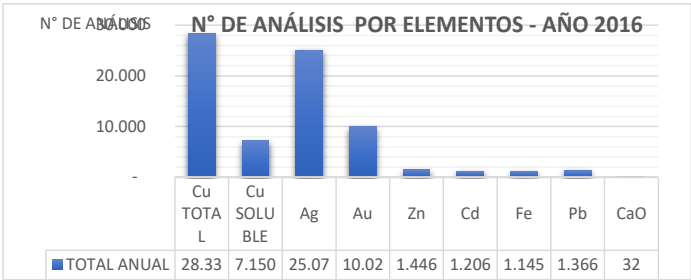
Entre los meses de Enero a Diciembre correspondientes al año 2016, se desarrollaron 75.774 análisis en el laboratorio químico, esta cifra comprende los procedimientos de Cu Total, Cu Soluble, Plata, Oro, Zinc, Cadmio, Hierro, Plomo y Óxido de Calcio, con el objetivo de conocer las leyes previas y posteriores al procesamiento de los minerales en las plantas concentradoras.

Tabla 3-1. Procedimientos realizados año 2016

ANÁLISIS MES	Cu TOTAL	Cu SOLUBLE	Ag	Au	Zn	Cd	Fe	Pb	CaO	TOTAL MENSUAL
ENERO	2826	590	2366	803	56	50	102	66	3	6862
FEBRERO	2001	544	1849	540	123	99	20	137	1	5314
MARZO	2590	530	2342	896	202	182	138	209	3	7092
ABRIL	2534	478	2305	888	78	81	42	78	3	6487
MAYO	2538	656	2286	947	103	87	67	99	2	6785
JUNIO	2861	755	2568	1089	149	108	44	137	0	7711
JULIO	2622	569	2201	754	125	115	160	113	0	6659
AGOSTO	2472	647	2206	998	188	135	109	144	5	6904
SEPTIEMBRE	1941	588	1748	858	117	96	42	90	3	5483
OCTUBRE	2108	646	1892	874	122	116	132	115	2	6007
NOVIEMBRE	2441	625	2160	644	57	74	184	69	0	6254
DICIEMBRE	1397	522	1153	731	126	63	105	109	10	4 216
TOTAL ANUAL	28331	7150	25076	10022	1446	1206	1145	1366	32	75774

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

La tabla 3-1 detalla la cantidad de análisis realizados para cada elemento en forma mensual, culminando en sus dos ejes con la sumatoria de Análisis Anual por procedimiento versus la Totalidad de procedimientos realizados en cada mes. De esta se puede observar que el mayor número de análisis químicos realizados durante el año pertenecen a la determinación de Cobre Total con 28.331 seguido por la Plata, lo cual está expresado en forma evidente en el gráfico 3-1.



Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

Gráfico 3-1. Análisis realizados por elementos año 2016

Conociendo el total de procedimientos realizados durante el año para cada elemento, se puede establecer un valor promedio mensual, definido por la relación entre el total de análisis anual y los meses correspondientes. Los valores promedio obtenidos para cada procedimiento son los registrados en la tabla 3-2, dando como resultado un total de 6.314,5 análisis mensuales.

Tabla 3-2. Promedio de análisis mensuales

	Cu Total	Cu Soluble	Ag	Au	Zn	Cd	Fe	Pb	CaO	TOTAL
TOTAL ANUAL	28.331	7.150	25.076	10.022	1.446	1.206	1.145	1.366	32	75.774
X ANÁLISIS MENSUAL	2.360,9	595,8	2.089,7	835,2	120,5	100,5	95,4	113,8	2,7	6.314,5

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

3.1. COSTOS POR PROCEDIMIENTOS

Cada uno de los procedimientos realizados en el laboratorio químico tiene un costo asociado a los recursos utilizados para este fin. Estos recursos están divididos en cinco categorías y fueron calculados de acuerdo al valor de compra y los siguientes criterios:

- Reactivos, estos insumos están calculados en base a la dosificación requerida para cada procedimiento.
- Materiales, así como, vasos precipitados, embudos, matraces, entre otros fueron establecidos tomando en cuenta la vida útil de cada implemento, cantidad promedio existente en el laboratorio y la cantidad de análisis que requieren de su utilización durante un mes.
- Equipos, estos permiten el procesamiento y cuantificación de las muestras minerales como balanzas, hornos, planchas calefactoras, bureta y equipo de

absorción atómica. Para esto es necesario conocer la vida útil de cada equipo, cantidad de usos y además del precio de compra, es importante incorporar los costos asociados a mantenciones realizadas durante el año por empresas externas.

- Elementos de protección personal, los cuales otorgan protección frente a posibles accidentes o enfermedades. Para determinar el costo promedio por análisis es tomada en cuenta la vida útil y su utilización durante un mes.
- Humano, el laboratorio durante el año 2016 contó con cuatro profesionales, dos fundidores encargados exclusivamente de la obtención de muestras de oro en el área de vía seca y 2 analistas, encargadas de procesar todas las muestras minerales (excepto las muestras de oro) y cuantificar mediante equipos los elementos de interés en su totalidad.

Todos los procedimientos realizados en el área de vía húmeda constan con una modalidad de trabajo similar en cuanto a tiempo y etapas: 1ª pesaje, 2ª digestión/preparación, 3ª trasvasijar/filtrar y 4ª lectura de la muestra. Por lo que el costo humano fue calculado fraccionando el sueldo total de las analistas de la siguiente forma: $\frac{3}{4}$ destinados al procesamiento de 5.480 muestras (vía húmeda) y $\frac{1}{4}$ para la lectura de 6315 muestras, ya que las analistas son las encargadas de realizar el total de las lecturas (incluidas las muestras de oro).

Para el caso de las muestras de oro realizadas en la vía seca el costo humano se obtiene de la siguiente manera: la suma de los sueldos de los fundidores es dividida en el total de muestras promedio realizadas en el mes, más la fracción monetaria correspondiente a la lectura realizada por las analistas.

A continuación se detallan los costos atribuidos para cada procedimiento de trabajo según los valores investigados.

3.1.1. Análisis de Cobre Soluble

Tiene como objetivo cuantificar la cantidad de cobre soluble presente en una muestra de mineral refinada, la cual se lixivia gracias a la adición de H_2SO_4 diluido. Posterior al filtrado, el cobre soluble presente en la solución es determinado mediante EAA. Los costos generados en este procedimiento están especificados en la siguiente tabla:

Tabla 3-3. Costos por análisis de Cu soluble

Recursos	Costos [\$]
Reactivo	14,79
Material	136,58
Equipo	75,10
EPP	11,53
Humano	262,83

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

De acuerdo a los valores registrados en la tabla 3-3, analizar Cobre soluble tiene un costo de \$ 500,83 por muestra.

3.1.2 Análisis de Cobre Total en minerales

De acuerdo al origen de la muestra (relacionado directamente con su concentración), los procedimientos para la determinación de Cu total varían sus tanto en reactivos, materiales y equipos de medición.

Tabla 3-4. Costos por análisis de Cu menor y mayor a 4,5%

Recursos	Costos [\$]	Costos [\$]
	Leyes < a 4,5% de Cu	Leyes > a 4,5% de Cu
Reactivo	100,55	448,71
Material	62,96	15,96
Equipo	139,21	221,67
EPP	11,53	11,53
Humano	262,83	262,83

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

De acuerdo a la tabla 3-4, analizar Cu Total < al 4,5% tiene un costo de \$577,08 versus \$960.7 para análisis de Cu Total > al 4,5%.

3.1.3. Análisis de Plata

Para determinar la cantidad de Plata presente en un mineral, se realiza el mismo procedimiento establecido para el Análisis de Cobre Total en minerales > al 4.5% de Cu. Los costos generados en este procedimiento están especificados en la siguiente tabla:

Tabla 3-5. Costos por análisis de plata

Recursos	Costo [\$]
Reactivo	94,50
Material	62,96
Equipo	139,21
EPP	11,53
Humano	262,83

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

De acuerdo a la tabla 3-5 analizar Plata en muestras minerales tiene un costo de \$571,03

3.1.4. Análisis de Oro en minerales y concentrados

El procedimiento aplicado para cuantificar el elemento Oro en muestras minerales, es realizado en el área de vía seca perteneciente al laboratorio, y consiste en cinco etapas de trabajo.

La labor comienza con la preparación de muestras para la fundición, en esta fase se realiza el pesaje de la muestra, adición de reactivos fundentes según el tipo de mineral y encrisolamiento de las muestras, para dar lugar al siguiente paso. Con las muestras ya preparadas, se procede a la fusión y cubicación del regulo de plomo, con la finalidad de eliminar la mayor cantidad de impurezas presentes en el mineral.

El regulo obtenido en la fusión del mineral es llevado al horno mufla, dando inicio a la etapa de copelación. El botón de Ag-Au resultante de este proceso, es laminado para su posterior solubilización.

Luego de la eliminación del contenido de Plata y solubilización del botón de oro con agua regia, la muestra es aforada, terminando ahí el trabajo del fundidor.

Finalmente se cuantifica el elemento utilizando el método de Espectrometría de absorción atómica, lectura realizada por el Analista Químico.

Como se mencionó anteriormente la adición de reactivos está condicionada por el tipo de mineral a analizar, lo que puede generar una variación en la dosificación y costo del reactivo usado.

A continuación, se dan a conocer en la tabla 3-6 los distintos valores de recursos reactivos, calculados acorde la tipología de la muestra que será analizada.

Tabla 3-6. Costos de reactivos según tipo de mineral

Tipos de minerales para análisis	Costo Reactivos [€]
Concentrados de Cu (lotes de despacho, paquetes 2°, Minex, concentrados de oro)	\$643,61
Minerales de Oro-Plata (cabezas, ENAMI, planta, minas propias y particulares), escorias de bajo contenido en Cu.	\$644,43
Relaves, minas propias y minerales de alto contenido en Oro	\$645,30
Escorias (alto contenido Cobre)	\$643,88

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

Como se observa en la tabla 3-6 la variación en los costos de reactivos utilizados es mínima, por lo cual se utilizará un valor promedio de \$644,3.

Los costos de los recursos restantes (materiales, equipos, EPP y humano) utilizados para este procedimiento no sufren variaciones, ya que son sometidas al mismo tratamiento y están especificados en la siguiente tabla:

Tabla 3-7. Costos análisis de oro

Recursos	Costo [\$]
Reactivo	\$ 644,30
Material	\$ 1.285,20
Equipo	\$ 179,14
EPP	\$ 115,59
Humano	\$ 2.652,94

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

De acuerdo a la tabla 3-7 analizar Oro tiene un costo total de \$4.877

3.1.5. Análisis de Cadmio, Plomo y Zinc en minerales y concentrados

Para establecer la cantidad de Cadmio, Plomo y Zinc presentes, la muestra es sometida al mismo procedimiento. Esta es digerida y solubilizada mediante la adición de ácidos y altas temperaturas. La única diferencia radica en la lectura; el elemento Cd es leído directamente la muestra, mientras que los elementos Pb y Zn son diluidos en un matraz de menor volumen. Estos tres elementos químicos son cuantificados por Espectrometría de Absorción Atómica, usando una lámpara de cátodo hueco específica para cada uno. Los costos generados por estos procedimientos están especificados en las siguientes tablas:

Tabla 3-8. Costos por análisis de Cd, Pb y Zn

Recursos	Costos Cd [\$]	Costos Pb [\$]	Costos Zn [\$]
Reactivo	\$ 101,98	\$ 101,00	\$ 100,59
Material	\$ 62,96	\$ 115,84	\$ 115,84
Equipo	\$ 139,21	\$ 139,21	\$ 136,21
EPP	\$ 11,53	\$ 11,53	\$ 11,53
Humano	\$ 262,83	\$ 262,83	\$ 262,83

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

De acuerdo a la tabla 3-8, analizar Cd, Pb y Zn tiene un costo total de \$578,5; \$ 630,41; \$ 627 respectivamente

3.1.6. Análisis de Hierro Total en muestras de minerales y concentrados

Al igual que algunos procedimientos anteriores para cuantificar la cantidad de Hierro, la muestra es digerida y solubilizada mediante la adición de ácidos concentrados y altas temperaturas. Luego de ser trasvasijada, la muestra es

cuantificada por Espectrometría de Absorción Atómica. Los costos generados en este procedimiento están especificados en la siguiente tabla:

Tabla 3-9. Costos análisis de hierro

Recursos	Costo [\$]
Reactivo	\$ 99,16
Material	\$ 94,05
Equipo	\$ 139,21
EPP	\$ 11,53
Humano	\$ 262,83

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

De acuerdo a la tabla 3-9, analizar Fe en muestras minerales y concentrados tiene un costo total de \$ 606,78

3.1.7. Análisis de Óxido de Calcio

Tabla 3-10. Costos análisis de óxido de calcio

Recursos	Costo [\$]
Reactivo	\$ 139,05
Material	\$ 19,00
Equipo	\$ 55,47
EPP	\$ 11,53
Humano	\$ 262,83

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

De acuerdo a la tabla 3-10 analizar CaO tiene un costo total de \$ 487,88

Al analizar en conjunto cada uno de los procesos descritos anteriormente y sus costos, se comprende que el análisis que posee un mayor costo es el Oro, teniendo como principal consumo el recurso humano.

3.2. **COSTOS POR CLIENTE**

Los 75.774 análisis realizados en el laboratorio durante Enero a Diciembre del año 2016 fueron solicitados por diversos clientes que son nombrados de acuerdo al origen de las muestras. De acuerdo a sus requerimientos, se produce una variación en cantidades y tipos de procedimientos para cada uno.

Como fue descrito anteriormente, cada análisis tiene un valor de realización, información con la cual se establecerá el gasto mensual y anual para cada cliente

3.2.1. Minas

Durante el transcurso del año Minas solicitó 12.056 análisis, correspondientes a procedimientos de Cobre Total, Cu Soluble, Plata y Oro distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 3-11. Análisis solicitados y costos asociados - Minas

	Análisis solicitados mensual	Prom. Análisis mensual	Costo unitario [\$]	Costo mensual [\$]	Costo Anual [\$]
Cu TOTAL	3.136	261,3	\$ 577,1	\$ 150.810,2	\$ 1.809.723
Cu SOLUBLE	3.032	252,7	\$ 500,8	\$ 126.543,0	\$ 1.518.517
Ag	3.071	255,9	\$ 571,0	\$ 146.136,1	\$ 1.753.633
Au	2.817	234,8	\$ 4.877,2	\$ 1.144.915,7	\$ 13.738.988
TOTAL	12.056	1.004,7	-	\$ 1.568.405,0	\$ 18.820.860

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

A través de la información proporcionada por la tabla 3-11, se establece que mensualmente se realizaron 1.005 análisis, con un costo de \$1.568.405, monto que asciende a \$18.820.860 para el total de los procedimientos realizados durante el año 2016.

3.2.2. Planta

Durante el año 2016 planta solicitó 7.956 análisis, correspondientes a:

Tabla 3-12. Análisis solicitados y costos asociados - Planta

	Análisis anual	Prom. Análisis mensual	Costo unitario [\$]	Costo Mensual [\$]	Costo Anual [\$]
Cu <4,5%	3.916	217,56	\$ 577,08	\$ 125.546,96	\$ 1.506.563
Cu >4,5%		108,78	\$ 960,70	\$ 10.502,81	\$ 1.254.034
Ag	2.130	177,5	\$ 571,03	\$ 101.357,80	\$ 1.216.294
Au	1.910	159,2	\$ 4.877,20	\$ 76.282,90	\$ 9.315.395
TOTAL	7.956	663,0	-	\$ 107.690,5	\$ 13.292.286

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

Mensualmente planta registra un promedio de 663 análisis, divididos Cu total (un tercio de estos corresponden a concentrados, analizados mediante técnica

volumétrica), Plata y Oro. Los estudios mensuales realizados tienen un costo promedio de \$1.107.691, cifra que asciende a \$13.292.286 al año. Como se muestra en la tabla 3-12.

3.2.3. Geología

En el transcurso de los meses estudiados Geología solicitó 11.297 análisis, según los datos registrados y calculados en la tabla 3-13 mensualmente se realizaron 41 análisis promedio, distribuidos en la determinación de Cu total, Plata, Oro, Zinc, Hierro y Plomo.

Tabla 3-13. Análisis solicitados y costos asociados - Geología

	Análisis anual	Prom. Análisis mensual	Costo unitario [\$]	Costo Mensual [\$]	Costo Anual [\$]
Cu TOTAL	5.594	466,17	\$ 577,08	\$ 269 .015,5	\$ 3.228.186
Ag	5.535	461,25	\$ 571,03	\$ 263.387,6	\$ 3.160.651
Au	3	0,25	\$ 4.877,17	\$ 1.219,3	\$ 14.632
Zn	67	5,58	\$ 627,00	\$ 3.500,8	\$ 42.009
Fe	49	4,08	\$ 606,78	\$ 2.477,7	\$ 29.732
Pb	49	4,08	\$ 630,41	\$ 2.574,2	\$ 30.890
TOTAL	11.297	941,42	-	\$ 542.174,9	\$ 6.506.099

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

A partir de esto se concluye que Geología aborda un gasto mensual de \$542.175. De lo que se estima un gasto anual de \$6.506.099, por el total de los análisis realizados en los 12 meses.

3.2.4. Sondaje Base H

Durante el año SBH solicitó 11.753 análisis, correspondientes a 5.888 muestras para lectura de cobre total y 5.865 para plata. Mensualmente, se realizaron 979 estudios en promedio, obteniendo como costo lo estipulado a continuación.

Tabla 3-14. Análisis solicitados y costos asociados - Sondaje Base H

	Costo unitario [\$]	Prom. Análisis mensual	Costo Mensual [\$]	Costo Anual [\$]
Cu TOTAL	\$ 577,08	490,67	\$ 283.153,9	\$ 3.397.847
Ag	\$ 571,03	488,75	\$ 279.090,9	\$ 3.349.091
TOTAL	-	979,42	\$ 562.244,8	\$ 6.746.938

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

Obtenido el costo promedio mensual de \$562.2445 se puede estimar el costo anual de los estudios solicitados por SBH, llegando a un total de \$6.746.938. Mostrado en la tabla 3-14.

3.2.5. DJ

Durante el año el cliente DJ solicitó 386 análisis, correspondientes a 193 muestras de Cu total y Ag por igual. En la tabla 3-15 se resume el promedio de análisis mensuales y costos asociados.

Tabla 3-15. Análisis solicitados y costos asociados - DJ

	Costo unitario [\$]	Prom. Análisis mensual	Costo Mensual [\$]	Costo Anual [\$]
Cu TOTAL	\$ 577,08	16,08	\$ 9.281,4	\$ 111.376
Ag	\$ 571,03	16,08	\$ 9.184,1	\$ 110.209
TOTAL		32,17	\$ 18.465,4	\$ 221.585

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

Mensualmente se realizaron 32 estudios en promedio, obteniendo como costo mensual \$18.465. Anualmente se evaluaron 386 muestras con un costo total de \$221.585 para el año 2016

3.2.6. Mina Margarita

Durante el año 2016 MM solicitó 7.956 análisis, correspondientes a 691 muestras para determinación de cobre total y 687 destinadas a la lectura de plata.

De acuerdo a la tabla 3-16 mensualmente Mina Margarita registra un promedio de 115 análisis, divididos en Cu total y Plata. Los estudios mensuales realizados tienen un costo de \$65.922 cifra que asciende a \$791.060 al año.

Tabla 3-16. Análisis solicitados y costos asociados - Mina Margarita

	Costo unitario [\$]	Prom. Análisis mensual	Costo Mensual [\$]	Costo Anual [\$]
Cu TOTAL	\$ 577,08	57,58	\$ 33.230,2	\$ 398.762
Ag	\$ 571,03	57,25	\$ 32.691,5	\$ 392.298
TOTAL		114,83	\$ 65.921,7	\$ 791.060

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

3.2.7. Mina Sauce

Durante el año 2016 Mina Sauce solicitó 895 análisis, correspondientes a 451 muestras minerales para Cu total y 444 para plata.

Tabla 3-17. Análisis solicitados y costos asociados – Mina Sauce

	Costo unitario [\$]	Prom. Análisis mensual	Costo Mensual [\$]	Costo Anual [\$]
Cu TOTAL	\$ 577,08	37,58	\$ 21.688,6	\$ 260.263
Ag	\$ 571,03	37,00	\$ 21.128,1	\$ 253.537
TOTAL		74,58	\$ 42.816,7	\$ 513.800

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

Como se muestra en la tabla 3-17 mensualmente MS registra un promedio de 75 análisis, divididos en Cu total y Plata. Los estudios mensuales realizados tienen un costo promedio de \$42.817 cifra que asciende a \$513.800 al año, según lo calculado.

3.2.8. MCM

Durante el año 2016 MCM solicitó 214 análisis, correspondientes a 107 muestras para la cuantificación de cobre total y plata por igual. Se resume en la tabla 3-18.

Tabla 3-18. Análisis solicitados y costos asociados - MCM

	Costo unitario [\$]	Prom. Análisis mensual	Costo Mensual [\$]	Costo Anual [\$]
Cu TOTAL	\$ 577,08	8,92	\$ 5.145,6	\$ 61.748
Ag	\$ 571,03	8,92	\$ 5.091,7	\$ 61.100
TOTAL	-	17,83	\$ 10.237,3	\$ 122.848

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

Mensualmente MCM registra un promedio de 18 análisis, divididos en Cu total y Plata. Los estudios mensuales realizados tienen un costo promedio de \$10.237 cifra que asciende a \$122.848 al año.

3.2.9. Laboratorio Metalúrgico

Durante el año 2016 Metalúrgico solicitó 3.546 análisis, en cada mes estudiado se realizaron 296 análisis en promedio, lo que tuvo un costo de \$364.906 al mes, valores registrados en la siguiente tabla:

Tabla 3-19. Análisis solicitados y costos asociados – Laboratorio Metalúrgico

	Análisis anual	Costo unitario [\$]	Prom. Análisis mensual	Costo Mensual [\$]	Costo Anual [\$]
Cu TOTAL	1068	577	89	\$ 51.360,1	\$ 616.321
Cu SOLUBLE	623	501	52	\$ 26.001,4	\$ 312.017
Ag	498	571	42	\$ 23.697,7	\$ 284.373
Au	548	4.877	46	\$ 222.724,1	\$ 2.672.689
Zn	106	627	9	\$ 5.538,5	\$ 66.462
Cd	73	579	6	\$ 3.519,3	\$ 42.231
Fe	524	607	44	\$ 26.496,1	\$ 317.953
Pb	106	630	9	\$ 5.568,6	\$ 66.823
TOTAL	3.546	-	295,5	\$ 364.905,8	\$ 4.378.870

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

Anualmente se realizaron 3.546 análisis, lo que posee un costo de \$4.378.870 para los procesos solicitados por este usuario en el año 2016. Resumido en la tabla 3-19.

3.2.10. ENAMI

Durante el año 2016 ENAMI solicitó 7.956 análisis, Como se expone en la tabla 3-20 mensualmente registra un promedio de 921 análisis, requeridos para la cuantificar Cu total, Cu soluble, Plata, Oro y Zinc. Los estudios mensuales realizados tienen un costo promedio de \$1.182.690 cifra que asciende a \$14.192.281 al año.

Tabla 3-20. Análisis solicitados y costos asociados - ENAMI

	Análisis anual	Costo unitario [\$]	Prom. Análisis mensual	Costo Mensual [\$]	Costo Anual [\$]
Cu TOTAL	3748	\$ 577	312	\$ 180.241,3	\$ 2.162.896
Cu SOLUBLE	2058	\$ 501	172	\$ 85.892,3	\$ 1.030.708
Ag	3196	\$ 571	266	\$ 152.084,3	\$ 1.825.012
Au	1856	\$ 4.877	155	\$ 754.335,6	\$ 9.052.028
Zn	194	\$ 627	16	\$ 10.136,5	\$ 121.638
TOTAL	11.052	-	921	\$ 1.182.690,1	\$ 14.192.281

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

3.2.11. Mina Jaime

Durante el año 2016 Mina Jaime solicitó 961 análisis, correspondientes a lo expresado en la tabla 3-21:

Tabla 3-21. Análisis solicitados y costos asociados – Mina Jaime

	Análisis anual	Costo unitario [\$]	Prom. Análisis mensual	Costo Mensual [\$]	Costo Anual [\$]
Cu TOTAL	271	\$ 577	23	\$ 13.032,4	\$ 156.389
Cu SOLUBLE	246	\$ 501	21	\$ 10.267,0	\$ 123.204
Ag	268	\$ 571	22	\$ 12.753,0	\$ 153.036
Au	176	\$ 4.877	15	\$ 71.531,8	\$ 858.382
TOTAL	961	-	81	\$ 107.584,2	\$ 1.291.011

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

Mensualmente registra un promedio de 81 análisis, los estudios mensuales realizados tienen un costo promedio de \$107.584 cifra que asciende a \$1.291.011 al año.

3.2.12. Despacho Concentrado

Durante el año Despacho Concentrado solicitó 1.853 análisis. Mensualmente, se realizaron 154 procedimientos en promedio, los que corresponden a análisis de Cobre total en minerales con un contenido de Cobre > al 4,5%, Plata, Oro, Zinc, Cadmio y Plomo, obteniendo los siguientes costos mensuales expuestos en la tabla 3-22:

Tabla 3-22. Análisis solicitados y costos asociados – Despacho concentrado

	Análisis anual	Costo unitario [\$]	Prom. Análisis mensual	Costo Mensual [\$]	Costo Anual [\$]
Cu TOTAL	633	961	52,8	\$ 50.676,9	\$ 608.123
Ag	611	571	50,9	\$ 29.074,9	\$ 348.899
Au	606	4.877	50,5	\$ 246.297,1	\$ 2.955.565
Zn	1	627	0,1	\$ 52,3	\$ 627
Cd	1	579	0,1	\$ 48,2	\$ 579
Pb	1	630	0,1	\$ 52,5	\$ 630
TOTAL	1.853	-	154,4	\$ 326.201,9	\$ 3.914.423

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

Los estudios mensuales realizados tienen un costo promedio de \$326.202 mensual cifra que asciende a \$3.914.423 al año.

3.2.13. Paquete Segundo

Durante el año 2016 Paquete 2° solicitó 1.942 análisis. Mensualmente, se realizaron 162 procedimientos en promedio, los que corresponden a análisis de Cobre total en minerales con un contenido de Cobre > al 4,5%, Plata y Oro, obteniendo los siguientes costos mensuales resumidos en la tabla 3-23.

Tabla 3-2310. Análisis solicitados y costos asociados - Paquete Segundo

	Análisis anual	Costo unitario [\$]	Prom. Análisis mensual	Costo Mensual [\$]	Costo Anual [\$]
Cu TOTAL	660	961	55,0	\$ 52.838,5	\$ 634.062
Ag	649	571	54,1	\$ 30.883,2	\$ 370.598
Au	633	4.877	52,8	\$ 257.270,7	\$ 3.087.249
TOTAL	1.942	-	161,8	\$ 340.992,4	\$ 4.091.909

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

Los estudios mensuales realizados tienen un costo promedio de \$340.992,4 cifra que asciende a \$4.091.909 al año.

3.2.14. Concentrado Embarque

Durante el año Concentrado Embarque solicitó 361 análisis, con un promedio de 30 procedimientos mensuales, los que corresponden a análisis de Cobre total en minerales con un contenido de Cobre > al 4,5%, Plata y Oro.

Los estudios mensuales registrados en la tabla 3-24, tienen un costo promedio de \$59.308 cifra que asciende a \$711.691 al año.

Tabla 3-2411. Análisis solicitados y costos asociados – Concentrado embarque

	Análisis anual	Costo unitario [\$]	Prom. Análisis mensual	Costo Mensual [\$]	Costo Anual [\$]
Cu TOTAL	126	961	10,5	\$ 10.087,4	\$ 121.048
Ag	129	571	10,8	\$ 6.138,6	\$ 73.663
Au	106	4.877	8,8	\$ 43.081,7	\$ 516.980
TOTAL	361		30,1	\$ 59.307,6	\$ 711.691

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

3.2.15. MINEX

Durante el año MINEX solicitó 543 análisis, mensualmente, se realizaron 45 procedimientos en promedio, los que corresponden a análisis de Cobre total en minerales con un contenido de Cobre > al 4,5%, Plata, Oro Zinc, Cadmio y Plomo.

La tabla 3-25 muestra los costos mensuales y anuales respectivos de \$70.074 cifra que asciende a \$840.889 al año.

Tabla 3-25. Análisis solicitados y costos asociados - MINEX

	Análisis anual	Costo unitario [\$]	Prom. Análisis mensual	Costo Mensual [\$]	Costo Anual [\$]
Cu TOTAL	122	961	10,2	\$ 9.767,1	\$ 117.205
Ag	112	571	9,3	\$ 5.329,6	\$ 63.955
Au	110	4.877	9,2	\$ 44.707,4	\$ 536.489
Zn	40	627	3,3	\$ 2.090,0	\$ 25.080
Cd	40	579	3,3	\$ 1.928,4	\$ 23.140
Pb	119	630	9,9	\$ 6.251,6	\$ 75.019
TOTAL	543	-	45,3	\$ 70.074,0	\$ 840.889

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

3.2.16. GV

Durante el año solicitó 135 análisis, mensualmente registró un promedio de 11 análisis, divididos Cu total, Cobre Soluble y Plata con un costo promedio de \$6.171 cifra que asciende a \$74.050 al año según lo calculado en la tabla 3-26.

Tabla 3-26. Análisis solicitados y costos asociados - GV

	Análisis anual	Costo unitario [\$]	Prom. Análisis mensual	Costo Mensual [\$]	Costo Anual [\$]
Cu TOTAL	43	577	3,6	\$ 2.067,9	\$ 24.814
Cu SOLUBLE	47	501	3,9	\$ 1.961,6	\$ 23.539
Ag	45	571	3,8	\$ 2.141,4	\$ 25.696
TOTAL	135		11,3	\$ 6.170,8	\$ 74.050

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

3.2.17. Otros

Durante el año 2016 se solicitaron 9.446 análisis no pertenecientes a los usuarios nombrados anteriormente, registrando mensualmente un promedio de 787 análisis, que abarca todos los procedimientos ejecutados en el laboratorio, desde la obtención de ley de Cu total a la determinación de CaO.

Como muestra la tabla 3-27.los estudios mensuales realizados tienen un costo promedio de \$907.124 cifra que asciende a \$10.885.484 al año.

Tabla 3-27. Análisis solicitados y costos asociados – otros clientes

	Análisis anual	Costo unitario [\$]	Prom. Análisis mensual	Costo Mensual [\$]	Costo Anual [\$]
Cu TOTAL	1684	577	140,3	\$ 80.983,6	\$ 971.803
Cu SOLUBLE	1144	501	95,3	\$ 47.745,8	\$ 572.950
Ag	1536	571	128,0	\$ 73.091,8	\$ 877.102
Au	1257	4.877	104,8	\$ 510.883,6	\$ 6.130.603
Zn	1038	627	86,5	\$ 54.235,5	\$ 650.826

Cd	1092	579	91,0	\$ 52.644,4	\$ 631.733
Fe	572	607	47,7	\$ 28.923,2	\$ 347.078
Pb	1091	630	90,9	\$ 57.314,8	\$ 687.777
CaO	32	488	2,7	\$ 1.301,0	\$ 15.612
TOTAL	9.446	-	787,2	\$ 907.123,6	\$ 10.885.484

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

A continuación, la tabla 3-28 resume la cantidad de análisis realizados anual y mensualmente por cliente, con sus respectivos costos.

Tabla 3-28. Resumen análisis solicitados y costos por cliente

RESUMEN CLIENTE	ANÁLISIS ANUAL	PROMEDIO MENSUAL	%	COSTO ANUAL	PROMEDIO MENSUAL	%
MINAS	12.056	1.005	15,9%	\$ 18.820.860	\$ 1.568.405	21,5%
PLANTAS	7.956	663	10,5%	\$ 13.292.286	\$ 1.107.690	15,2%
GEOLOGÍA	11.297	941	14,9%	\$ 6.506.099	\$ 542.175	7,4%
SBH	11.753	979	15,5%	\$ 6.746.938	\$ 562.245	7,7%
DJ	386	32	0,5%	\$ 221.585	\$ 18.465	0,3%
MM	1.378	115	1,8%	\$ 791.060	\$ 65.922	0,9%
MS	895	75	1,2%	\$ 513.800	\$ 42.817	0,6%
MCM	214	18	0,3%	\$ 122.848	\$ 10.237	0,1%
METALÚRGICOS	3.546	296	4,7%	\$ 4.378.870	\$ 364.906	5,0%
ENAMI	11.052	921	14,6%	\$ 14.192.281	\$ 1.182.690	16,2%
JAIME	961	80	1,3%	\$ 1.291.011	\$ 107.584	1,5%
DESPACHO CONC.	1.853	154	2,4%	\$ 3.914.423	\$ 326.202	4,5%
PAQUETE 2°	1.942	162	2,6%	\$ 4.091.909	\$ 340.992	4,7%
CONCENTRADO E.	361	30	0,5%	\$ 711.691	\$ 59.308	0,8%
MINEX	543	45	0,7%	\$ 840.889	\$ 70.074	1,0%
OTROS	9.446	787	12,5%	\$ 10.885.484	\$ 907.124	12,5%
GV	135	11	0,2%	\$ 74.050	\$ 6.171	0,1%
TOTAL	75.774	6.315	100%	\$ 87.396.085	\$ 7.283.007	100%

Fuente: Práctica Profesional Minera Las Cenizas, 2017

De la información expuesta en este capítulo se puede concluir que el procedimiento de mayor costo realizado en el laboratorio corresponde a la determinación de oro. Su alto valor respecto a los otros análisis se debe principalmente al recurso humano, ya que es necesario contar con un fundidor, persona encargada exclusivamente del tratamiento de muestras en el área de vía seca, y un analista. También lidera el mayor costo de reactivos, esta situación está dada por la dosificación necesaria para conseguir la separación del oro de elementos como el plomo y plata que lo acompañan en el mineral. Además de estos factores, se requiere de materiales resistentes a las altas temperaturas, debido a la exposición de las muestras a etapas como la fusión y copelación en hornos.

El mayor número de análisis realizados en el laboratorio durante el año 2016 pertenece a Minas, con el fin de conocer mayoritariamente las leyes de cobre presentes en los minerales. Este representa el cliente que genera mayor gasto económico y es seguido por clientes como ENAMI y Planta

El mayor número de análisis realizados por elemento en el laboratorio químico perteneciente al área de control de calidad en esta empresa minera corresponden a la determinación de cobre total, esta situación está dada por la importancia de conocer las leyes de cobre en los minerales que compra y explota la empresa; y llevar un control metalúrgico efectivo en la planta de procesamiento de estos minerales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del objetivo específico número uno se puede concluir que los minerales sulfurados de cobre procesados en la Minera Las Cenizas-Faena Cabildo presentan propiedades físico-químicas similares como dureza, color, raya, excepto por la composición química, ya que la Bornita y Calcopirita presentan hierro, esta última en un porcentaje equivalente al cobre.

Del objetivo específico número dos se puede concluir que los minerales concentrados de cobre necesitan de la acción de un mayor número de reactivos y por ende una mayor dosificación total para lograr la separación del analito de interés, la eliminación de interferencias de materia orgánica y otros elementos que puedan afectar al resultado. Entre los reactivos más utilizados en la preparación de muestras para la determinación de cobre se encuentra el ácido nítrico y el ácido clorhídrico por su fuerte acción oxidante.

Relacionado al tercer objetivo específico se concluye que el procedimiento con mayor costo monetario para el laboratorio son los análisis para la cuantificación de Oro con un total de \$4.877, siendo el recurso humano lo más costoso, este abarca el 54,4% del costo total. Esta situación es debida a que los fundidores solo realizan esta labor con un promedio 835 análisis mensuales, cifra mucho menor a la realizada por las analistas. El mayor número de análisis durante el año 2016 fue realizado a muestras de cobre, lo que está asociado a volumen de compra y procesamiento de este mineral en la planta concentradora.

Al analizar la información de costos expuestas en este trabajo, se concluye que el gasto involucrado en el desarrollo procedimientos del Laboratorio varía según análisis realizado y la cantidad requerida por los clientes. El mayor demandante de análisis corresponde a Minas con 12.056 análisis anuales y un promedio mensual de 1.005, y a su vez, también representa el mayor gasto monetario con una cifra total de \$18.820.860 durante el año 2016.

Respecto a las dosificaciones para el procesamiento de minerales y concentrados de cobre de alta ley, recomendando someter el procedimiento a una evaluación de un laboratorio externo para evaluar el reemplazo y disminución de reactivos y/o dosificaciones, buscando siempre la mejora continua de las actividades ligadas al control de calidad de los procesos metalúrgicos.

BIBLIOGRAFÍA

1. HURLBUT, Cornelius Searle. Manual de mineralogía. 4ª ed. Barcelona: Editorial Reverté S.A., 1997. 2v. ISBN 9788429146073
2. CODELCO EDUCA. Los minerales y sus propiedades. [en línea]. <<https://www.codelcoeduca.cl/>> [consulta: 10 de junio de 2017].
3. CODELCO EDUCA. La mineralogía. [en línea]. <<https://www.codelcoeduca.cl/>> [consulta: 13 de junio de 2017].
4. MAKSAEV, Victor. Pórfidos cupríferos. [en línea]. <<http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/PORFIDOS%20CUPRIFEROS.pdf>> [consulta: 5 de julio de 2017].
5. Sulfuros de cobre. [en línea]. <http://www.udesantiagovirtual.cl/moodle2/pluginfile.php?file=%2F106011%2Fmod_folder%2Fcontent%2F0%2FClases%20Minerales%2F2.%20Sulfuros%20y%20%C3%93xidos.pptx&forcedownload=1> [consulta: 15 de julio de 2017].
6. ROUESSAC, Annick y ROUESSAC, Francis. Análisis químico, métodos y técnicas instrumentales modernas. 5ª ed. Madrid: Mc Graw-Hill Interamericana de España, 2003. 440 p. ISBN 844813785X
7. Introducción al análisis volumétrico. [en línea]. <http://ocw.usal.es/ciencias-experimentales/quimica-analitica/contenidos/CONTENIDOS/3.CONCEPTOS_TEORICOS.pdf> [consulta: 11 de julio de 2017].