



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

## FACULTAD DE QUÍMICA

“REVISIÓN DEL MÉTODO EN LA DETERMINACIÓN DE Bi Y Sb  
EN CONCENTRADOS DE PLOMO Y COBRE MEDIANTE LA  
TÉCNICA DE ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.  
APLICACIÓN E INTERPRETACIÓN DE PROCESOS  
ADMINISTRATIVOS Y NORMAS ISO.”

INFORME DE PRÁCTICA PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERA QUIMICA METALURGICA

P R E S E N T A:

MÓNICA HERNÁNDEZ CARBAJAL



Tutor: Antonio Huerta Cerdán

Ciudad Universitaria, CD. MX. 2024



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:** Huerta Cerdán Antonio

**VOCAL:** Márquez Herrera Ciro Eliseo

**SECRETARIO:** Juárez Sánchez Faustino

**1er. SUPLENTE:** Paz Díaz Blanca

**2° SUPLENTE:** Vela Avitua Andrés

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:** GRUPO MÉXICO UNIDAD  
CHARCAS

**ASESOR DEL TEMA:** Huerta Cerdán Antonio



**SUSTENTANTE:** Hernández Carbajal Mónica



## **Agradecimientos**

Me gustaría agradecer y dedicar el presente trabajo a:

**Mi familia:** mis padres, Consuelo Carbajal y Alfonso Hernández, por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida; tíos, Delfina Carbajal, Lucía Carbajal, Marco Cruces; mi abuela Dolores Munguía; a mis primos y sobrinos Monse Cruces, Marco Cruces, Iván Carbajal, Sebastián Islas, Alexis Romero y Daniela Romero por su constante apoyo en todo el proceso.

**Mi novio:** Aarón Hernández por hacer que el proceso sea más sencillo y estar siempre conmigo.

**Mis amigos:** Daniel Guerra, Luis Hernández y Alberto Rangel por acompañarme y ayudarme. Y a todos mis compañeros de la carrera.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, específicamente a la **Facultad de Química**, por ser el pilar en mi educación profesional.

A **Grupo México** por permitirme desarrollar el proyecto presentado.

Y finalmente a mi asesor Antonio Huerta por su paciencia y enseñanza, y a mis sinodales.

## Índice

Índice de Figuras y Tablas .....	i
Introducción .....	1
Objetivos .....	2
Antecedentes .....	3
Proceso de Beneficio de Minerales de la Unidad Charcas .....	5
Fundamentación Teórica .....	6
Importancia del análisis de los concentrados de cobre y sus impurezas .....	19
Importancia del análisis de los concentrados de plomo y sus impurezas .....	21
Descripción del laboratorio de Análisis Químicos .....	23
Actividades realizadas en el laboratorio de Análisis Químicos .....	25
Requerimientos y acciones actuales y de mejora en el laboratorio de análisis químico de la unidad .....	32
Conclusiones .....	33
Referencias Bibliográficas .....	34
Anexos .....	35

## Índice de Figuras y Tablas

Figura 1. Ubicación geográfica de las minas y plantas. Adaptada de Calderón, M. (2006). Minería y Metalurgia Ilustrada pág. 1.....	3
Figura 2. Galena (PbS) Tomada de Geoaprendo, 2014,.....	4
Figura 3. Esfalerita (ZnS) Tomada de Rock Esfalerita (Sphalerite)- Rock Identifier .....	4
Figura 4. Calcopirita CuFeS <sub>2</sub> Tomada de Minerales y Rocas Usos, propiedades y características de la Calcopirita. Minerales y Rocas .....	4
Figura 5. Diagrama de la Planta de Beneficio de Unidad Charcas.....	5
Figura 6. Esquema de las técnicas analíticas. ....	6
Figura 7. Esquema de la relación de la absorción y emisión. ....	10
Figura 8. Celda de longitud b. Tomada de Analytical Atomic Absorption Spectroscopy: Selected Methods - A.J. (Tom) Van Loon. pág 8 .....	11
Figura 9. Diagrama de Absorbancia y Concentración.....	12
Figura 10. Esquema del funcionamiento de la técnica EAA.....	14
Figura 11. Lámpara de cátodo hueco. Tomada de Fundamentos de química analítica- Douglas A. Skoog, Donald M. West, F. James Holler pag.620 .....	14
Figura 12. Elementos que conforman el atomizador con llama. Tomada de Fundamentos de química analítica - Douglas A. Skoog, Donald M. West, F. James Holler. pág.616 .....	16
Figura 13. Monocromador de doble haz (Czemey-Turner). Tomada de Fundamentos de química analítica - Douglas A. Skoog, Donald M. West, F. James Holler. pág 543 .....	17
Figura 14. Fotografía tomada del equipo utilizado con muestras a analizar.....	24
Tabla 1. Valores de alto y bajo contenido de los distintos elementos.....	25
Tabla 2. Condiciones Iniciales. ....	26
Tabla 3. Resultados obtenidos en el concentrado de cobre.....	27
Tabla 4. <i>Resultados obtenidos en el concentrado de cobre en Nacozari.</i> .....	28
Tabla 5. Resultados obtenidos en el primer concentrado de plomo Pb Dic 2018.....	28
Tabla 6 . Resultados obtenidos en el concentrado Pb Dic 2018 condiciones iniciales. ....	29
Tabla 7. Resultados obtenidos en el segundo concentrado de plomo 04-CH-13. ....	29
Tabla 8. Resultados obtenidos en el segundo concentrado de plomo 04-CH-13 en Peñoles. ....	30
Tabla 9. Modificaciones a la Preparación de Muestras. ....	30

## Introducción

El complejo minero de Unidad **Charcas** pertenece a la división minera **Industrial Minera México, S.A. de C.V.**, que a su vez forma parte de las Filiales y Subsidiarias del conglomerado mexicano **Grupo México, S.A.B. de C.V.**

La unidad **Charcas** está ubicada a 140 km al norte de la capital del estado de San Luis Potosí, es la mina productora de zinc más grande de México. Cuenta con una mina subterránea así como con la planta de beneficio y la presa de jales.

El área de planta beneficio tiene una capacidad de producción de 4,000 TMS por día, dentro de las cuales proceden minerales tales como: galena, calcopirita, esfalerita y pirita. Actualmente se venden concentrados de plomo a **Industrias Peñoles, S.A.B. de C.V.**, de cobre a **Operadora de Minas e Instalaciones Mineras, S.A. de C.V.** y de zinc a la **Refinería Electrolítica de Zinc**. En el caso particular de los concentrados de plomo y de cobre se analiza el contenido de bismuto, antimonio y arsénico, ya que estos elementos son considerados impurezas, además de tener un impacto tóxico para el ambiente y negativo para la salud pública. Esto ocasiona que existan multas si se llega a exceder el contenido de los mismos.

Debido a las necesidades de la empresa se realizó el siguiente proyecto:

“Revisión del método en la determinación de Bi y Sb en concentrados de plomo y cobre mediante la técnica de espectroscopia de absorción atómica. Aplicación e Interpretación de procesos administrativos y normas ISO”. Para llevarlo a cabo se realizaron pruebas en los concentrados de plomo y de cobre proporcionados y se aplicaron dos modificaciones en la preparación de muestras:

- \* Cantidad de ácidos
- \* Cantidad de muestra

Esto con el objetivo de determinar la viabilidad de ahorros de agua destilada y de ácidos utilizados.

De igual forma, se estudiaron los indicadores de la norma ISO 9001:2015, debido a que el laboratorio requiere de certificaciones con el fin de acreditarse.

## Objetivos

- Conocer el alcance, función y mecanismo de las 5 áreas del laboratorio de Ensaye, con la finalidad de poder identificar las áreas de mejora.
- Determinar viabilidad de ahorros de agua destilada y ácidos, utilizados en la revisión anual del método de determinación de Bi y Sb, en los concentrados de plomo y cobre dando cumplimiento al marco normativo.
- Elaborar un documento que sirva de apoyo para los estudiantes de la carrera de Ingeniería Química Metalúrgica, Facultad de Química, UNAM, que cursen las asignaturas de Beneficio de Minerales y Metalurgia Química Experimental de la carrera, ya que podrán conocer más a fondo el trabajo en la planta y el laboratorio.



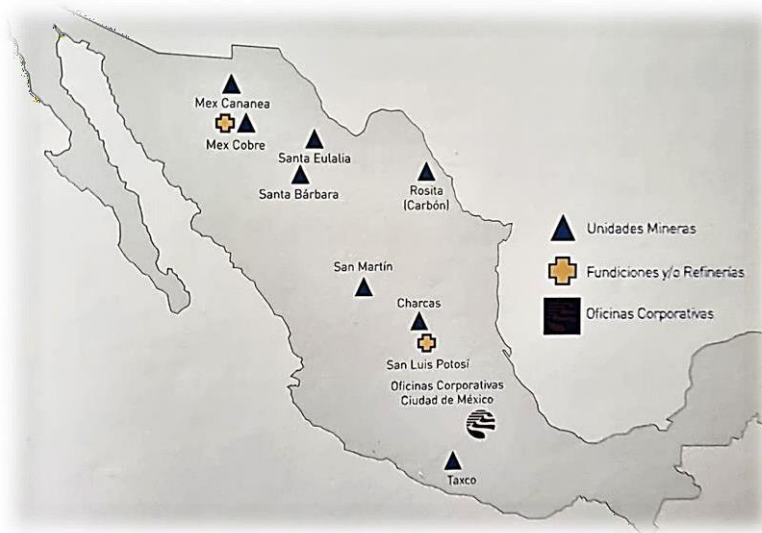
## Antecedentes

Grupo México S.A.B. de C.V. es un conglomerado mexicano que se constituye de cuatro divisiones principales:

- Minera México.
- Grupo México Transportes.
- Grupo México Infraestructura.
- Fundación Grupo México.

La empresa cuenta con 13 minas en operación y 13 proyectos en exploración (México, Perú, Estados Unidos, Chile, Ecuador y Argentina). Tiene las mayores reservas de cobre en el mundo, es líder en producción a bajo costo y el cuarto mayor productor de cobre a nivel mundial. <sup>[2]</sup> Minera México está formada por: Industrial Minera México, Mexicana de Cobre y Buenavista del Cobre.

Se muestra la localización de las minas y plantas pertenecientes a Minera México:



*Figura 1. Ubicación geográfica de las minas y plantas.*

*Adaptada de Calderón, M. (2006). Minería y Metalurgia Ilustrada pág. 1*

Las principales operaciones minero-metalúrgicas de la empresa se dividen en dos tipos de minas: a tajo abierto y subterráneo.

A continuación se presenta la unidad Charcas, cuya historia data desde el año 1583 donde fue descubierta por indígenas de la región, <sup>[2]</sup> compuesta de una mina subterránea, de la cual se obtienen alrededor de 4,000 toneladas de mineral diariamente, para posteriormente ser procesado en la planta de beneficio. En la misma se procesan 4 tipos de minerales principales (galena, calcopirita, esfalerita y pirita) para obtener concentrados de plomo, cobre y zinc.



*Figura 2. Galena (PbS) Tomada de Geoaprendo, 2014,  
Galena (Galena) - Mineral (geoaprendo.com)*



*Figura 3. Esfalerita (ZnS) Tomada de Rock  
Esfalerita (Sphalerite)- Rock Identifier*



*Figura 4. Calcopirita CuFeS2 Tomada de Minerales y Rocas Usos,  
propiedades y características de la Calcopirita. Minerales y Rocas*



## Fundamentación Teórica

### Técnicas Analíticas empleadas en la Unidad Charcas

Al igual que en toda planta metalúrgica, es necesario llevar un control y conocimiento de las calidades de los productos obtenidos (concentrados de las menas sulfuradas), es decir los indicadores fundamentales de % de Ley y % de Recuperación, los cuales se plasman en un balance metalúrgico. Una vez realizada la etapa de preparación de muestra, se continúa con la cuantificación de los analitos constituyentes, lo cual se lleva a cabo mediante las siguientes técnicas analíticas:

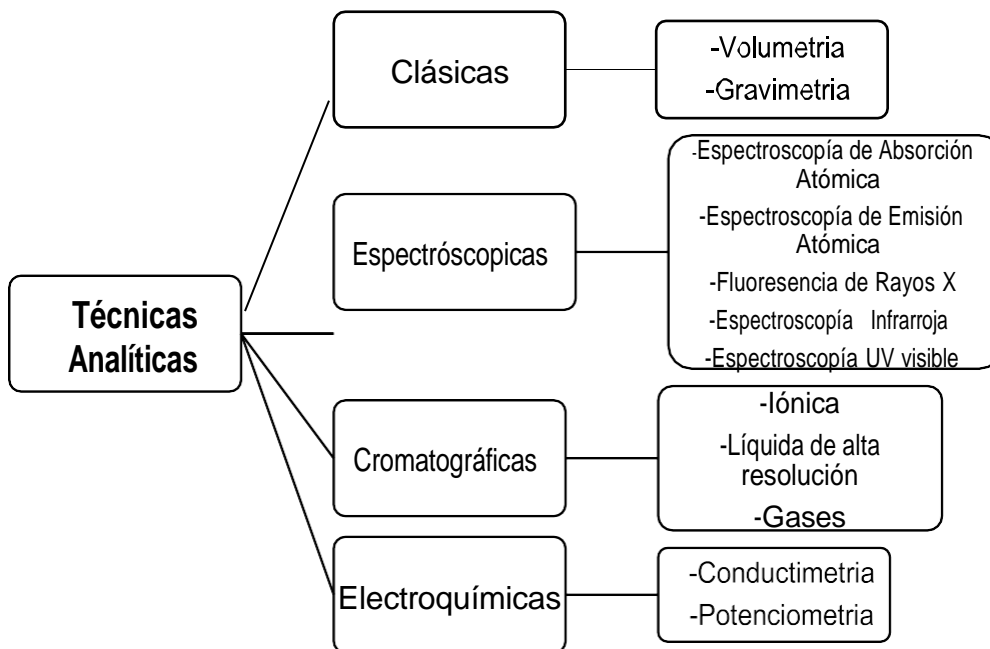


Figura 6. Esquema de las técnicas analíticas.

Como se puede observar en la figura 6, existen distintos tipos de técnicas analíticas. En el caso del Laboratorio de Unidad Charcas, se utiliza la Técnica Clásica de Volumetría y Gravimetría, y en el área de las Técnicas Espectroscópicas se utiliza la de Espectroscopía de Absorción Atómica.

## **Técnica Volumétrica**

Los métodos clásicos están basados, fundamentalmente, en una reacción química en disolución (métodos químicos), por lo que estamos hablando esencialmente de métodos por vía húmeda, que obligan a la disolución de la muestra.

Se define valoración a la operación experimental básica realizada en el análisis volumétrico. En esta operación, la solución de un reactivo de concentración exactamente conocida (solución estándar) es añadida a un segundo reactivo, a la solución o la muestra cuya concentración se va a determinar; hasta que se ha completado la reacción, es decir, hasta que la cantidad de valorante añadido equivale químicamente a la cantidad de muestra.<sup>[9]</sup> La medición del volumen del valorante dosificado permite calcular el contenido de analito mediante la estequiometría de la reacción química.

Trabajar con esta técnica en el laboratorio tiene sus ventajas y desventajas; por ejemplo, las ventajas de este método son que cuando se realizaba se hacía de una manera rápida, en muestras donde se pedía entregar el resultado lo más pronto posible, de igual forma en el momento de titular era muy claro el cambio de color, así que se podía identificar de una forma más exacta la concentración. Sin embargo, una desventaja del método es el problema al momento de preparar la solución estándar, ya que en ocasiones se cometen errores y estos se descubren hasta que se utiliza dicha solución con las muestras, ocasionando la pérdida de éstas.

## Técnica Gravimétrica

La técnica gravimétrica se basa en la determinación del contenido de analito, la cual depende de la medición de pesos o de variaciones de estos como base para el cálculo de la cantidad de sustancia (o sustancias).<sup>[4]</sup> Los métodos gravimétricos pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Volatilización: El analito se separa en forma gaseosa. El gas se recoge y pesa, o se determina el peso del producto gaseoso a partir de la pérdida de peso de la muestra. La aplicación más importante es la determinación de agua en muestras sólidas y la de carbono en compuestos orgánicos por formación de CO<sub>2</sub>.
- Precipitación: El analito se separa de los demás constituyentes de la muestra por formación de un compuesto insoluble. El peso del analito en la muestra se determina a partir del peso del compuesto obtenido inicialmente, o de un compuesto producido posteriormente por calentamiento.
- Electrodeposición: Se basa en la deposición de una sustancia sobre un electrodo, causada por el paso de una corriente eléctrica.<sup>[4]</sup>

En el laboratorio de unidad Charcas se realiza el método de precipitación, ya que éste es utilizado justamente para la determinación de insolubles en la planta de beneficio.

Las características que debe cumplir el precipitado son las siguientes:

- Debe ser suficientemente insoluble para asegurar que el proceso sea cuantitativo y para reducir pérdidas en el lavado del mismo.
- El precipitado debe ser puro, no debe estar contaminado por otros compuestos presentes en la disolución.
- Debe tener un tamaño de partícula adecuado para poder ser filtrado sin atravesar los poros del filtro.

Es importante que para el correcto manejo de este método las balanzas utilizadas estén debidamente calibradas, de igual forma se debe tener precaución al momento de calcinar la muestra, ya que existieron algunos errores en el área de la mufla donde muchas veces se dejaba un mayor tiempo.

## ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA (EAA)

La espectroscopia de manera general estudia la interacción de la radiación electromagnética con la materia por medio del transporte de energía. Esta interacción se basa en fenómenos de absorción, fluorescencia y emisión.

En el caso de la ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA, se caracteriza por tener como fundamento la absorción de la radiación de una longitud de onda determinada. [7]

El avance más importante en el estudio de los espectros atómicos lo realizó por primera vez Niels Bohr quien postuló que *“a cualquier átomo sólo se le permiten ciertos valores de energía discretos y característicos, y que la absorción o emisión de radiación por un átomo ocurre cuando sufre una transición entre estos estados estacionarios o niveles de energía”*. [12]

$$\nu = \frac{E_m - E_n}{h} = \Delta E/h$$

En términos de longitud de onda:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = hc/\Delta E$$

Donde:

$\nu$ = Frecuencia

$E_m$ = Mayor nivel energético

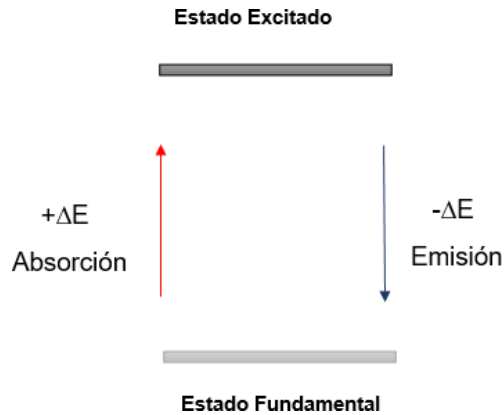
$E_n$ = Menor nivel energético

$h$ = Constante de Planck

$c$ = Velocidad de la luz

$\lambda$ = Longitud de onda

Debido a esto, las transiciones electrónicas se pueden discutir en términos de frecuencia, energía y longitud de onda. Estos parámetros tienen valores únicos para una transición electrónica determinada. Un elemento puede sufrir varias transiciones electrónicas, lo que da como resultado una serie de líneas nítidas llamadas espectro. Este espectro es único para cada elemento



*Figura 7. Esquema de la relación de la absorción y emisión.*

La absorción y la emisión se pueden relacionar como se observa en la figura 7. Un electrón de un átomo en su estado fundamental puede absorber un fotón ( $+\Delta E$ ) y sufrir una transición a un estado excitado. La emisión ocurre cuando este fotón es liberado ( $-\Delta E$ ) y el electrón regresa a su estado fundamental. <sup>[12]</sup>

La relación entre la absorción y la concentración está determinada por las siguientes dos leyes:

- Ley de Lambert: La luz absorbida en una celda de absorción transparente es independiente de la intensidad de la luz incidente.
- Ley de Beer: La absorción de luz también es exponencialmente proporcional al número de especies absorbentes en la trayectoria del haz de luz.



$$\log_{10} \left( \frac{1}{T} \right) = \log_{10} \left( \frac{I_0}{I} \right) = dx$$

$$\log_{10} \left( \frac{I_0}{I} \right) = A$$

Donde:

$A$  = absorbancia =  $abc$

$a$  = constante de un sistema dado

$c$  = concentración de los átomos del analito en la llama

$b$  = distancia

$I_0$  = haz de luz que entra

$I$  = haz de luz que sale

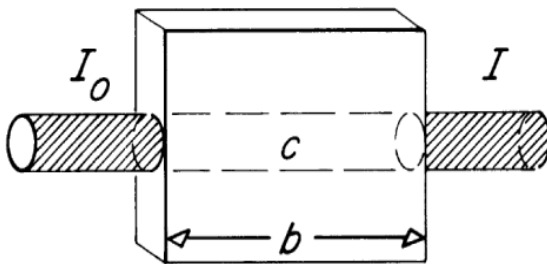
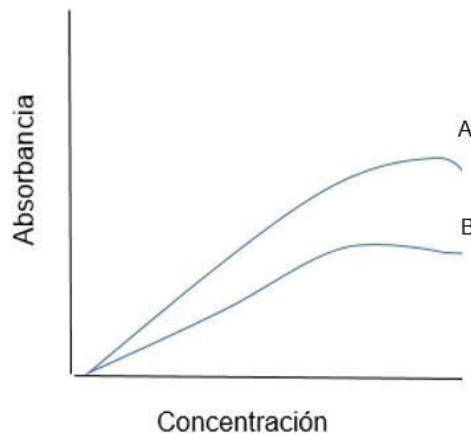


Figura 8. Celda de longitud  $b$ . Tomada de Analytical Atomic Absorption Spectroscopy: Selected Methods - A.J. (Tom) Van Loon. pág 8

Esta expresión conocida como la ley de Beer-Lambert, predice una relación lineal entre la absorbancia y la concentración siempre y cuando “b” permanezca constante. La relación lineal es entre la concentración de átomos del analito en el atomizador, no necesariamente el analito de la muestra. Para obtener esa última concentración es necesario evadir cualquier tipo de interferencia.

La ley de Beer-Lambert es válida para una luz monocromática, es decir, aquella que tiene una única longitud de onda. En el momento en que existen fallas en el sistema monocromático, para evitar que múltiples líneas lleguen al detector, se presenta una relación no lineal de la concentración del analito con la absorbancia. En el extremo superior del rango de concentración es común que el gráfico se doble hacia el eje de concentración (figura 8 curva A) y, aunque es menos común, también se puede presentar que el gráfico de calibración se curve en todo el rango de trabajo (figura 9 curva B). [12]



*Figura 9. Diagrama de Absorbancia y Concentración.*

El hecho de que los diferentes elementos tengan que ser determinados individualmente, hace que la absorción atómica sea una técnica de análisis cuantitativo; lo que la vuelve no efectiva para la identificación de los diferentes elementos presentes en una muestra de manera simultánea.

Se requiere de un dispositivo experimental para medir la absorción de un elemento determinado. Los componentes básicos de un espectrómetro de absorción atómica son:

- Fuente de excitación.
- Atomizador.
- Monocromador.
- Fotomultiplicador o Detector.
- Dispositivo de Lectura.

El principio de operación del equipo se puede explicar de la siguiente manera: La fuente de excitación, en este caso la lámpara de cátodo hueco, emite un tipo de energía característica del cátodo del material, el cual se fabrica con el mismo metal del analito o con un soporte recubierto de este metal. Debido a esto se genera una corriente entre el cátodo y el ánodo, resultando en la ionización del gas inerte, que provoca que los átomos del cátodo sean separados de la superficie, formando un vapor atómico en el que los átomos existen en un estado electrónico excitado. Al regresar al estado fundamental las líneas de resonancia características del elemento se emiten y pasan a través de la llama. <sup>[11]</sup>

El monocromador aísla las líneas de resonancia deseadas y permite que esa radiación se dirija al fotomultiplicador (detector). Se produce una corriente eléctrica, cuya magnitud depende de la intensidad de la luz. La parte electrónica del equipo está diseñada para responder selectivamente a la radiación, medir la cantidad de atenuación de la luz en la celda de muestra y convertir estas lecturas a la concentración real de la muestra.

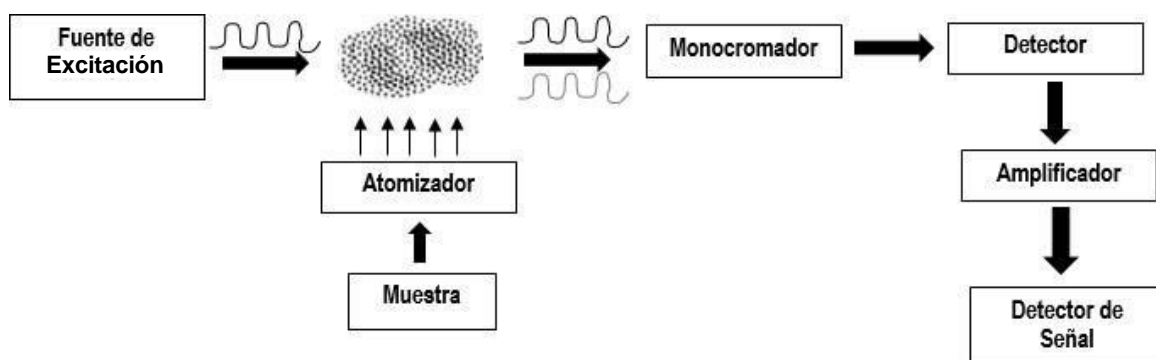


Figura 10. Esquema del funcionamiento de la técnica EAA.

A continuación, se explica de manera más detallada cada una de las partes.

La fuente de excitación característica debe poseer dos propiedades fundamentales:

- Intensidad (debe ser lo suficientemente intensa a la longitud de onda de interés)
- Estabilidad (suficiente como para poder realizar las medidas sin fluctuaciones considerables)

Las fuentes de excitación principales son las lámparas de cátodo hueco y las lámparas de descarga sin electrodos. <sup>[5]</sup> Las lámparas de descarga sin electrodos tienen un elevado precio y requieren un elevado tiempo de calentamiento. Debido a estas dos razones, en el laboratorio se cuenta con lámparas de cátodo hueco

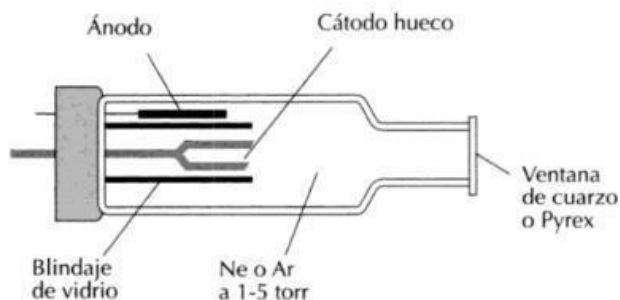


Figura 11. Lámpara de cátodo hueco. Tomada de Fundamentos de química analítica- Douglas A. Skoog, Donald M. West, F. James Holles pag.620

La lámpara de cátodo hueco consta de un ánodo de wolframio y un cátodo cilíndrico, soldados en un tubo de vidrio que contiene un gas inerte como argón o neón, a una presión de 1 a 5 torr. <sup>[11]</sup>

Existió un problema frecuente con la lámpara de Fe ya que su tiempo de vida era demasiado corto y no era posible obtener ninguna lectura, ocasionando muchos retrasos importantes.

Para poder obtener una absorción atómica es necesario producir átomos libres en estado fundamental, para ello se ocupan atomizadores con llama o electrotérmicos con hornos de grafito.

Atomizadores con llama: su función es convertir los átomos combinados de la muestra en átomos en estado fundamental, para ello es necesario suministrar a las muestras una cantidad de energía suficiente para disociar las moléculas, romper sus enlaces y llevar los átomos al estado fundamental. <sup>[11]</sup>

El atomizador con llama está compuesto de:

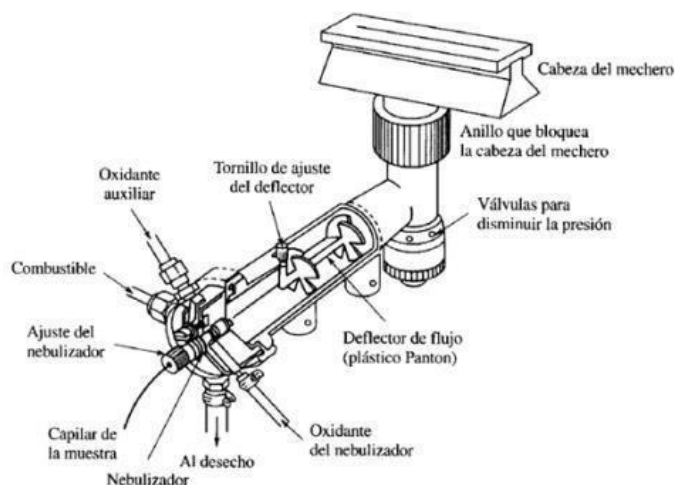
- Nebulizador. Su objetivo consiste en convertir la muestra aspirada en una nube del tamaño de una gota.

Es importante que la toma de la muestra se realice a una altura considerable, ya que llegó a suceder que se tapaba el nebulizador con pequeñas cantidades de muestra sólida que contenía el matraz con la muestra.

- Cámara de pre mezcla (donde penetra la muestra una vez que se ha nebulizado. En ella se separan las pequeñas gotitas que forman la niebla, mezclados la muestra nebulizada con el oxidante y el combustible.)

- Mechero. Se sitúa sobre la cámara de pre mezcla y por él sale la llama con temperatura suficiente para poder comunicar a la muestra la energía suficiente para llevar los átomos a su estado fundamental. La llama es el medio de aporte de energía a la muestra. Entre las llamas se diferencia la de aire-acetileno y la de óxido nitroso-acetileno. <sup>[10]</sup>

En el laboratorio se ocupa la llama de aire-acetileno. Es importante mencionar que el mechero es una parte esencial del equipo y debe mantenerse limpio, ya que se llegaron a presentar problemas en donde la llama no salía de manera adecuada debido a que estaba sucio el mechero, de igual forma se puede presentar una lectura errónea si la llama no sale de manera uniforme del mechero.



*Figura 12. Elementos que conforman el atomizador con llama. Tomada de Fundamentos de química analítica - Douglas A. Skoog, Donald M. West, F. James Holler. pág.616*

**Monocromador:** Es el dispositivo que se encarga de dispersar la luz, separando las longitudes de onda que la componen, y seleccionando una banda estrecha de longitudes que atraviesan la muestra y llegan al detector. [6]

El monocromador puede ser fabricado de dos diseños diferentes: de haz sencillo o de doble haz. En los de haz sencillo se mide el cambio producido en la intensidad del haz procedente de la fuente de radiación, cuando interacciona con el vapor atómico del elemento a analizar; y en los sistemas de doble haz, como es el caso de los utilizados en el laboratorio, el haz procedente de la fuente de radiación se divide en dos, mediante un cortador reflectante haciendo pasar uno a través de la muestra, y desviando el otro alrededor de la llama. Ambos haces se recombinan posteriormente con un espejo semiplatedado y se mide la relación entre ellos. [12]

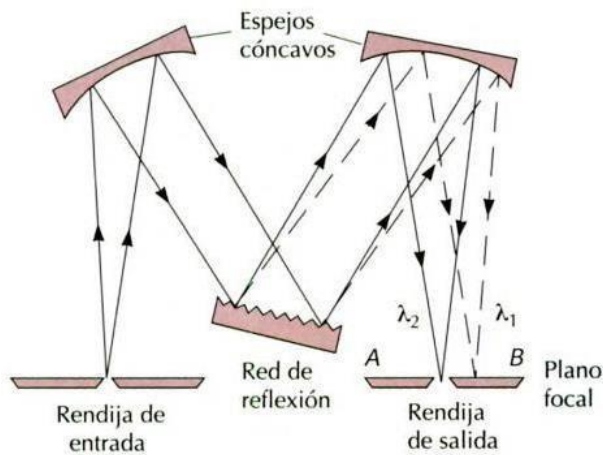


Figura 13. Monocromador de doble haz (Czemey-Turner). Tomada de *Fundamentos de química analítica* - Douglas A. Skoog, Donald M. West, F. James Holler. pág 543

Detectores: Son los dispositivos encargados de captar la señal óptica proveniente del monocromador y transformarla en una señal eléctrica, esta señal es capaz de ser convertida en un valor legible. <sup>[10]</sup>

El más común es el fotomultiplicador, que consta de un tubo de vacío provisto de placas fotosensibles que recibe los fotones, los convierte en impulsos electrónicos y los multiplica hasta obtener la suficiente intensidad eléctrica. <sup>[6]</sup>

En años recientes se están utilizando también los detectores de estado sólido (CCD), de alta sensibilidad asociados a los monocromadores *Echelle*. <sup>[10]</sup> Este proceso ayudará a que el analito tenga menos interferencias.

La técnica de ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA presenta como desventajas que solamente se puede llevar a cabo la lectura de un solo elemento y cuando se va a realizar el estudio con otro elemento se debe realizar la calibración del equipo. Esto ocasiona que no se pueda avanzar con tanta rapidez.

En el caso de las soluciones para calibrar el equipo, se utilizan soluciones estándar, se preparan de una solución certificada de 1000 µg/ml de los elementos a determinar. Dependiendo del elemento a estudiar, se preparan los estándares. Para el concentrado de cobre, se debe realizar de antemano una dilución para poder leer el contenido de cobre y de hierro; esto debido a que la concentración será mayor a la del último estándar que se calibra. Estos datos son importantes, ya que ahorran tiempo al momento de realizar el estudio.

Otra desventaja presente en el método, es el gran consumo de agua desionizada que se utiliza cada vez que se calibra un elemento, además de que es de suma importancia que esté lo suficientemente limpia de impurezas para no intervenir en la lectura.

Son varios los factores que hay que tener en cuenta para que la lectura que se reporta sea lo más exacta posible, debido a esto, continuamente se realizan revisiones del equipo por técnicos especializados que certifiquen su funcionamiento. Trabajar con los equipos provoca familiarizarse con cada uno de ellos y debido a que en el laboratorio se cuenta con 3 equipos se pueden realizar las lecturas de los distintos elementos al mismo tiempo.



### **Importancia del análisis de los concentrados de cobre y sus impurezas**

Se les obtiene de la unidad, aproximadamente de 1 a 3 carros diariamente. Los carros en los que son transportados se conocen como *full* y tienen una capacidad de transportar un aproximado de 55 a 60 toneladas cada uno. Posteriormente son llevados a Metalúrgica del Cobre en Cananea, Sonora. Una vez ahí, el objetivo principal es obtener la producción de Cobre Blister: Cu=97%, para posteriormente ser refinados en la planta de La Caridad y obtener una producción de Cu anódico=99.7%,

El principal objetivo de la unidad es enviar el concentrado con la menor cantidad de impurezas posible para que al momento de ser procesado se pueda cumplir de una manera eficaz con la producción y la calidad del producto que se obtiene.

En cuanto al concentrado de cobre, las principales impurezas son: el arsénico, el antimonio y el bismuto. En la metalurgia del cobre los límites permisibles de las impurezas no deben superar el 0,5 %. Mayores contenidos a estos, durante los procesos de fusión de los concentrados de cobre, pueden generar emisiones e incluso ocasionar degradación de los refractarios de los hornos. Esto implica pérdidas de material y cuando los concentrados de cobre poseen elevados porcentajes de arsénico, no pueden comercializarse.

Como consecuencia de un mal control de dichos elementos las fundiciones inciden en penalizaciones importantes, por los efectos negativos que tienen estas impurezas sobre la calidad de su producto final (cátodos de cobre). Por ejemplo, el arsénico en mínimas cantidades disminuye la conductividad eléctrica del cobre utilizado como conductor eléctrico. [3]

Los bajos coeficientes de actividades para el As, Sb y Bi en soluciones con altos contenidos de cobre hacen que las presiones de vapor de estas impurezas sean muy pequeñas, lo que impide una volatilización significativa. Por esta razón, es indispensable eliminar dichas impurezas en etapas previas. [3]

Cuando los sistemas metálicos de Cu-Fe presentan una alta concentración de impurezas, como arsénico, antimonio y bismuto bajo una condición atmosférica

altamente reductora, se genera una fase adicional, que se conoce como *speiss* o “residuo de horno”. [1]

Un *speiss* se define básicamente como una aleación metálica compuesta principalmente de arsenatos y antimonatos de metales base, como  $\text{Cu}_3\text{As}$ ,  $\text{Fe}_2\text{As}$ ,  $\text{Ni}_3\text{As}_2$ ; y su formación ocurre ocasionalmente durante el tratamiento reductor de productos intermedios. [1] En el proceso convencional de una fundición de cobre, la formación de *speiss* se evita al mantener el material de alimentación a la planta con bajas concentraciones de arsénico y antimonio. Esto normalmente se logra al mezclar distintos tipos de concentrados sulfurados de cobre; sin embargo, es vital que estos concentrados lleguen con valores controlados de dichas impurezas.

El problema de que exista la formación de una fase de *speiss* es que disminuye significativamente la capacidad productiva del tratamiento del horno.

### **Importancia del análisis de los concentrados de plomo y sus impurezas**

Se les obtiene de la unidad, produciendo aproximadamente de 2 a 5 carros por semana. Los carros en los que son transportados se conocen como “*sencillos*” y tienen una capacidad de 36 toneladas cada uno. Se venden a Industrias Peñoles, S.A.B. de C.V.

Peñoles cuenta con el circuito Plomo-Plata, el cual consiste en dos partes. La primera es la fundición de plomo, en la que obtienen el plomo impuro (en lingotes), con impurezas importantes como el oro, la plata, el antimonio, el arsénico y el bismuto. Posteriormente, la segunda etapa es la refinación plomo-plata de la cual se obtiene como producto final concentrados de oro, plata y plomo.

El proceso de refinación del plomo se puede realizar mediante un método electrolítico, el cual consiste en la electrólisis del plomo. Se cuenta con el ánodo (lingotes de plomo impuro) y el cátodo (plomo electrolítico) sostenidos por barras de cobre en un tanque que contienen normalmente como electrolito fosfosilicato de plomo  $F_6PbSi$ , y ácido hidrofosilícico  $SiF_6H_2$ .<sup>[7]</sup> Durante la electrólisis se va a solución el plomo junto con otros metales como el zinc, el hierro o el níquel, y en el ánodo se forma el barro anódico, que contiene bismuto, antimonio, arsénico, oro y plata. Este barro se deposita en el ánodo y al fondo del tanque. El barro anódico, que puede caer hasta el fondo de tanque, no solo tiende a causar cortocircuitos, sino que también origina una reacción química entre sus componentes y el ácido libre del electrolito.<sup>[7]</sup>

Las impurezas del plomo no deben pasar del 2% en total. De todos los elementos que conforman las impurezas, el 1 o 1.25% son de antimonio. Debido a que el antimonio es la principal impureza en el concentrado de plomo se debe tener un especial control en el circuito de flotación de sulfuro de plomo.

El antimonio como sulfuro es insoluble, debido a esto puede pasar una pequeña cantidad al cátodo. Este normalmente se elimina agitando el plomo del cátodo, con aire en una caldera, con lo cual al mismo tiempo se separa el estaño que pueda estar presente sin embargo, es importante que la cantidad de antimonio no sea alta,

ya que puede ocasionar que no se desprenda tan fácilmente del cátodo.

Los ánodos que contienen más del 2.25% de impurezas originan dificultades de electrolisis, específicamente en la velocidad de circulación del electrolito, ya que esta disminuye y generan una pérdida máxima de dicho electrolito debido a la disociación del ácido. <sup>[7]</sup> La pureza del ánodo actúa también sobre la densidad de corriente, ya que entre mayor sea la cantidad de antimonio, mayor será el potencial, y menor la edad del ánodo, por lo tanto, afecta en el tiempo de vida del ánodo.

El ánodo empleado en el refinado del plomo, suele ser más delgado al que se emplea en el refinado de cobre. Esto debido a que, durante la electrólisis, la mayoría de las impurezas que permanecen en el ánodo se adhieren, aumentando la resistencia al paso de corriente. <sup>[7]</sup> La acumulación de impurezas puede ocasionar su caída al fondo del tanque, y esto a su vez cortocircuitos; también por disolución o suspensión, su depósito en el cátodo. Posteriormente existe el tratamiento del barro anódico, para obtener después de varias etapas el concentrado de oro y plata. La presencia de bismuto, telurio y selenio, es el factor determinante en el tratamiento, ya que entre menor sea la cantidad presente de estos, más fácil será el tratamiento. Debido a esto, es importante tener un control de la cantidad exacta de impurezas que lleva el concentrado de plomo, antes de iniciar todos los procesos de fundición y refinación.

## **Descripción del laboratorio de Análisis Químicos**

El Laboratorio de Ensayes de Unidad Charcas tiene como objetivo analizar muestras de materia prima (galena, calcopirita, esfalerita y piritita) y de producto terminado (embarques, muestras rutinarias de la planta de beneficio y muestras especiales del laboratorio metalúrgico) con el fin de llevar a cabo un análisis químico metalúrgico de un alto grado de confiabilidad. Los análisis químicos se realizan para la detección de Au, Ag, Pb, Cu, Zn, Fe, S, Cd, Bi y Sb en las distintas muestras que lo requieren, así mismo, se hacen análisis de sílice en muestras de geología, se realiza la determinación de insolubles y requerimientos especiales de la unidad. [8] Cuenta con 3 áreas de trabajo, según el tipo de muestra y requerimiento de análisis; estas áreas se denominan:

- Análisis por la técnica de ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.
- Vía húmeda.
- Vía fuego.

También cuenta con un área de balanzas, una de recepción de muestras, una bodega de reactivos y una bodega de muestras, así como una más designada al archivo general, y por último, el área de controles.

Las actividades inician con la recepción de muestras: el cliente (ya sea interno o externo) entrega la muestra en el área indicada para esta actividad. El personal del laboratorio revisa que la muestra se encuentre en condiciones adecuadas. En el caso de muestras sólidas, que el sobre sea el adecuado y no se encuentre roto o maltratado. En el caso de muestras líquidas, que el recipiente se encuentre debidamente cerrado, no presente derrames y cuente con la identificación correcta. Una vez verificados estos puntos, se anota en los libros correspondientes y el personal encargado firma de recibido la orden de ensaye, tanto el que entrega las muestras como el que las recibe. [8]

Una vez recibida la muestra, es llevada al área de trabajo y registrada electrónicamente para el control de análisis. Al final de las pruebas realizadas, se entrega un reporte a la planta de beneficio, para informar sobre la calidad de los concentrados a embarcar y sobre la situación de cada concentrado en la celda de

flotación. Igualmente, se realiza otro informe para la unidad en general sobre la Ley que va resultando de mina. En cada caso en particular con las muestras especiales y de geología se dan los reportes y seguimientos en los departamentos mencionados anteriormente.

#### Área de análisis mediante la técnica **ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA**



Este método se utiliza para la determinación de Ag, Au, Pb, Cu, Zn, Fe, Bi, Sb y As. Es aplicable para muestras con altos y bajos contenidos de mineral (explicados en la Tabla 1).

*Figura 14. Fotografía tomada del equipo utilizado con muestras a analizar.*

El método se basa en la total disolución de la muestra a base de ácidos, para posteriormente solubilizar las sales con ácido clorhídrico y poder realizar la lectura en alguno de los 3 equipos de AA que se encuentran en el Laboratorio.

Los pasos a seguir para la preparación de muestras que serán estudiadas en esta técnica son los siguientes: <sup>[8]</sup>

1. En un matraz volumétrico de 200 ml se pesa 0.200g (+/-0.0005g) de muestra.
2. En la parrilla se le adicionan 3 ml de ácido perclórico + 3 ml de ácido nítrico.
3. Se deja calentar hasta sequedad y después se retira de la parrilla y se deja enfriar.
4. Una vez enfriado se agregan 20 ml de ácido clorhídrico + 20 ml de agua destilada.
5. Se deja hervir por 2 minutos y posteriormente se retira de la parrilla y se deja enfriar.
6. Se afora con agua destilada y se agita el matraz.
7. Se dejar sedimentar y se lleva la muestra al área de AA para su análisis.

Tabla 1. Valores de alto y bajo contenido de los distintos elementos.

Elemento	Alto Contenido	Bajo Contenido
Ag	7,000-15,000 g/Ton	18-30 g/Ton
Pb	10.5-15 %	0.02-0.05 %
Cu	13-15 %	0.06-0.09 %
Zn	10.5-14.0 %	0.017-0.025 %
Fe	7-15 %	3.5-5.0 %
Bi	4.5-7.0 µg/ml	1.0-1.30 µg/ml
Sb	0.25-0.30 µg/ml	0.14-0.19 µg/ml
As	5.0-8.0 µg/ml	3.5-4.0 µg/ml
Au	0.35-0.50 g/Ton	0.020-0.035 g/Ton

Como se puede observar en la tabla 1, los valores considerados altos o bajos dependen de cada elemento. Es importante mencionar que cuando el valor de algún elemento es mayor al límite de calibración se debe preparar una dilución.

### **Actividades realizadas en el laboratorio de Análisis Químicos**

#### **Cargo: Profesionalista en Desarrollo.**

Durante el primer recorrido por la Unidad Charcas, se conocen a detalle las áreas que la componen: Interior Mina, Departamento de Geología, Departamento de Mantenimiento Mecánico y Eléctrico, y Planta Beneficio.

Se dio una capacitación en todas las áreas del laboratorio, para observar el día a día. Esto implicaba desde clasificar y revisar las muestras que llegaban diariamente, hasta ejercer como suplente de los operadores en caso de alguna inasistencia; para posteriormente reportar los resultados y firmar como responsable.

En el área de ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA (EAA), se observó que, en el caso del Sb y Bi, los dos equipos que se manejan, presentaban una alteración al momento de llevar a cabo las lecturas de los concentrados de cobre y plomo. Fue así que trabajé en conjunto con el jefe del área, para realizar el proyecto titulado: Revisión del método en la determinación de Bi y Sb en concentrados de plomo y cobre mediante la técnica de ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA (EAA). Aplicación e Interpretación de procesos administrativos y normas ISO.

Las actividades dirigidas a la realización de dicho proyecto fueron:

### **1.- Capacitación en la preparación de muestras dirigidas al equipo de Absorción Atómica.**

En esta actividad se desarrollan los conocimientos aprendidos en los primeros semestres de la carrera, ya que se debía realizar de manera exacta el pesado de muestras de todos los concentrados (con su respectiva incertidumbre asociada a las balanzas), con la nomenclatura de los matraces utilizados. En el calentamiento de muestras en la parrilla, se debe conocer muy bien su funcionamiento; es por eso que se da una capacitación en el área de parrillas para que se disminuyan riesgos al trabajar ahí. De igual forma se estudia el área de reactivos, para conocerlos y saber su hoja de seguridad y lo que se debe realizar en caso de accidentes.

### **2.- Realización de modificaciones en la preparación de las muestras.**

Para la realización del proyecto se modificó la cantidad de ácidos utilizados, y la cantidad de muestra pesada, para realizar lecturas comparando éstas con las muestras preparadas de forma tradicional. De este modo, la experimentación que permitió la modificación, impulsó el análisis empírico como parte de mi investigación para el proyecto.

### **3.- Análisis de lecturas y sus variantes.**

Gracias a las variantes obtenidas, se presentó una propuesta de mejora en la preparación, cuyo propósito incluyó que el equipo responda de forma adecuada a las lecturas, y se observó que, con las nuevas modificaciones, existía un ahorro en el consumo de reactivos. Con esto se planteó un beneficio en potencia para la empresa.

*Tabla 2. Condiciones Iniciales.*

Concentrado	Cantidad de muestra	HClO <sub>3</sub>	HNO <sub>2</sub>	HCl	Bi (µg/ml)	Sb (µg/ml)	Costo por muestra	Costo Mensual	Costo Anual
L2001241	200 mg	3 ml	3 ml	20 ml	1.19	0.18	\$7.70	\$1,570.80	\$18,849.6
Pb Dic 2018	200 mg	3 ml	3 ml	20 ml	4.13	0.34	\$7.70	\$92.40	\$1,108.80
04-CH-13	200 mg	3 ml	3 ml	20 ml	1.15	0.27	\$7.70	\$92.40	\$1,108.80



Como se puede observar en la tabla 2, de manera inicial se pesan 200 mg de muestra (+/-0.0005g) y se adicionan 3ml de HClO<sub>3</sub> más 3ml de HNO<sub>2</sub> (+/-0.001ml) más 20ml de HCl (+/-0.001ml),

El concentrado L2001241 es el concentrado de Cobre utilizado para las muestras, y los otros dos Pb Dic 2018 y 04-CH-13 son concentrados de Plomo. Estos concentrados fueron proporcionados por el tutor, ya que son de los que se tienen registros y análisis de otros laboratorios, y de esta manera se pudo realizar una comparación con resultados confiables.

Se obtuvo el costo por muestra, que a su vez dio el costo mensual y anual de la preparación de muestras de estos concentrados con la cantidad que se analiza diariamente en el laboratorio. Esto se realizó con los costos de reactivos (ácidos, agua destilada etc.) proporcionada por los proveedores.

Se realizaron las siguientes modificaciones:

1. Cantidad de muestra constante (g) y reducción al 50% de los ml de ácidos utilizados.
2. Reducción de la cantidad de muestra al 50% (g) manteniendo los ml de ácidos constante
3. Reducción del 50% de la cantidad de muestra (g) y de los ml de ácidos.

Se hicieron alrededor de 25 pruebas por cada modificación, por concentrado. De las cuales se hizo un análisis de los datos y a continuación se presenta el promedio obtenido como resultados de cada modificación.

*Tabla 3. Resultados obtenidos en el concentrado de cobre.*

Concentrado L2001241	Cantidad	HClO <sub>4</sub>	HNO <sub>3</sub>	HCl	Bi (µg/ml)	Sb (µg/ml)	Costo por muestra	Costo Mensual	Costo Anual
	200 mg	1.5 ml	1.5 ml	10 ml	1.18	0.18	\$5.10	\$1,040.40	\$12,484.80
	100 mg	3 ml	3 ml	20 ml	1.18	0.18	\$6.40	\$1,305.60	\$15,667.20
	100 mg	1.5 ml	1.5 ml	10 ml	1.18	0.2	\$3.83	\$781.32	\$9,375.84

Como se puede observar en la tabla 3, en el primer renglón se llevó a cabo la primera modificación y los resultados obtenidos en la lectura de los elementos Bi y Sb es prácticamente igual que la lectura inicial, con una variación de 0.01µg/ml en el Bi. Lo mismo sucede en el segundo caso, en donde se presenta la segunda modificación; sin embargo, en el último renglón, el cual representa la tercera modificación, el valor del Sb se eleva 0.02µg/ml. Los resultados se compararon con estudios obtenidos del laboratorio metalúrgico de Nacozari. Los valores se muestran a continuación:

Tabla 4. Resultados obtenidos en el concentrado de cobre en Nacozari.

Bi (µg/ml)	Sb (µg/ml)
1.15	0.16

Analizando los resultados se puede observar que los valores obtenidos en el laboratorio de Nacozari son menores, en el caso del Bi 0.03 µg/ml menos y en el caso del Sb 0.02 µg/ml menos. En el laboratorio de unidad Charcas se maneja un marco de error permisible de máximo 0.05 µg/ml; en caso de que exista una diferencia en los valores mayor a esta, habrá que repetir la prueba.

Tabla 5. Resultados obtenidos en el primer concentrado de plomo Pb Dic 2018.

Pb Dic 2018	Cantidad	HClO <sub>4</sub>	HNO <sub>3</sub>	HCl	Bi (µg/ml)	Sb (µg/ml)	Costo por muestra	Costo Mensual	Costo Anual
	200 mg	1.5 ml	1.5 ml	10 ml	4.11	0.24	\$5.10	\$61.20	\$734.40
	100 mg	3 ml	3 ml	20 ml	4.01	0.24	\$6.40	\$76.80	\$921.60
	100 mg	1.5 ml	1.5 ml	10 ml	4.17	0.26	\$3.83	\$45.96	\$551.52

Como se puede observar en la tabla 5, en el caso del Sb todos los valores obtenidos con las modificaciones son menores al obtenido de manera inicial, esto casi con una variación del 0.1 µg/ml, mientras que en el caso del Bi se observa en la segunda modificación existe una diferencia de 0.12 µg/ml. Debido a que estas variaciones son significativas se repitió la prueba con las condiciones iniciales.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

*Tabla 6 . Resultados obtenidos en el concentrado Pb Dic 2018 condiciones iniciales.*

<b>Bi (µg/ml)</b>	<b>Sb (µg/ml)</b>
4.08	0.24

Los resultados obtenidos en la tabla 6 donde se repitieron las condiciones iniciales únicamente para corroborar los resultados obtenidos en la segunda modificación, se puede observar que existe una mayor similitud. En el caso del Sb se obtuvo un valor igual con las primeras dos modificaciones y la última con una variación de 0.02 µg/ml, con el Bi se observa que el valor más cercano es el obtenido con la primera modificación ya que la variación es de 0.03 µg/ml.

*Tabla 7. Resultados obtenidos en el segundo concentrado de plomo 04-CH-13.*

04-CH-13	Cantidad	HClO4	HNO3	HCl	Bi (µg/ml)	Sb (µg/ml)	Costo por muestra	Costo Mensual	Costo Anual
	200 mg	1.5 ml	1.5 ml	10 ml	1.15	0.28	\$5.10	\$61.20	\$734.40
	100 mg	3 ml	3 ml	20 ml	1.15	0.24	\$6.40	\$76.80	\$921.60
	100 mg	1.5 ml	1.5 ml	10 ml	1.21	0.27	\$3.83	\$45.96	\$551.52

En la tabla 7, se observa que en el caso del Bi las primeras dos modificaciones muestran un resultado igual al obtenido inicialmente, mientras que la última modificación presenta una diferencia de 0.06 µg/ml. El Sb en la segunda modificación muestra la mayor variación obtenida ya que es 0.03 µg/ml menor. Este concentrado fue comparado con un estudio que realizó la empresa Peñoles, que de forma obligatoria analiza dicho productos, para comparar con los resultados de la empresa y que estos no presenten variaciones significativas. Si existe mucha variación, es decir supera los 0.05 µg/ml, se debe contratar un tercer laboratorio para que realice el estudio ya que el valor de los concentrados depende de su calidad.

Tabla 8. Resultados obtenidos en el segundo concentrado de plomo 04-CH-13 en Peñoles.

Bi (µg/ml)	Sb (µg/ml)
1.18	0.25

Los resultados obtenidos en Peñoles muestran que el Bi es 0.03 µg/ml mayor y el Sb 0.02 µg/ml menor a los realizados en el laboratorio de unidad Charcas, por lo que no presenta ninguna variación significativa.

Tabla 9. Modificaciones a la Preparación de Muestras.

Concentrado	Cantidad	HClO <sub>3</sub>	HNO <sub>2</sub>	HCl	Ahorro Anual	Ahorro Anual %
L2001241	200 mg	1.5 ml	1.5 ml	10 ml	\$6,364.80	33.80%
Pb Dic 2018	200 mg	1.5 ml	1.5 ml	10 ml	\$374.40	33.80%
04-CH-13	100 mg	3 ml	3 ml	20 ml	\$187.20	16.90%

En la tabla 9 se presentan las modificaciones propuestas que se realizarían a la preparación de muestras de los concentrados, los valores obtenidos de las modificaciones trabajadas que se acercan más al valor que se obtiene de manera inicial fueron los que se tomaron en cuenta, así mismo se muestra el ahorro anual que esto va a provocar.

Cabe mencionar que estas modificaciones se trabajaron y se propusieron para estos concentrados en específico y poco a poco se empezaría a trabajar con los concentrados que se analizan diariamente.

### **Características del equipo utilizado.**

- Equipo de absorción atómica utilizado: Espectrofotómetro PinAAcle 900F.
- Longitud de onda Bi 223.1nm.
- Longitud de onda Sb 217.6nm.

### **4.- Capacitación en la Norma ISO 9001:2015**

Con la finalidad de certificar a los trabajadores en las labores que desarrollan y de cumplir con las acreditaciones de calidad que se realizan de manera anual con las auditorías, se llevó a cabo la capacitación en la Norma ISO 9001:2015.

Esto únicamente en los indicadores que rigen al laboratorio, los cuales son:

- Conocimiento y mantenimiento de las 5s
- Mantenimiento de equipos utilizados
- Eficiencia y Eficacia en el laboratorio.

En el anexo 1 se encuentra la parte del manual que se brinda con la norma ISO 9001:2015.

### **Actividades Post-Proyecto:**

Una vez concluido el proyecto, se presentó con el gerente de la unidad, quien lo aprobó para comenzar poco a poco y con los distintos concentrados que se analizan a modificar las condiciones mencionadas en la problemática presentada.

Mantener al personal capacitado es prioridad, ya que se llevaban a cabo de manera frecuente auditorías internas y externas de: seguridad, calidad, ambiente y cumplimiento de las 5S. (NOM-4001:2015).

**Requerimientos y acciones actuales y de mejora en el laboratorio de análisis químico de la unidad**

Los requerimientos del laboratorio se centraron principalmente en disminuir, de alguna manera, costos sin que se modificaran los resultados que se obtienen para el reporte de los embarques de plomo y cobre.

Las acciones que se llevaron a cabo fueron darle seguimiento al proyecto para verificar los métodos y analizar si era posible cumplir con los requerimientos solicitados.

Actualmente el laboratorio de ensayos sigue en constante mejora en cuanto al cumplimiento de normas y auditorías. Se siguen analizando posibles ahorros, pero en general se encuentra todo muy estable y se siguen realizando todas las actividades de la mejor manera.

## **Conclusiones**

- Se logró modificar la cantidad de ácidos utilizados en la preparación de muestras del concentrado de cobre, en un 50%, con el fin de obtener un ahorro anual del 33.08%, comprobando que los resultados obtenidos son igualmente precisos.
- En el caso de los concentrados de plomo se analizaron dos diferentes y se proponen modificaciones distintas para cada uno; sin embargo, se puede generalizar a cualquier concentrado de plomo que se modifique la cantidad de ácidos a la mitad para generar un ahorro estimado del 33.08%.
- El ahorro que se obtiene es considerable, ya que en cantidades aproximadas la empresa podría estar ahorrando al año de manera global más de \$7,000, lo que podría ser aprovechado para áreas de mejora en la unidad.
- Los empleados acostumbraron a su ritmo de trabajo esta modificación y la preparación se realizó en un menor tiempo, siendo esto muy valioso.
- La capacitación en la normativa se pudo ver día con día al momento de estar trabajando en el laboratorio, ya que se debía mantener el lugar limpio y analizando riesgos.

## **Referencias Bibliográficas**


- [1] Bazán, V., Orozco, I., Brandaleze, E., Ruarte, P. (2015). Eliminación de Arsénico de Concentrados de Cobre. Asociación Argentina de Materiales (pp.4-5). Revista SAM N3. Recuperado el día 15 de Mayo 2023, de [vol3-Revista-SAM-2015.pdf \(materiales-sam.org.ar\)](#)
- [2] Calderón, M. (2006). Minería y Metalurgia Ilustrada. México. 1a edición (pp. 147, 175-191).
- [3] Damm, G. (2015). Relaciones de fases y distribución de arsénico y antimonio durante el tratamiento de limpieza de mata de cobre compleja rica en impurezas mediante carburización a 1473 K. Tesis de maestría. Chile: Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería de Minas. (pp. 5-6).
- [4]Flaschka, H., Barnard, A., Sturrock, P. (1973). Química Analítica Cuantitativa. Continental. Volumen 2 (pp. 8-10).
- [5] García, I. (2018). Puesta en marcha de un equipo de absorción atómica con cámara de grafito para la determinación de V y Ni en productos derivados del petróleo. Tesis de licenciatura. España: Universidad del País Vasco. (pp 12-17).
- [6] Harris, D. (2007). Análisis Químico Cuantitativo. Barcelona: Reverté. 3a edición (pp. 494-496).
- [7] Mantell, C. (1980). Electrochemical Engineering. Nueva York: McGraw-Hill. (pp.182-188).
- [8] Manual ASARCO Mexicana S.A. de C.V
- [9] Martínez, P. (2017). Análisis Volumétrico de interés farmacéutico: Valoradores Automáticos. Tesis de Licenciatura. España: Universidad de Sevilla (p. 5).
- [10] Skoog, D., West, D., Holler, J. (1997). Fundamentos de Química Analítica. Barcelona: Reverté. 4a edición Recuperado el día 3 de Abril 2023, de [Fundamentos de química analítica - Google Books](#) (pp. 613-616).
- [11] Van Loon, T. (1980). Analytical Atomic Absorption Spectroscopy: Selected Methods. New York: Academic Press. Recuperado el día 29 de Marzo 2023, de [Analytical Atomic Absorption Spectroscopy - Google Books](#) (pp.6-21).



[12] Varma, Asha. Handbook of Atomic Absorption Analysis. Vol 1. CRC. (pp. 6-7).

## Anexos

Anexo 1 Distintas partes del manual de calidad que se utiliza en el laboratorio, teniendo de base la norma ISO 9001:2015.

<b>LABORATORIO DE ENSAYES DE IMMSA UNIDAD CHARCAS S.L.P.</b>					
<b>MANUAL DE GESTION DE CALIDAD</b>				DOCUMENTO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD.	
<b>Código:</b>	GCM-001	<b>Revisión:</b>	8	<b>-MANUAL-</b> Basado en la Norma ISO 9001:2015	
<b>Sección:</b>	N.A.Manual Integrado	<b>Vigente a partir de:</b>	MAYO 2021		

### 1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

El presente manual de gestión de calidad tiene por objetivo definir los requisitos a cumplir por parte del **LABORATORIO DE ENSAYES DE IMMSA UNIDAD CHARCAS S.L.P.** con el fin de:

- Demostrar su capacidad para proporcionar regularmente servicios que satisfagan los requisitos del cliente y los legales y reglamentarios.
- Aumentar la satisfacción del cliente a través de la aplicación eficaz del sistema, incluidos los procesos para la mejora del sistema y el aseguramiento de la conformidad con los requisitos del cliente y los legales y reglamentarios aplicables.

### 2 REFERENCIAS NORMATIVAS

La normativa de referencia usada para desarrollar este manual de gestión de la calidad ha sido:

- La Norma NMX-CC-9001-IMNC-2015 Sistemas de gestión de la calidad Requisitos.
- La Norma NMX-CC-9001-IMNC-2015 Sistemas de gestión de la calidad Fundamentos y Vocabulario.

### 3 TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Para los fines de este manual de gestión de la calidad, se aplican los términos y definiciones incluidos en la Norma ISO 9000:2015.

**EI LABORATORIO DE ENSAYES DE IMMSA UNIDAD CHARCAS S.L.P.** Realiza el seguimiento y medición de la información sobre estas partes interesadas y sus requisitos pertinentes

*El alcance del Sistema de Gestión de Calidad aplica al **LABORATORIO DE ENSAYES DE IMMSA UNIDAD CHARCAS S.L.P.**, en la prestación de servicio de Análisis Químico Metalúrgico de Productos y Subproductos Minerales de Galena, Calcopirita, Esfalerita y Pirita*

Los requisitos del apartado **8.3 Diseño y Desarrollo de los Productos y servicios** de la Norma no es aplicable en el alcance del sistema de gestión de calidad porque actualmente el Laboratorio no realiza esta actividad

**LABORATORIO DE ENSAYES IMMSA UNIDAD CHARCAS**  
Lista de Indicadores del Sistema de Gestión de la Calidad

Política de Calidad	Objetivo de Calidad	Indicador de Calidad	Proceso	Responsable	Meta	Frecuencia	Medición
<p>En el Laboratorio de Ensayes de IMMSA Unidad Charcas, S.L.P., estamos comprometidos a proporcionar servicio de análisis Químico Metalúrgico, con alto grado de confiabilidad de los productos y subproductos minerales de manera eficaz, mediante el trabajo en equipo de personal competente para mantener el liderazgo a través de la mejora continua de nuestros procesos, para cumplir con los requisitos de nuestros Clientes. Rev. 5</p>	<p>Satisfacer las necesidades de nuestros clientes tanto internos como externos. Rev.4</p>	Satisfacción del Cliente 40%	Prestación del Servicio	Jefe de Laboratorio	95% Min	Trimestral	Resultados de encuestas
		Clima Laboral 20%	Dirección / GC	Gestión de Calidad	85% Min	Dos al año	Resultado de encuestas
		Quejas Recibidas 40%	Gestión de Calidad	Gestión de Calidad	2% Max	Mensual	# quejas recibidas vs servicios realizados
	<p>Brindar Prioridad a la selección y capacitación del personal, asegurándonos que contribuya a la mejora de la calidad en nuestros procesos y servicios Rev.4</p>	Cumplimiento al Programa de Capacitación 80%	Gestión de Calidad	Gestión de Calidad	90% Min	Trimestral	Capacitación programada vs capacitación realizada
		Capacitación Efectiva 40%	Gestión de Calidad	Gestión de Calidad	90% Min	Trimestral	Capacitación realizada vs capacitación efectiva
	<p>Incrementar el nivel de Optimización en la Prestación del Servicio para asegurar un Crecimiento Sano y Continuo. Rev.4</p>	Cumplimiento de prestación de Servicio 70%	Prestación de Servicio	Jefe de Laboratorio	95% Min	Mensual	Servicios presupuestados vs servicios realizados
		Evaluación de Proveedores críticos 30%	Compras	Jefe de Laboratorio	85% Min.	cuatrimestre	Proveedores evaluados
	<p>Mantener el Sistema de Gestión de Calidad y propiciar la mejora continua. Rev.4</p>	Efectividad del S.G.C. 40%	Gestión de Calidad	Gestión de Calidad	90% Min	Dos al año	Resultado de Auditoría Interna al SGC
		Cumplimiento de implementación de 5's 20%	Gestión de Calidad	Gestión de Calidad	90% Min	Trimestral	Resultado de auditoría de 5's
		Proyectos de Mejora continua 40%	Dirección	Todos	1 Min	Semestral	# proyectos implementados
	<p>Mantener un alto nivel de calidad en nuestros procesos internos así como de los productos y servicios que recibimos de nuestros clientes Rev.4</p>	Cumplimiento en tiempos de entrega de resultados 40%	Análisis Químico	Jefe de Laboratorio	95% Min	Mensual	Entregas prog. Vs entregas a tiempo
		Cumplimiento al plan de ensaye. 30%	Análisis Químico	Jefe de Laboratorio	90% Min	Mensual	Cumplimiento al Plan de Ensaye
		Eficiencia de Análisis Prod. Minerales y Entrega de Resultados 10%	Análisis Químico	Jefe de Laboratorio	95% Min	Semanal	# hrs hombre vs # hrs reales
		Efectividad del Programa de ensaye 11%	Análisis Químico	Jefe de Laboratorio	95% Min	Semanal	Cumplimiento al Programa de Producción
		Cumplimiento al programa de Mto Preventivo 5%	Mto de Maq. Equ.; e Inst.	Jefe de Laboratorio	90% Min	Mensual	Cumplimiento al prog. De Mto Preventivo
		Tiempo de Paro 2%	Mto de Maq. Equ.; e Inst.	Jefe de Laboratorio	5% Max	Mensual	Tiempo de paro de maquinaria y equipo
		Ausentismo 1%	R.H.	Jefe de Laboratorio	5% Max	Mensual	# de faltas al mes
		Accidentes 1%	R.H.	Jefe de Laboratorio	0%	Mensual	# de accidentes