

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL  
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**Optimización de tiempo en la determinación de cobre por el  
método volumétrico, realizado en la Unidad Minera Las  
Bambas S.A.**

Informe de Experiencia Profesional para optar el título  
profesional de:

**Ingeniero Químico**

Presentado por:

**Bach. Alejandro Gutierrez Arango**

**Ayacucho - Perú**

**2024**

## **DEDICATORIA**

A las personas más valiosas de mi vida mi madre Teodosia Arango Pumacahua y a mis hermanas que me apoyaron durante mi formación profesional.

A los docentes de la universidad, les agradezco toda la voluntad y desprendimiento que pusieron en sus enseñanzas.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi alma mater Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga y profesores de la Escuela Profesional de Ingeniería Química, quienes formaron las bases necesarias de mi profesión, proporcionándome sus experiencias y conocimientos.

Agradezco a la empresa SGS del Perú SAC por darme la oportunidad de desempeñarme profesionalmente.

Agradezco al Ing. Paul Moya Gutiérrez y al Ing. Carlos Alberto Cañari Miranda por darme la oportunidad de formar parte del Laboratorio Químico y a todo el personal del laboratorio químico de las Bambas.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN .....	x
ABSTRACT .....	xi
INTRODUCCIÓN .....	xii
CAPÍTULO I GENERALIDADES DE LA EMPRESA.....	13
1.1. Razón Social: SGS del Perú S.A.C. ....	13
1.2. Ubicación del Laboratorio.....	13
1.3. SGS del Perú S.A.C.....	13
1.4. Misión .....	14
1.5. Visión .....	14
1.6. Organigrama.....	14
1.7. Descripción del Laboratorio Químico De Las Bambas S.A.....	16
1.7.1. <i>Ubicación</i> .....	16
1.8. Organigrama del Laboratorio Químico .....	17
CAPÍTULO II ACTIVIDADES DESARROLLAS EN EL LABORATORIO QUÍMICO LAS BAMBAS.....	19
2.1. Etapas de Procesamiento en Minera las Bambas .....	20
2.1.1. <i>Chancado Primario</i> .....	20
2.1.2. <i>Molienda</i> .....	21
2.1.3. <i>Flotación</i> .....	22
2.2. Muestras Puntuales Planta Cobre.....	25
2.2.1. <i>Muestreo en Planta Cobre</i> .....	25
2.2.2. <i>Punto de Muestreo</i> .....	25
2.2.3. <i>Cuarveedor Automático</i> .....	27
2.2.4. <i>Incremento</i> .....	28
2.2.5. <i>Preparación de Muestra</i> .....	28
2.2.6. <i>Equipos Utilizados en Preparación de Muestras</i> .....	28
2.2.7. <i>Etapas en la Preparación de Muestra</i> .....	30
2.2.8. <i>Método de Ensayo</i> .....	32
2.3. Muestras de Planta Filtro .....	32
2.3.1. <i>Etapas en la Preparación de Muestra de Planta Filtro</i> .....	32
2.4. Muestras de Control de Proceso .....	35
2.4.1. <i>Etapas en la Preparación de Muestras de Control de Procesos</i> .....	35

2.5.	Aseguramiento de Calidad en Preparación y Análisis .....	38
2.5.1.	<i>Prueba de Mallas</i> .....	38
2.6.	Pesado de Muestras Para Análisis.....	39
2.6.1.	<i>Condiciones Ambientales en el Área de Pesado de Muestras</i> .....	40
2.6.2.	<i>Etapas en Pesado de Muestras</i> .....	40
2.7.	Digestión de Muestras Para Absorción Atómica.....	40
2.7.1.	<i>Etapas en la Digestión de Muestras</i> .....	41
2.8.	Lectura por Absorción Atómica .....	41
2.8.1.	<i>Condiciones ambientales</i> .....	42
2.8.2.	<i>Presión de Gases y Aire</i> .....	42
2.9.	Procedimiento de Lectura. ....	42
2.9.1.	<i>Encendido e ingreso al software</i> .....	42
2.9.1.	<i>Verificación de Operatividad del Equipo de Absorción Atómica</i> .....	44
2.9.2.	<i>Lectura de Muestras por Absorción Atómica</i> .....	47
CAPÍTULO III MÉTODO DE ANÁLISIS PARA DETERMINAR COBRE.....		49
3.1.	Principio .....	50
3.2.	Equipos.....	51
3.3.	Materiales .....	51
3.4.	Reactivos .....	51
3.5.	Preparación de reactivo .....	51
3.6.	Procedimiento de análisis .....	52
3.6.1.	<i>Método 1</i> .....	52
3.6.2.	<i>Método 2</i> .....	54
3.7.	Estandarización con cobre metálico .....	56
3.8.	Validación de Datos .....	57
3.9.	Validación de Método de Ensayo .....	58
3.10.	Parámetros a Validar .....	58
3.10.1.	<i>Selectividad</i> .....	58
3.10.2.	<i>Intervalo de trabajo</i> .....	59
3.10.3.	<i>Sensibilidad</i> .....	59
3.10.4.	<i>Veracidad</i> .....	59
3.10.5.	<i>Precisión</i> .....	59
3.10.6.	<i>La exactitud</i> .....	60
3.10.7.	<i>Límite de detección</i> .....	60
3.10.8.	<i>Límite de Cuantificación</i> .....	60
3.10.9.	<i>Incertidumbre</i> .....	60

3.11.	Hipótesis estadística .....	60
CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS .....		61
4.1.	Recopilación de Datos .....	61
4.2.	Evaluación de Datos Atípicos.....	62
4.2.1.	<i>Prueba de Normalidad: test de Anderson Darling</i> .....	62
4.2.2.	<i>Prueba de Datos Atípicos: Test de Grubbs</i> .....	64
4.3.	Evaluación de la Veracidad.....	66
4.3.1.	<i>Prueba de Significancia de t-Student vs t-Crítico</i> .....	66
4.3.2.	t-Student de una Muestra Usando Software Minitab. ....	68
4.4.	Determinación de la Precisión.....	69
4.5.	Contraste t Para Datos Emparejados.....	71
4.5.1.	<i>Prueba de Normalidad de Anderson Darling Para Diferencia Entre los Métodos 1 y 2</i> 72	
4.5.2.	<i>Contraste t Para Datos Emparejados Usando Minitab</i> .....	73
CONCLUSIONES .....		75
RECOMENDACIONES .....		76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		77
ANEXOS .....		84

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Aseguramiento de la calidad en determinación de cobre por volumetría .....	38
Tabla 2 Criterio de aseguramiento de la calidad en absorción atómica .....	39
Tabla 3 Tabla de indicadores de objetivo .....	50
Tabla 4 Datos de las pruebas de ensayo de cobre metálico.....	61
Tabla 5 Datos de las pruebas de ensayo de los materiales de referencia interno. ....	62
Tabla 6 Toma de decisión de p-valor, para el tipo de distribución .....	62
Tabla 7 Resumen de valores obtenidos para los materiales de referencia interno .....	63
Tabla 8 Escrutinio de datos atípicos.....	65
Tabla 9 Decisión de tipo de prueba a emplear .....	66
Tabla 10 Resumen de valores de materiales de referencia .....	67
Tabla 11 Criterio de aceptación de la hipótesis .....	71
Tabla 12 Datos del cobre metálico para el ensayo del método 2.....	71
Tabla 13 Recopilación de datos de muestras de ensayo por el método 2 .....	72
Tabla 14 Comparación de muestras trabajadas con el método 1 y método 2.....	72
Tabla 15 Tiempo de proceso en análisis volumétrico de cobre.....	74
Tabla 16 Valores críticos de G ( $p=0,05$ ) para contraste de dos colas.....	78
Tabla 17 La distribución t .....	78

## INDICE DE FIGURA

Figura 1 Diagrama de los servicios referencia manual de calidad. ....	15
Figura 2 Organigrama de la empresa SGS del Perú S.A.C .....	15
Figura 3 Vista satelital de la Unidad Minera Las Bambas S.A. ....	16
Figura 4 Vista satelital de la planta concentradora de la Unidad Minera Las Bambas S.A.....	17
Figura 5 Vista frontal planta flotación de cobre.....	17
Figura 6 Organigrama de personal de SGS del Perú SAC en la Unidad Minera.....	18
Figura 7 Chancadora cónica .....	20
Figura 8 Molinos SAG provisto de un trommel .....	21
Figura 9 Diagrama de flujo de área de molienda .....	22
Figura 10 Celda de flotación.....	23
Figura 11 Diagrama de flujo del área de molienda y flotación .....	24
Figura 12 SamStat-30 estaciones representativas de muestreo cabeza .....	25
Figura 13 Serie de nido de ciclones de concentrado Rougher y concentrado Scavenger .....	26
Figura 14 SamStat-30 estaciones representativas de muestreo bulk .....	26
Figura 15 Analizador de XRF de lodos de flujo multiple MSA – 330, relave .....	27
Figura 16 Analizador de XRF de lodos de flujo multiple MSA – 330 .....	27
Figura 17 Filtro prensa .....	38
Figura 18 Pulverizadora .....	29
Figura 19 Horno de secado .....	29
Figura 20 Etapas de preparación de muestra.....	31
Figura 21 Preparación para toma de incrementos.....	33
Figura 22 Preparación para toma de incrementos.....	33
Figura 23 Etapas para determinar porcentaje de humedad.....	34
Figura 24 Etapas para determinar porcentaje de sólidos.....	37
Figura 25 Icono del software spectraa.....	43
Figura 26 Ventana cargar hoja de trabajo .....	43
Figura 27 Spectraa con plantilla de hoja de trabajo existente.....	44
Figura 28 Icono para encender la lámpara de cátodo hueco .....	44
Figura 29 Barra de energía de la lámpara de cátodo hueco .....	45
Figura 30 Torreta donde van las lámparas de cátodo hueco .....	45
Figura 31 Tarjeta de alineación .....	46
Figura 32 Señal de la transmitancia .....	46
Figura 33 Señal de la absorbancia.....	47



Figura 34 Imagen de plantilla de lectura.....	48
Figura 35 Digestión con ácido clorhídrico.....	52
Figura 36 Digestión con ácido nítrico y ácido perclórico .....	53
Figura 37 Digestión con ácido sulfúrico .....	53
Figura 38 Reducción de volumen de agua .....	53
Figura 39 Etapa de acondicionamiento .....	54
<i>Figura 40 Etapa de titulación.....</i>	<i>54</i>
Figura 41 Etapas de en la determinación de cobre por volumetría (método 2) .....	55
Figura 42 Diagrama de flujo del proceso de análisis de cobre por volumetría. ....	57
Figura 43 Proceso de validación de método de ensayo .....	58
Figura 44 Diagrama de evaluación de la veracidad.....	63
Figura 45 Gráfica de probabilidad de porcentaje de cobre MRI CONCCU02.....	64
Figura 46 Gráfica de probabilidad de porcentaje de MRI CONCCU03 .....	64
Figura 47 T de muestra porcentaje de cobre CONCCU02.....	68
Figura 48 T de muestra porcentaje de cobre CONCCU03.....	68
Figura 49 Probabilidad de diferencia de porcentaje entre el metodo 1 y metodo 2 .....	73
Figura 50 T student de la diferencia entre método 1 y método 2 .....	74
Figura 51 Constancia de prueba .....	79

## RESUMEN

Los métodos analíticos implantados para la determinación de cobre en muestras de concentrado en la mayoría de los laboratorios vinculados a la metalurgia, usan generalmente el método por digestión consecutiva de ácidos para posteriormente llevar a lectura por absorción atómica, debido a que el método volumétrico requiere más tiempo para su cuantificación, en ese sentido se toma como objetivo principal optimizar el método volumétrico en referencia al método clásico trabajado en la empresa Minera las Bambas S.A en la determinación de cobre en muestras concentradas. Se aplica un estudio experimental con técnicas de recolección de datos como clasificación, codificación y registro teniendo como población 300 gramos de concentrado de cobre (muestra que llega del proceso de flotación) del cual se usa 0,5 gramos del concentrado para el proceso volumétrico. Esto nos dio como resultado la optimización del método volumétrico llegando a tener una mejora en tiempo de proceso, entrega de resultados y se logró disminuir el uso de reactivos.

## **ABSTRACT**

The analytical methods implemented for the determination of copper in concentrate samples in most laboratories linked to metallurgy, they generally use the method by consecutive digestion of acids and then take them to the reading by atomic absorption. Because the volumetric method requires more time to quantify, in this sense, the main objective is to optimize the volumetric method in reference to the classic method worked in the company Minera las Bambas S.A. in the determination of copper in concentrated samples. An experimental study is applied with data collection techniques such as classification, coding and recording, with 300 grams of copper concentrate as a population (sample coming from the flotation process) of which 0.5 grams of the concentrate is used for the volumetric process. This resulted in the optimization of the volumetric method, resulting in an improvement in process time, delivery of results and the use of reagents.

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día los métodos analíticos implantados para la determinación de cobre en muestras de concentrado del mismo, y en la mayoría de los laboratorios vinculados a la geología, minería y metalurgia, usan la técnica de digestión estándar, de tres o cuatro ácidos para ser leídos por espectroscopia de absorción atómica. Pero también se cuenta con otros métodos, como es la volumetría. Para la implementación de este método en un laboratorio primero debe validarse para demostrar que el método es adecuado para una determinada matriz y dentro de un rango establecido, la validación de métodos analíticos proporciona una confiabilidad y certeza sobre la calidad del método y de los resultados obtenidos.

Teniendo en cuenta esta premisa se ha investigado el método volumétrico llegando a optimizar ya que, en los laboratorios de planta, el reporte y la entrega de resultados lo requieren en el menor tiempo

## CAPÍTULO I

### GENERALIDADES DE LA EMPRESA

#### 1.1. Razón Social: SGS del Perú S.A.C.

Forma jurídica: Sociedad anónima cerrada

Ruc: 20100114349

Campo de actividad: Servicios

Sector: Minería

Página web: <https://www.sgs.com/es-pe>

Sede Fiscal: Av. Elmer Faucett urb. industrial Bocanegra N°. 3348 - Provincia Constitucional del Callao.

Jefe inmediato: Omar Vásquez Villaroel, jefe técnico de laboratorios de mina  
Omar.Vasquez@sgs.com

#### 1.2. Ubicación del Laboratorio

La empresa SGS Del Perú SAC, se encuentra ubicada en Av. Elmer Faucett urb. industrial Bocanegra N°. 3348, Provincia Constitucional del Callao.

#### 1.3. SGS del Perú S.A.C

- SGS es una empresa líder en inspección, verificación, análisis y certificación. Se considera un referente mundial líder en calidad e integridad con más de 97001

empleados y una red de más de 2.600 oficinas y laboratorios en todo el mundo. Los servicios básicos se pueden dividir en cuatro categorías amplias:

- Inspección: Una cartera completa de servicios de inspección y verificación líderes a nivel mundial, como la verificación de la condición y el peso de los productos vendidos, ayudan a controlar la cantidad y la calidad, así como a garantizar el cumplimiento de los requisitos legales en diferentes regiones y mercados.
- Ensayos: Cuenta con una red global de instalaciones de prueba dotadas de personal experimentado, lo que nos permite reducir el riesgo, acortar el tiempo de comercialización y probar la calidad, la seguridad y el rendimiento del producto con respecto a los estándares de salud, seguridad y protección aplicables.
- Certificación: La certificación ayuda a demostrar que los productos, procesos, sistemas o servicios cumplen con estándares y regulaciones nacionales o internacionales o estándares definidos por el cliente.
- Verificación: Asegurar de que los productos y servicios cumplan con los estándares globales y las regulaciones locales. SGS combina cobertura global con experiencia local y experiencia y conocimientos inigualables en prácticamente todas las industrias, abarcando toda la cadena de suministro, desde las materias primas hasta el uso final.

#### **1.4. Misión**

Ofrecer servicios que promuevan el desarrollo sostenible. Para nosotros la sostenibilidad se basa en gestionar un negocio rentable a largo plazo tomando en consideración todos los efectos medioambientales, sociales y económicos, positivos y negativos.

#### **1.5. Visión**

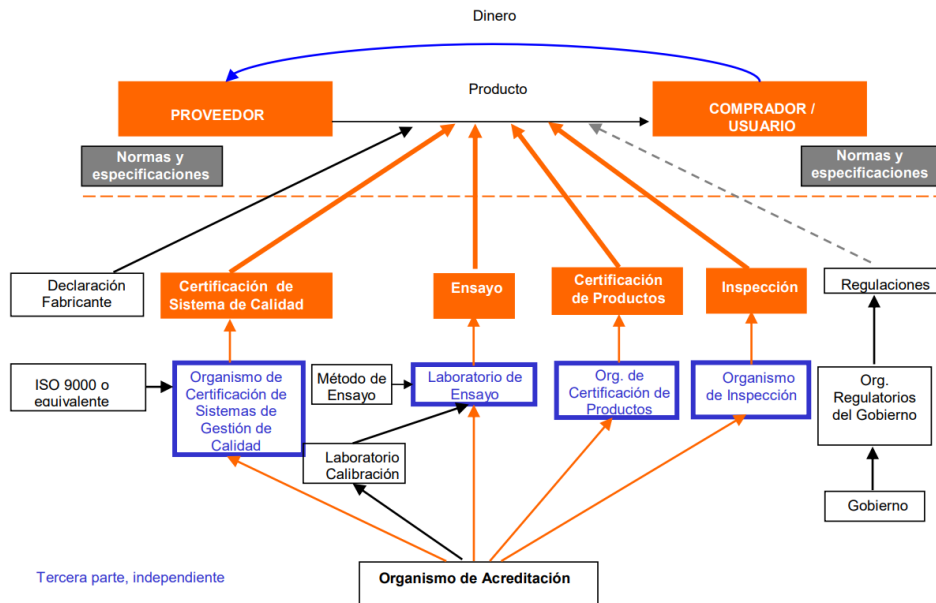
Constituirnos en la principal empresa de referencia técnica especializada del sector minero del mercado, manteniéndonos a la vanguardia del avance tecnológico y digital, diversificando servicio personalizado de calidad superior.

#### **1.6. Organigrama**

En la figura 1 se muestra el diagrama de los servicios que brinda la empresa SGS del Perú SAC.

**Figura 1**

*Diagrama de los servicios referencia manual de calidad*

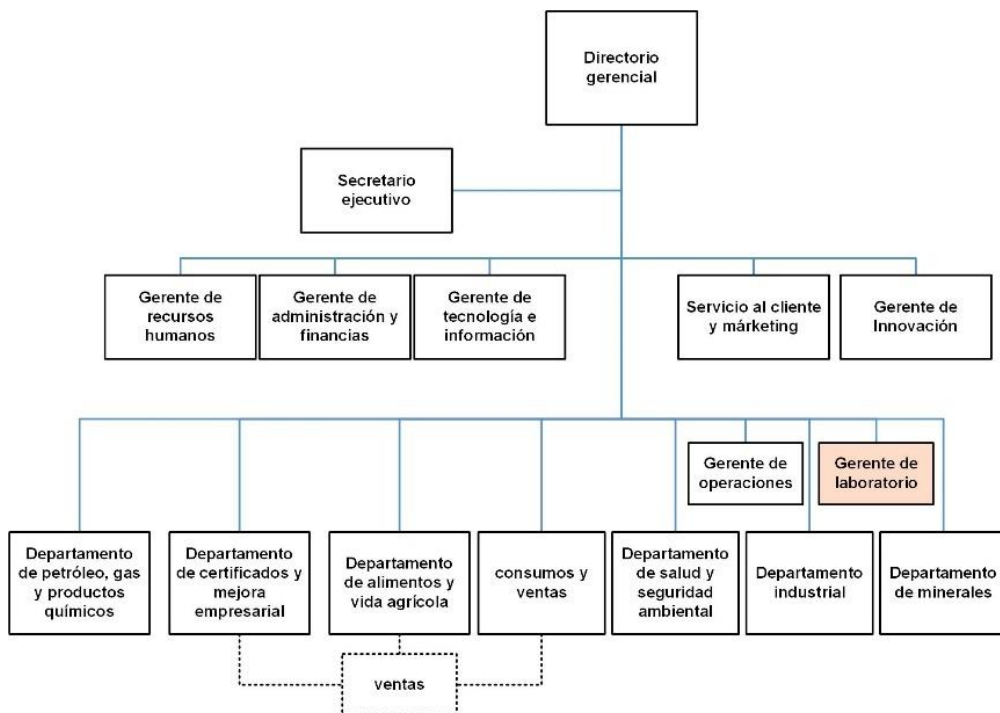


Nota. SGS del Perú S.A.C.

En la figura 2 se muestra los distintos departamentos administrativos que cuenta la empresa SGS.

**Figura 2**

Organigrama de la empresa SGS del Perú S.A.C



Nota. SGS del Perú S.A.C.

## 1.7. Descripción del Laboratorio Químico De Las Bambas S.A.

### 1.7.1. Ubicación

La Unidad Minera Las Bambas S.A. (Unidad Minera Minerals and Metals Group, MMG Ltd) se ubica entre los distritos de Challhuahuacho, Tambobamba y Coyllurqui, provincia de Cotabambas, y el distrito de Progreso de la provincia de Grau, en el departamento de Apurímac, a una altitud que varía entre los 3800 y 4600 m.s.n.m. Se ubica aproximadamente a 75 kilómetros al suroeste del Cusco.

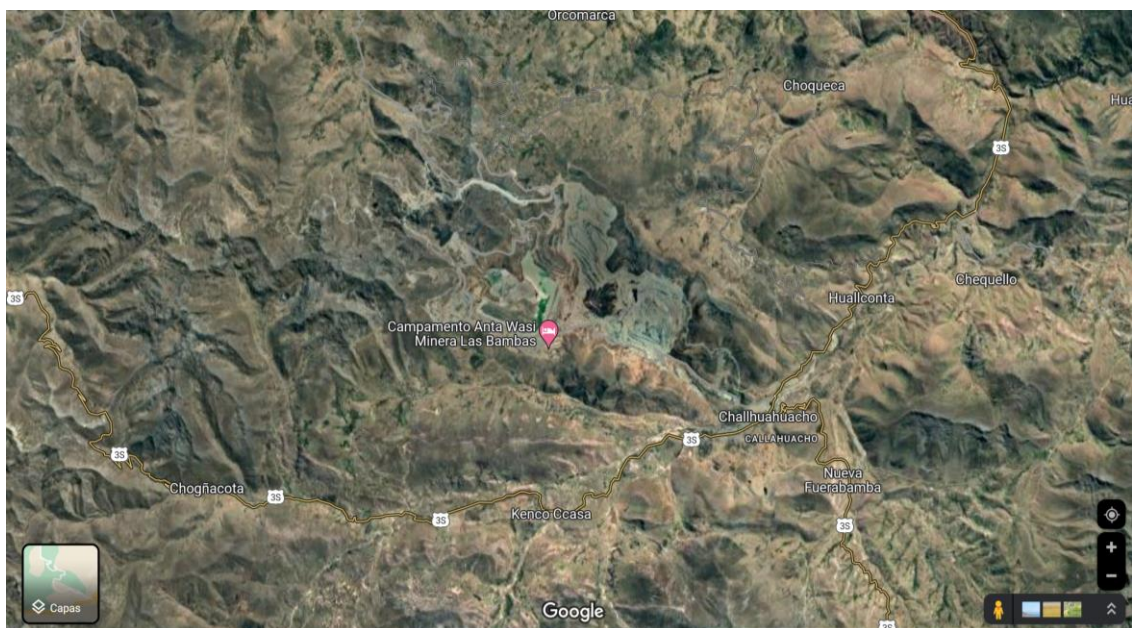
El yacimiento Ferrobamba está siendo explotada actualmente cuenta con operaciones mineras aun sin explotar que son, los yacimientos Chalcobamba y Sulfobamba. La capacidad de la planta es de 140.000 toneladas por día (t/d) y produce productos concentrados de cobre (Cu) y molibdeno (Mo).

“Durante el 2022, la producción superó las 232540 TMF de cobre, y de 3134 TMF de molibdeno” Fuente: Adaptado de "Anexo 2. Producción minera metálica según empresa", Boletín estadístico minero a noviembre 2022, Ministerio de Energía y Minas (MINEM, 2022).

En la figura 3 se aprecia la ubicación geográfica de la mina las Bambas S.A.

### Figura 3

*Vista satelital de la Unidad Minera Las Bambas S.A.*



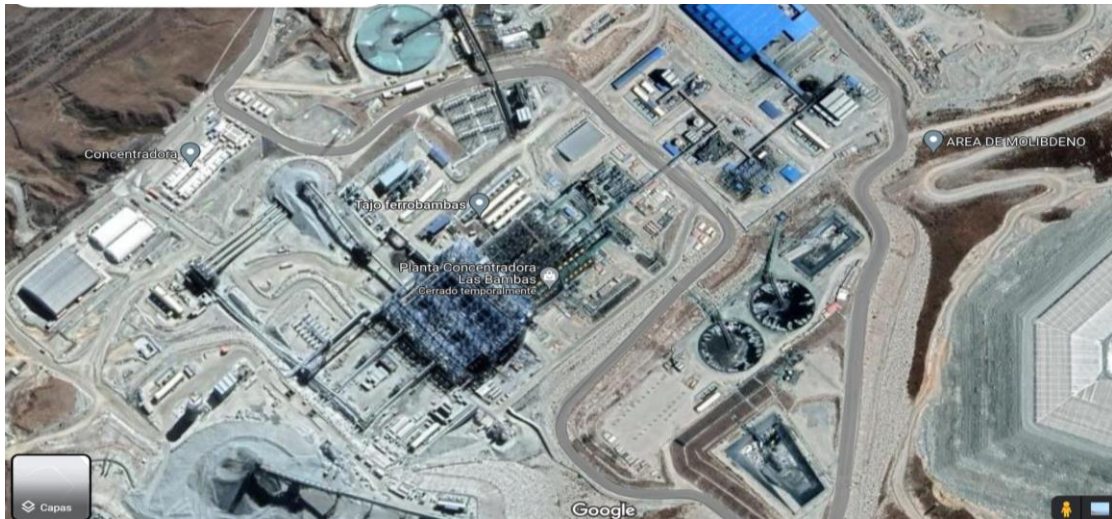
*Nota.* Google Maps

En la figura 4 se muestra la vista satelital de la planta concentradora.



#### Figura 4

Vista satelital de la planta concentradora de la Unidad Minera Las Bambas S.A.



Nota. Google Maps

En la figura 5 se muestra la vista frontal de la planta de flotación de cobre.

#### Figura 5

Vista frontal planta flotación de cobre



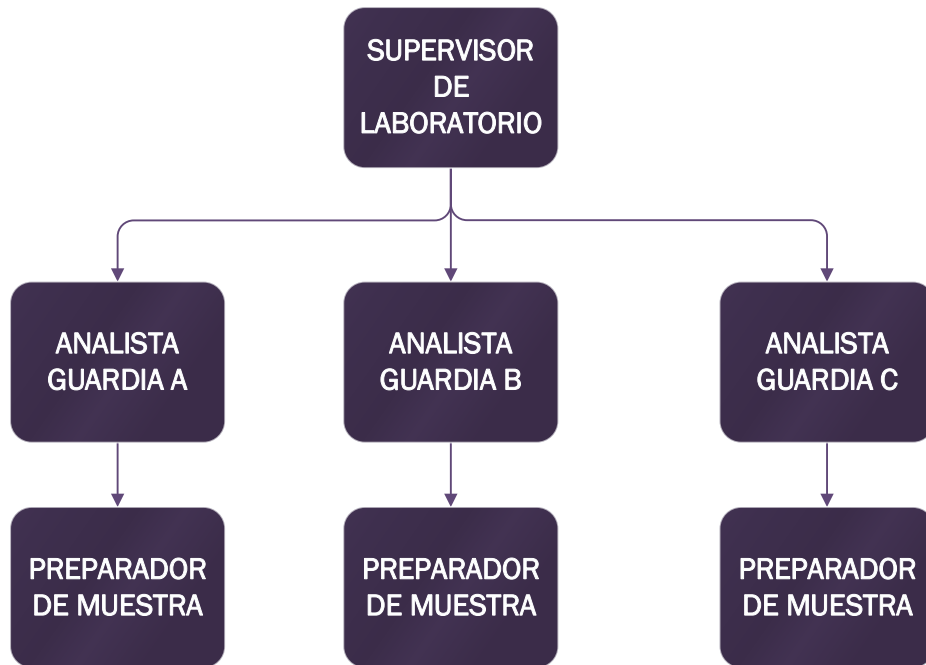
Nota. Unidad Minera las Bambas S.A.

### 1.8. Organigrama del Laboratorio Químico

En la figura 6 se puede observar la relación del personal de SGS del Perú SAC.

**Figura 6**

*Organigrama de personal de SGS del Perú SAC en la Unidad Minera Las Bambas S.A.*



*Nota: SGS del Perú S.A.C.*

## **CAPÍTULO II**

### **ACTIVIDADES DESARROLLAS EN EL LABORATORIO QUÍMICO LAS BAMBAS**

La experiencia profesional que realicé es de analista químico en el laboratorio químico, por parte de la empresa SGS del Perú S.A.C. en lo cual describo las actividades realizadas en ella.

El diagnóstico funcional del área de concentrados de cobre y preparación de muestra, en el área de preparación de muestra se preparan las muestras que posteriormente serán analizadas, es considerada una etapa crítica dentro del análisis químico de una muestra debido a que tiene las actividades como: filtrado, secado, homogenizado y pulverización de muestra.

El área de concentrado de cobre es el área donde se realiza el pesado, Pesar es el acto de recolectar una cierta cantidad de muestra para su análisis. La digestión es un proceso en el que se descompone la muestra en sus componentes individuales mediante la adición de reactivos químicos. La titulación es el proceso de determinar la cantidad de cobre en una muestra midiendo la cantidad de reactivo que reacciona con el cobre en la muestra.

El área de concentrados es fundamental debido a que es donde se realizan los análisis para determinar las leyes de los analitos de interés en la muestra. La entrega resultados oportunos a los responsables de la planta de flotación para el control de calidad y optimización de sus procesos.

El método volumétrico empleado en la empresa es un proceso que toma mucho tiempo. Por lo cual se realiza el análisis de muestras de concentrado de cobre por el método de digestión ácida y lectura por absorción atómica.

Las muestras puntuales se realizan por método de digestión ácida y lectura por absorción atómica reportándose valores referenciales para el concentrado de cobre

debido a que se usa una masa no tan representativa (0,1000 g / 200 mL) se cuenta con una metodología para analizar cobre en concentrado por volumetría, pero requiere un tiempo aproximado de 4 horas con 20 minutos

## **2.1. Etapas de Procesamiento en Minera las Bambas**

Las Bambas está diseñado para manejar un promedio de 140 000 toneladas de mineral por día. Los concentrados de cobre y molibdeno tienen las siguientes etapas.

### **2.1.1. Chancado Primario**

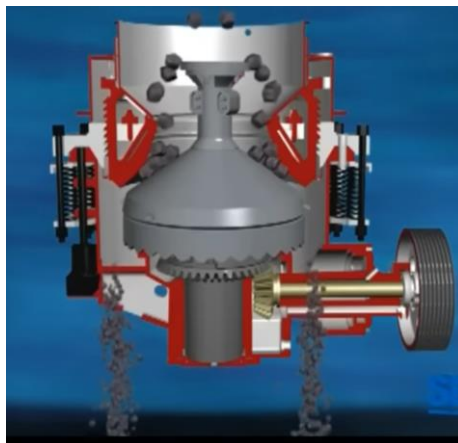
La conminución o reducción de tamaño de un material, es una etapa importante y normalmente la primera en el procesamiento de minerales. Cuando un mineral se extrae de una mina, este presenta diferentes tamaños, que van desde varios metros hasta micrómetros de diámetro, por lo que es necesario reducir el tamaño, la chancadora primaria es de dimensiones 1524 x 2 870 mm (60" x 113") cada uno con una capacidad de tratamiento desde 4167 a 7500 t/h, dependiendo de las características del mineral y la abertura del chancador los objetivos de la conminución son:

- Producir partículas de menor tamaño para su utilización directa.
- separar los materiales valiosos de los residuos para que puedan concentrarse.
- Aumentar la superficie disponible para reacciones químicas.

En la figura 7 se muestra una figura de una chancadora cónica.

### **Figura 7**

*Chancadora cónica*



*Nota.* Unidad Minera Las Bambas S.A.

### **2.1.2. Molienda**

Una vez que las muestras del chancado primario llegan a la pila de almacenamiento, estas pasan a una siguiente etapa de reducción de tamaño para lo cual se usa una molienda SAG (semiautógenos) de dimensiones 12,19 m de diámetro por 6,70 m de largo obteniendo un producto de 7 mm a 240  $\mu\text{m}$ , estos molinos se denominan semiautógenos porque para moler el mineral se emplea bolas de acero y el mismo mineral que al girar y caer muelen el mineral. La muestra que sale de los molinos SAG pasan por una etapa de clasificación de trómel y una zaranda vibratoria, Los sobre tamaños de la zaranda pasan a un almacenamiento de pebbles que posteriormente serán chancados y devueltos mediante una faja hacia los molinos SAG cerrando el circuito.

Los bajos tamaños de la zaranda pasan a una siguiente etapa de clasificación que está compuesta por nido de ciclones en el cual se obtiene overflow de 1,585 t/h de pulpa (con un 38 % de sólidos) y, underflow de 4,755 t/h de pulpa (con un 74 % de sólidos) el underflow es alimentado hacia el molino de bolas de tamaño de 26 pies de diámetro por 40 pies de largo, la pulpa se vacía de los molinos de bolas en el tanque del cual se bombea hacia el nido de ciclones forma un circuito cerrado invertido, finalmente el overflow de cada nido de ciclones es alimentado al proceso de flotación con un tamaño de 240  $\mu\text{m}$  con un porcentaje de sólido de sólido de 38 %.

En la figura 8 se muestra un molino SAG.

#### **Figura 8**

*Molinos SAG provisto de un trommel*

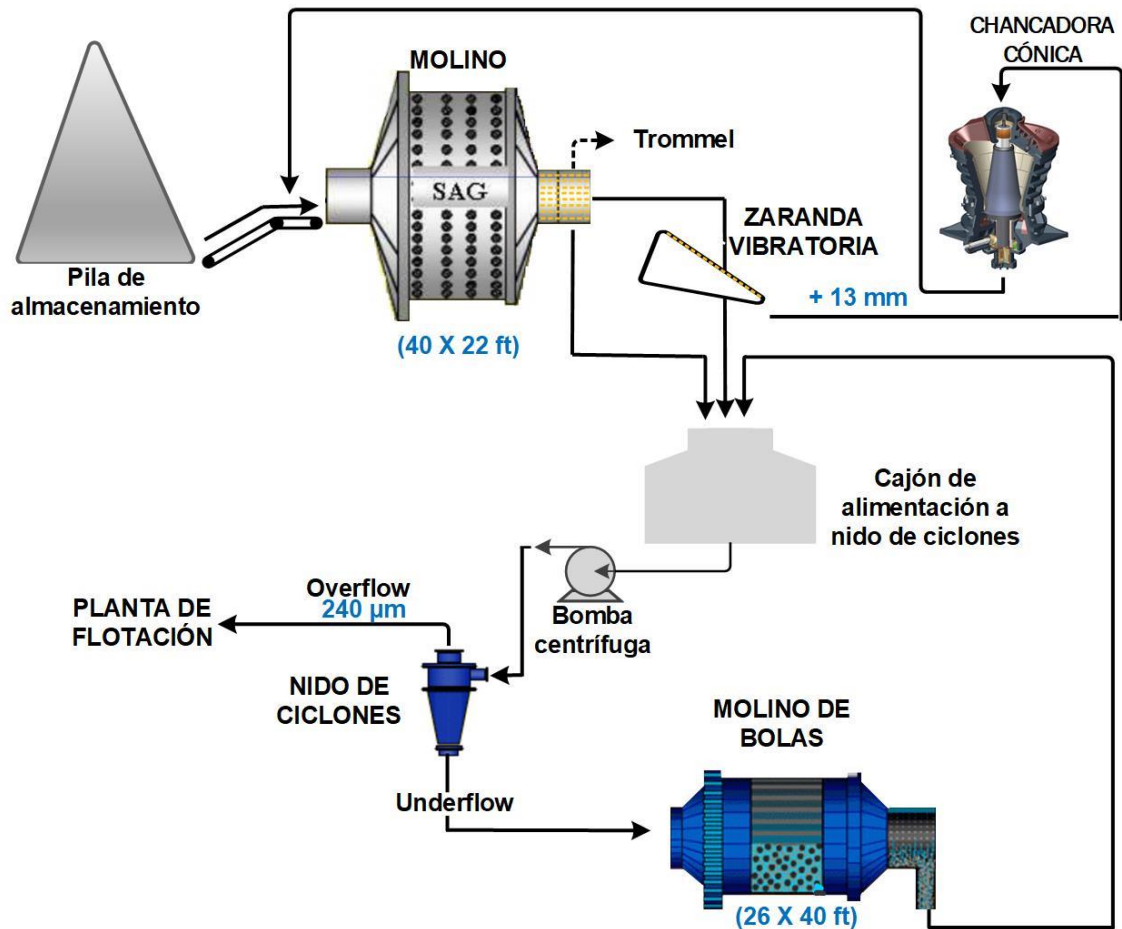


*Nota.* Unidad Minera Las Bambas S.A.

En la figura 9 se muestra un diagrama simple del circuito de molienda en el cual se muestra el molino de SAG, molino de bolas, la chancadora cónica, la zaranda vibratoria y el clasificador de nido de ciclones.

**Figura 9**

*Diagrama de flujo de área de molienda*



*Nota.* Unidad Minera Las Bambas S.A.

### **2.1.3. Flotación**

El proceso de flotación de espuma puede describirse como un proceso hidrometalúrgico extractivo basado en fenómenos físicos y químicos en la superficie de mineral sólido, donde se explota la hidrofobicidad del mineral, El mineral se muele finamente hasta el punto en que las valiosas partículas minerales se liberan en medio acuático. (agua + mineral = pulpa), en presencia de insumos (espumantes, modificadores, colectores, etc.) se genera o aumenta la hidrofobización y el contacto entre partículas y burbujas (gas) separa minerales valiosos sobre la espuma en los tanques de flotación.

En la figura 10 se muestra una celda de flotación donde se realiza la separación del mineral valioso de la ganga.

### Figura 10

*Celda de flotación*



*Nota.* Unidad Minera Las Bambas S.A.

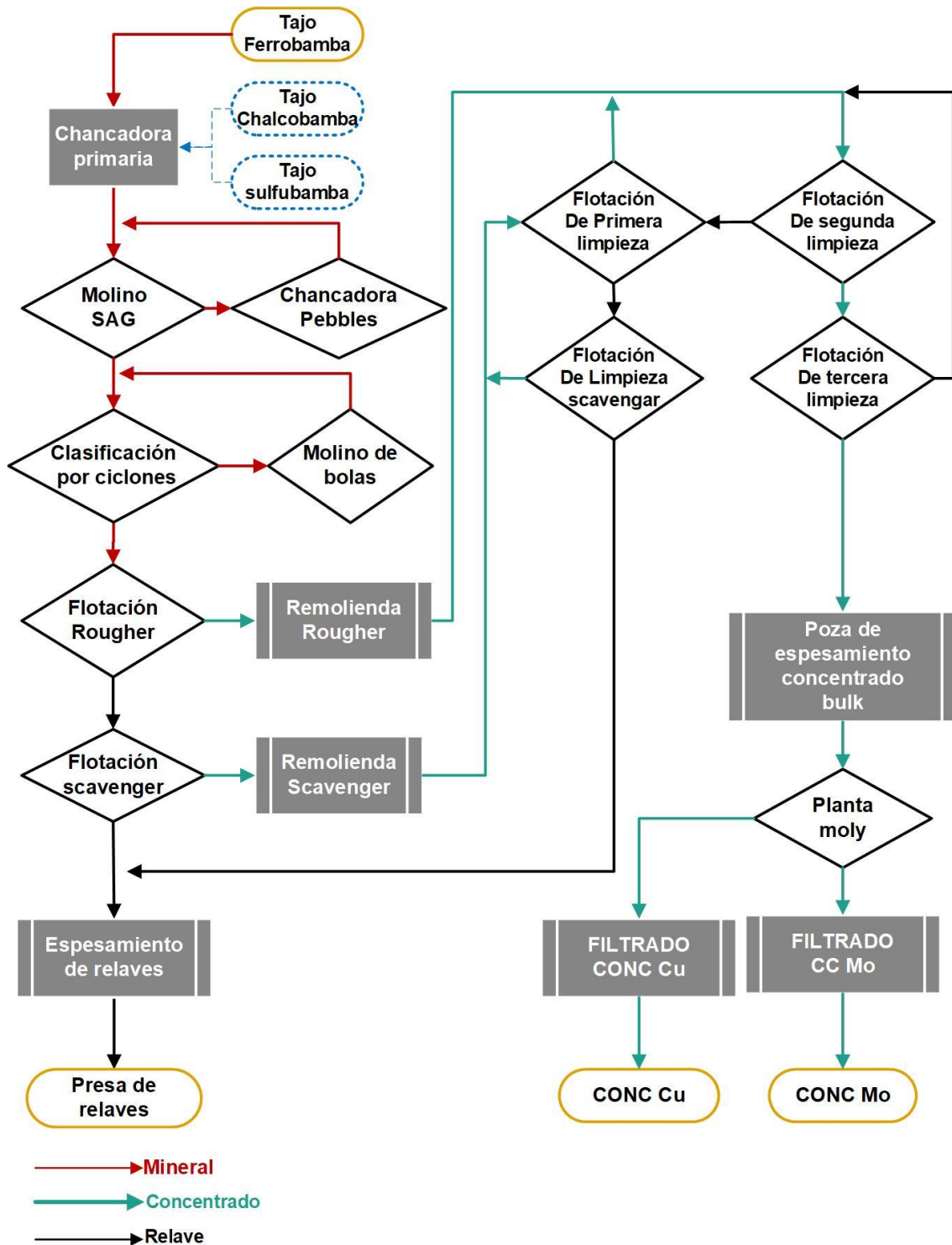
Los Tipos de Flotación son:

- **Flotación Bulk o Colectiva.** Proceso en la que se logra obtener un concentrado de todo el mineral valioso el cual se encontraba en la mena y una cola con el material que es la ganga.
- **Flotación Selectiva o Diferencial.** Gracias a la acción selectiva del reactivo, es posible obtener concentrados de un mineral valioso (es decir, concentraciones más altas).

En la figura 11 se puede observar el diagrama de flujo del área de molienda y flotación.

Figura 11

Diagrama de flujo del área de molienda y flotación



Nota: (Xstrata Tintaya S.A.- Las Bambas S.A.)



## 2.2. Muestras Puntuales Planta Cobre

Son aquellas muestras en pulpa que se van recolectando por muestreadores automáticos dentro del circuito de flotación, para ser llevados al laboratorio químico para su respectivo análisis y determinar la concentración de los distintos analitos.

### 2.2.1. Muestreo en Planta Cobre

El muestreo de mineral en planta de concentrados se debe realizar siguiendo al máximo detalle lo descrito en el instructivo para así garantizar la menor variabilidad de los resultados del laboratorio químico con el objetivo de obtener una muestra homogénea y representativa que garantice ensayos reproducibles

### 2.2.2. Punto de Muestreo

Estación dentro de la Planta de Concentrado en el cual se realiza el muestreo o toma de muestra de manera manual o automática. Se toman incrementos durante un espacio de tiempo de 4 horas (6 am a 10 am, 10 am a 2 pm, 2 pm a 6 pm) correspondiente al turno día y de (6 pm a 10 pm, 10 pm a 2 am, 2 am a 6 am) correspondiente a turno noche para luego ser procesado en el laboratorio para su respectivo análisis.

Los puntos de muestreo son:

- **Muestreo de mineral en alimentación cabeza 1 y cabeza 2**

La figura 12 en la cual se muestra una estación de muestreo de alimentación (cabeza).

### Figura 12

*SamStat-30 estaciones representativas de muestreo en cabeza*



*Nota.* Unidad Minera Las Bambas S.A.

- **Muestreo en nido de ciclones de concentrado Rougher y concentrado Scavenger**

En la figura 13 se muestra nido de ciclones el cual cumple la función de clasificar la pulpa en overflow y underflow el cual será enviado a un molino de remolienda modelo (M3000 Isamil<sup>TH</sup>).

**Figura 13**

*Serie de nido de ciclones de concentrado Rougher y concentrado Scavenger*



*Nota.* Unidad Minera Las Bambas S.A.

- **Muestreo de concentrado bulk**

La figura 14 se muestra el punto de muestreo del concentrado bulk.

**Figura 14**

*SamStat-30 estaciones representativas de muestreo bulk*



*Nota.* Unidad Minera Las Bambas S.A.

- **Muestreo en relave**

La figura 15 muestra el punto de muestreo del relave.

**Figura 15**

*Analizador de XRF de lodos de flujo multiple MSA – 330, relave*



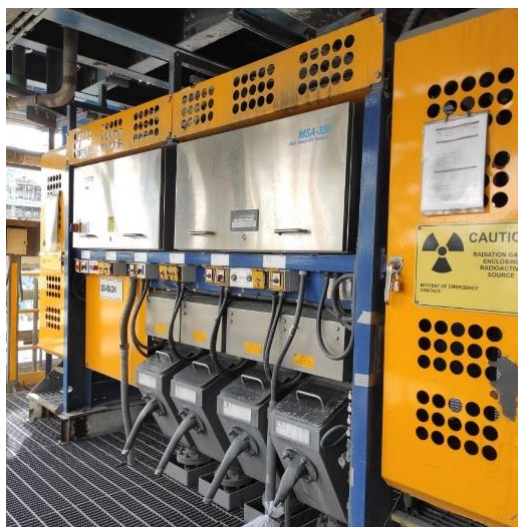
Nota. Unidad Minera Las Bambas S.A.

**2.2.3. Cuarteador Automático**

Equipo utilizado para tomar muestras de un flujo continuo de minerales en cantidades específicas y con una frecuencia programada, En la figura 16 se puede apreciar una estación representativas de muestreo, modelo MSA-330.

**Figura 16**

*Analizador de XRF de lodos de flujo multiple MSA – 330*



Nota. Unidad Minera Las Bambas S.A.

#### **2.2.4. Incremento**

Cantidad de mineral seleccionado (muestreado) por una herramienta o método de muestreo en una operación.

#### **2.2.5. Preparación de Muestra**

La preparación de muestras de proceso es considerada como etapa inicial y crítica dentro del Laboratorio Químico, su buen desarrollo por personal competente del laboratorio garantiza resultados reproducibles y satisfactorios, el objetivo de obtener una muestra homogénea y representativa que garantice ensayos reproducibles.

#### **2.2.6. Equipos Utilizados en Preparación de Muestras**

- Filtro Prensa. Equipo para reducir el contenido de humedad de muestras recolectadas en los puntos de muestreo utilizando presión de aire, en la figura 17 se puede mostrar filtro prensa.

**Figura 17**

*Filtro prensa*



*Nota.* Unidad Minera Las Bambas S.A.

- **Pulverizadora.** Equipo que se usa para reducir a partículas muy pequeñas una determinada cantidad de muestra, en la figura 18 se muestra una pulverizadora.

**Figura 18**

*Pulverizadora*



*Nota.* Unidad Minera Las Bambas S.A.

- **Horno de secado.** El horno de secado es una maquina eléctrica que proporciona irradiación térmica, el cual se usa para el secado del mineral que provienen de la área de flotación de cobre, en la figura 19 se muestra un horno de secado.

**Figura 19**

*Horno de secado*



*Nota.* Unidad Minera Las Bambas S.A.

### **2.2.7. Etapas en la Preparación de Muestra**

#### **Filtrado**

Las muestras de proceso son vertidas a los filtros prensa específicamente (cabeza, concentrado y relave) enjuagar la bolsa con ayuda de agua, cerrar la tapa del filtro y asegurar.

- Abrir la válvula de ingreso del aire de forma lenta para comenzar el filtrado, al no observa que escurra agua cerrar la válvula de ingreso de aire, girar la válvula de escape.
- La muestra obtenida es una pasta sólida que se retira y se coloca en bandejas de metal recubiertas de papel Kraft y debidamente rotuladas.

#### **Secado**

- El preparador de muestras lleva a secar las muestras filtradas colocándolas en la estufa a 105 °C +/- 5 °C, para ayudar con el secado de la muestra el preparador con la ayuda de una espátula expande la muestra en toda la superficie de la bandeja, transcurrido un determinado tiempo la muestra de encuentra seca.

#### **Cuarteo y homogenizado**

- Ya seca la muestra el preparador vierte el mineral sobre el papel kraff, procede a pasar el rodillo para reducir los grumos de la muestra y homogenizar dicha muestra sobre el papel kraff, cuartear la muestra hasta obtener una cantidad para análisis.
- Una vez terminado de obtener la muestra para análisis, se obtiene otra porción para el compuesto de día para enviar al área de metalurgia. El resto desechar, con la ayuda de una brocha y aire a presión limpiar la sección de cuarteo.

#### **Pulverizado**

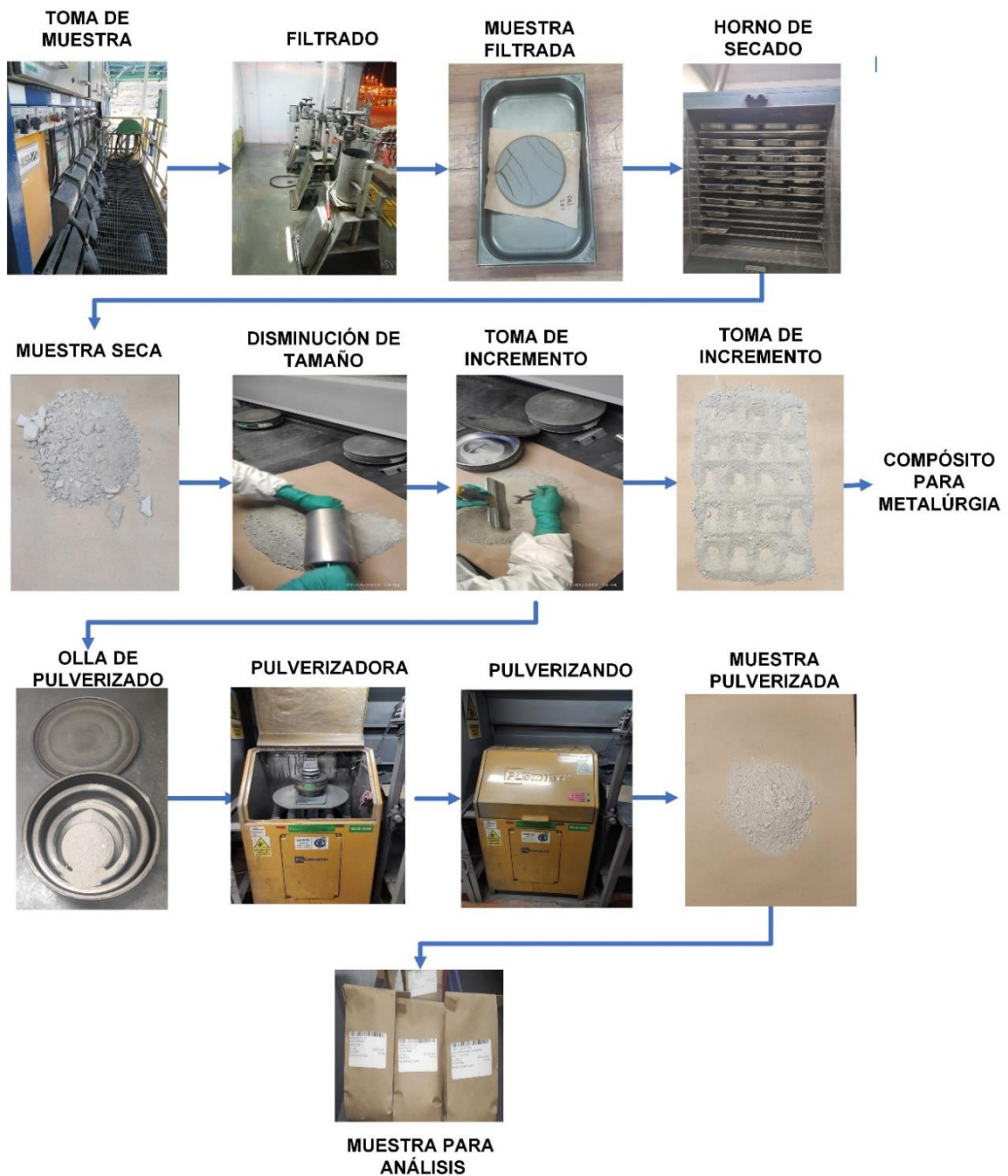
- La pulverización de la muestra se realiza en el pulverizador por un tiempo aproximado de 2 minutos para muestra concentrado y de 3 minutos para muestra de cabeza y relaves.
- El preparador de muestras antes del proceso de pulverizado clasifica las muestras en sus respectivas ollas (relave 1, relave 2, relave 3, relave 4, cabeza 1, cabeza 2, bulk, cleaner, Scavenger, Roughert) y se pulveriza las muestras según tiempo que le corresponda. para cada muestra.

- El mineral pulverizado es vertido en el papel kraff, luego es llenado en el sobre correspondiente para cada muestra.
- La muestra pulverizada es retirada por el personal analista y llevada a la sala de balanzas para su pesado.

En la figura 20 se muestra las distintas etapas de preparación de muestra

**Figura 20**

*Etapas de preparación de muestra*



## ***Limpieza***

El preparador de muestras limpia la olla de la pulverizadora con sílice granulado u otro material que contenga niveles traza, esto permite la limpieza por arrastre de cualquier mineral que pueda haber quedado en el interior de la olla pulverizadora y con la ayuda de una brocha; aire a presión se limpia antes de iniciar la labor y luego de cada pulverizado de muestra.

### ***2.2.8. Método de Ensayo***

Los elementos a cuantificar en las muestras puntuales son: Cu, Ca, Mg, Mo, Cu soluble en ácido sulfúrico, Insolubles, Fe. Para determinar estos analitos se usa el método de espectroscopia de absorción atómica a excepción del insoluble, el cual se trabaja por método gravimétrico.

## **2.3. Muestras de Planta Filtro**

El preparador de muestras recoge las muestras de planta filtro en bolsas plásticas codificadas F02, F03, F04, las cuales serán preparadas y analizadas para los siguientes análisis como: cobre por volumetría, humedad por gravimetría, oro por vía seca, arsénico por absorción atómica.

### ***2.3.1. Etapas en la Preparación de Muestra de Planta Filtro***

***Homogenizado y Toma de Incremento.*** Para las muestras de concentrados de cobre, que procedan de la planta filtro con características de homogeneidad, los análisis químico solicitados son: por cobre por volumetría, As, Au y % humedad.

En esta etapa se codifica las bandejas de acuerdo al código de la muestra o sólo coloca sobre la muestra, la etiqueta que identifica la misma.

Se vierte el concentrado sobre la lona y se forma un rectángulo de espesor uniforme de 1 a 2 cm se aplana el rectángulo para hacerlo compacto y uniforme, en la figura 21 se muestra la forma de rectángulo.



**Figura 21**

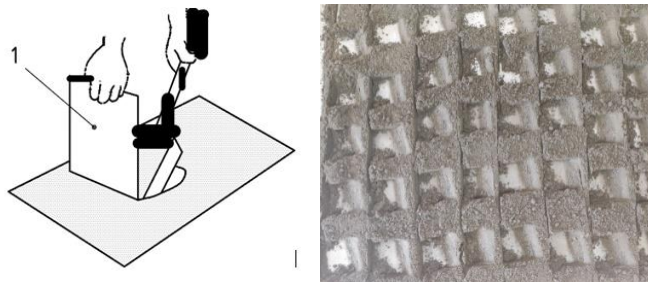
*Preparación para toma de incrementos*



- Se marca una matriz sobre la muestra esparcida que consta como mínimo de 20 partes con una placa de choque, la cantidad de porción a tomar es 20, masa de muestra mínima a tomar es 1,0 kg. Para pérdida de masa (determinar porcentaje de humedad) y de 0,2 kg para análisis químico.
- Se toma una porción de muestra cerca o igual de cada parte de la matriz con la pala adecuada de cada una de las partes ingresando la pala al fondo de la capa de muestra, juntar cada porción de cuadrículas en una bandeja de acero inoxidable. La forma para realizar esta operación es de la siguiente manera.
- Inserte la placa de impacto verticalmente en el la muestra de concentrado hasta que haga contacto con la superficie de la lona. Luego, coloque la pala en el fondo de la porción dispersa del concentrado y aumente el aumento moviendo la pala horizontalmente hasta que su extremo entre en contacto con la placa de impacto, asegurando que todas las partículas de concentrado se recojan de la parte superior de la superficie de mezcla.
- Levante la pala y la placa de impacto para que la placa impida que el concentrado se caiga del extremo abierto de la placa. Luego ir añadiendo el incremento a la misma bandeja de la muestra limpia y tarada, como se observa en la figura 22.

**Figura 22**

*Toma de incrementos*



**Secado de Muestra.** llevar a secar la muestra para análisis colocándolas en la estufa a 105 °C +/- 5 °C, hasta que la muestra éste seca. Las muestras para pérdida de masa

se llevan a la estufa por un tiempo de 8 horas transcurrido este tiempo la muestra se encuentra seca, retirar y pesar la muestra para determinar la humedad, en la figura 23 se observa cada etapa para determinar el porcentaje de humedad.

**Determinación del Porcentaje de Humedad**

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso}_{\text{muestra húmeda+bandeja}} + \text{Peso}_{\text{muestra seca+bandeja}}}{\text{Peso}_{\text{muestra húmeda+bandeja}}} * 100$$

En la figura 23 se muestra las distintas etapas para poder determinar el porcentaje de humedad en concentrado de cobre.

**Figura 23**

*Etapas para determinar porcentaje de humedad*



**Pulverizado.** Se sigue las siguientes etapas:

- La pulverización de la muestra se realiza en el pulverizador por un tiempo aproximado de 2 minutos para muestra concentrado, se limpia la olla con aire comprimido en caso que se requiera se usa arena silicosa.
- Pulverizada el mineral es vertida sobre papel kraff, luego es llenado en el sobre respectivo para cada muestra F02, F03, F04
- Las muestras pulverizadas son retiradas por el personal analista para ser llevadas a la sala de balanzas para su pesado.

**Método de ensayo.** Los análisis a realizarse en las muestras de planta filtro (F02, F03, F04) son cobre por volumetría, oro por método combinado vía seca y absorción atómica, arsénico y plata por absorción atómica.

#### **2.4. Muestras de Control de Proceso**

En las muestras de control de proceso solicitan el análisis de Cu por volumetría, Fe, Ca, Mg, Mo, cobre lixiviado en ácido sulfúrico por espectroscopia de absorción atómica, insoluble y porcentaje de sólido por gravimetría.

##### **2.4.1. Etapas en la Preparación de Muestras de Control de Procesos**

Son muestras que provienen del área de control de procesos para que puedan calibrar los analizadores de XRF de lodos para lo cual se tendrá diferentes etapas.

##### **Determinación de Porcentaje de Sólidos**

- Pesar las bandejas secas y registrar en el cuaderno.
- Pesar las bolsas de plástico que contiene las muestras en pulpa y registrar en el cuaderno.
- Pesar el papel Kraft de un tamaño determinado y registrar en el cuaderno rotular el papel con la identificación de la muestra a filtrar en ella.
- Llevar la muestra a filtrar en las bandejas correspondiente a ella colocar el papel Kraft en los filtros y verter sobre ellas la muestra a filtrar con la ayuda de agua lavar la bolsa que no quede restos de mineral en la bolsa.
- Cerrar el filtro prensa y abrir lentamente la válvula del ingreso de aire comprimido, cuando ya no se observe que drene agua cerrar la válvula de ingreso de aire y purgar el aire.

- Secar la bolsa plástica que contenía la pulpa, pesar estas bolsas junto con el precinto de seguridad y registrar en el cuaderno.

**Secado de muestra.** Llevar a secar las muestras para análisis colocándolas en la estufa a 105 °C +/- 5 °C, hasta que la muestra éste seca. Extraer el mineral de la estufa de secado y pesar la bandeja que contiene la muestra, el papel kraft y registrar en el cuaderno de manera que coincida el código de las muestras.

**Homogenizado.** Aquellas muestras menores a 300 g del control de proceso verter en su totalidad a la olla de pulverizado y las que son mayores tomar una muestra representativa por incrementos.

**Pulverizado.** La pulverización de la muestra se realiza en el pulverizador por un tiempo aproximado de 2 minutos para muestra concentrado, limpiar la olla con aire comprimido en caso que se requiera usar arena silicosa, pulverizada el mineral es vertido sobre papel kraff, para luego ser llenado en el sobre respectivo con los rótulos correspondiente, la muestra ya pulverizada es retirada por el personal analista para llevar la muestra a la sala de balanzas para su pesado.

**Limpieza.** El preparador de muestras limpia la olla de la pulverizadora con sílice granulado u otro material que contenga niveles traza, esto permite la limpieza por arrastre de cualquier mineral que pueda haber quedado en el interior de la olla pulverizadora y con la ayuda de una brocha; aire a presión se limpia antes de iniciar la labor y luego de cada pulverizado de muestra.

**Cálculo de Porcentaje de Sólidos.** Ingresar al SampleManager registrar los pesos de la pulpa, peso de la bandeja, pesos del papel Kraft, peso seco de la muestra. Automáticamente se calcula los resultados de porcentaje de sólidos, en la figura 24 se observa cada etapa para poder calcular el porcentaje de sólidos.

$$\%Sólidos = \frac{(Wb + Wmseca) - Wb - Wp}{(Wf + Wpulpa) - Wf} * 100$$

Dónde:

$Wb + Wmseca$  = Peso de la bandeja más la muestra seca.

$Wb$  = Peso de la bandeja vacía.

$Wp$  = Peso del papel.

$Wf + Wpulpa$  = Peso del frasco de la bolsa+ muestra húmeda (pulpa).

$Wf$  = Peso de la bolsa vacía.

En la figura 24 se muestra las distintas etapas para poder determinar el porcentaje de sólidos de muestras de control de procesos.

**Figura 24**

*Etapas para determinar porcentaje de sólidos*



**Método de ensayo.** el análisis a realizarse en la muestra de control de procesos es: Cu por método volumétrico, Cu, Mo, cobre soluble en ácido sulfúrico, Ca, Mg, Fe por absorción atómica, Insoluble y porcentaje de sólidos por gravimetría.

## 2.5. Aseguramiento de Calidad en Preparación y Análisis

El objetivo es establecer los controles periódicos para garantizar que los datos y resultados generados por las actividades de análisis alcancen un alto grado de confianza el cual tiene un alcance para los métodos de ensayo que se realizan en el laboratorio: Abarca la preparación de las muestras, ensayos por volumetría, ensayos por gravimetría y análisis instrumental en muestras de minerales.

### 2.5.1. Prueba de Mallas

El preparador de muestras, ejecuta la prueba de mallas según corresponda una muestra de cabeza, otra de relave y de concentrado bulk. La muestra pulverizada, pesar 50 g  $\pm$  2 g, luego procede a pasar por el tamiz de malla N° 140. Para cabeza y relave porcentaje pasante mayor a 95% y tamiz de malla N° 200. Para muestra de concentrado bulk porcentaje de malla pasante mayor a 98% se anota los resultados en su respectivo formato, en la tabla 1 se tiene los criterios de garantizan la calidad de la cuantificación de cobre por volumetría.

**Tabla 1**

*Aseguramiento de la calidad en determinación de cobre por volumetría*

Tipo de ensayo	Controles aplicados	Frecuencia de los controles	Criterios de aceptación
Determinación de cobre por volumetría	Uso de material de referencia interno (MRI)	Cada bach de muestras	% Recuperación según, tabla ICH concentraciones 10 %- 100 % recuperación 98 % - 102 %
	Uso de material de referencia certificado (MRC)	1 vez por semana como mínimo	Intervalo de recuperación de acuerdo al certificado de calidad del material de referencia certificado (MRC)
	Replicas	Cada bach de muestras	Diferencia de contenido en réplicas " $\leq$ " 0,10

En la tabla 2 se tiene los criterios de aseguramiento de la calidad de la determinación de en absorción atómica.

**Tabla 2***Criterio de aseguramiento de la calidad en absorción atómica*

<b>Tipo de Ensayo</b>	<b>Controles aplicados</b>	<b>Frecuencia de los controles</b>	<b>Criterios de aceptación</b>
Determinación de Cu, Fe, Ca, Mg, Mo, Cu soluble en ácido sulfúrico, por absorción atómica	Verificación de calibración	En la calibración	R <sup>2</sup> : > 0,995
	Verificación de calibración	Antes de iniciar el ensayo	Sensibilidad para optimización del equipo
	Verificación de calibración	Durante el ensayo (use MRC de otro lote)	% de recuperación del punto medio de la curva de calibración, según tabla ICH (80 %-110 %)
	Uso de material de referencia interno (MRI)	Cada batch de muestras	% recuperación según, tabla ICH concentraciones 0,001 % - 0,01 %, recuperación 90 % a 107 % concentraciones 0,01 % - 1 %, recuperación 95 % a 105 % concentraciones 1 % - 10%, recuperación 97 % a 103% concentraciones 10 % - 100 % recuperación 98 % a 102%

**2.6. Pesado de Muestras Para Análisis*****Equipos***

- Balanza analítica, precisión 0,1 mg
- Termohigrómetro
- Computadora

***Materiales***

- Navecilla
- Espátula, pincel
- Pesas E2
- Vasos de teflón de 250 mL
- Vasos precipitados de 400 mL
- Papel toalla

### **2.6.1. Condiciones Ambientales en el Área de Pesado de Muestras**

- Temperatura de trabajo: 10 °C a 30 °C
- Humedad relativa: < 60 %

### **2.6.2. Etapas en Pesado de Muestras**

- En una bandeja colocar vasos de teflón de 250 mL, limpios y ordenados.
- Verificar las condiciones ambientales y registrar en el formato de registro de condiciones ambientales.
- Verificar la balanza con pesas E2 considerando el error máximo permisible registrar en el formato de verificación de balanzas.
- Ingresar al software sample manager generar las ordenes de trabajo según sea el caso, muestras puntuales, muestras de planta filtro, muestras de control de proceso.
- Pesar la cantidad de muestra según el elemento a determinar, registrar en el software sample manager.
- Colocar la muestra pesada en el vaso de debidamente rotulado, repetir este procedimiento para cada muestra.
- Llevar la bandeja con los vasos conteniendo las muestras pesadas al área de digestión.
- Antes de proceder al ataque verificar que los equipos y reactivos para el proceso de digestión se encuentren en la sala o funcionen correctamente (ácidos y equipo extractor de gases).

## **2.7. Digestión de Muestras Para Absorción Atómica**

### ***Equipos***

- Campana de extracción de gases
- Plancha de calentamiento
- Termómetro infrarrojo digital
- Baño maría

### ***Materiales***

- Pinza para vasos
- Dosificadores para ácidos 10, 25, 50 mL



- Piseta
- Agitador magnético
- Fiolas

### **2.7.1. Etapas en la Digestión de Muestras**

- La digestión se inicia agregando 5 mL de ácido perclórico concentrado, 5 mL de ácido nítrico concentrado, 2 mL de ácido fluorhídrico en cada vaso que contiene la muestra y colocando cada uno de ellos sobre la plancha de calentamiento.
- La plancha debe estar a  $250\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . esperar que las muestras estén en estado pastoso retirar de la plancha y esperar por unos minutos que se enfríe antes de añadir el medio de ácido clorhídrico de 12,5 % para muestras de cobre; 10 % para muestras calcio y magnesio; 20 % para muestras de molibdeno y 25 % para muestras de plata dependiendo del volumen de aforo.
- Subir a la plancha de calentamiento por 5 minutos para disgregar las muestras retirar de la plancha retirar de la plancha con ayuda de una pinza para vasos.
- Enfriar y trasvasar en sus respectivas fiolas, con la ayuda de embudo y piseta, agregar 20 mL de solución de óxido de lantano preparado al 10 % para muestras que se van analizar Ca y Mg el cual se va transvasar en una fiola de 200 mL y 7,5 mL de solución de tricloruro de aluminio preparado al 33,3 % para muestras que se van analizar Mo el cual se va transvasar en una fiola de 100 mL.
- Verificar el rotulo del vaso con la fiola para evitar errores, aforar y agitar correctamente. Enviar al área Instrumental para su lectura.

### **2.8. Lectura por Absorción Atómica**

Espectrofotómetro de Absorción atómica se basa en la medida de la absorbancia de una radiación electromagnética a una longitud de onda característica del elemento a medir. Es necesario para la medida que el elemento se encuentre en su forma atómica. Para ello se realiza una excitación con una llama de acetileno/aire o acetileno/ óxido nitroso.

#### **Equipos**

- Espectrofotómetro de Absorción Atómica Varían modelo AA-240/FS y AA-280/FS
- Computadoras con el respectivo software instalado
- Compresoras de aire libre de aceite

- Extractor de gases
- Termo higrómetro
- Equipo de aire acondicionado

### ***Materiales***

- Acetileno especial 99 %, grado instrumental
- Óxido nitroso especial 99,5 %, grado instrumental
- Lámparas de cátodo hueco
- Lámpara de deuterio

### ***Reactivos***

- Solución ácido clorhídrico al 12,5 %. (cero de calibración)
- Solución standard de cobre 5 ppm
- Soluciones patrones de calibración y control
- Solución de lavado (agua desionizada)

#### ***2.8.1. Condiciones ambientales***

- Temperatura de operación: 15 °C a 25 °C (variación:  $\pm 2$  °C)
- Humedad relativa: < 80 %

Registrar las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa en sus respectivos registros.

#### ***2.8.2. Presión de Gases y Aire***

Las presiones están dadas:

- La presión de ingreso del acetileno está dada entre 9,5 – 14,5 PSI
- La presión de ingreso del óxido nitroso está dada entre 35 - 65 PSI
- La presión de ingreso del aire está dada entre 35 a 65 PSI

### **2.9. Procedimiento de Lectura.**

#### ***2.9.1. Encendido e ingreso al software***

- Encender los equipos con el interruptor negro de “off a on” inmediatamente se encenderá una luz verde que indica que el equipo este encendido.

- Encender las computadoras del Espectrofotómetro.
- Hacer doble click al icono spectraa de inmediato ingresara al menú del software, como se muestra en la figura 25.

**Figura 25**

*Icono del software spectraa*



- Hacer click en la opción ventana de trabajo se observa una lista desplegable con tres opciones: nueva carga una hoja de trabajo sin parámetros establecidos, nueva desde carga la plantilla ya existente con los parámetros establecidos y abrir busca una orden de trabajo ya existente, como muestra la figura 26.

**Figura 26**

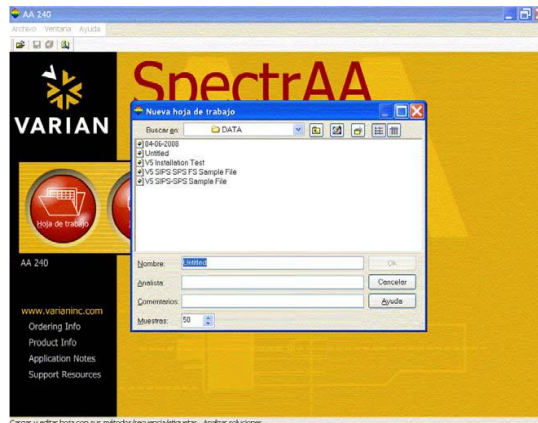
*Ventana cargar hoja de trabajo*



- Seleccionar nueva desde y buscar la plantilla ya existente para el método de trabajo, aparecerá una ventana como en la figura 27 al cual se le dará nombre a la hoja de trabajo nueva, Ejemplo: en nombre A-Job2234-Mo-1.

**Figura 27**

*Spectraa con plantilla de hoja de trabajo existente*



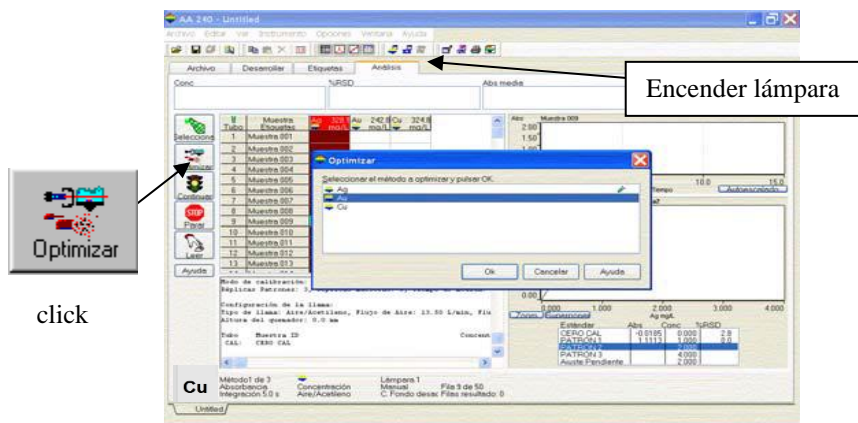
- Seleccionar OK aparecerá en la pantalla la plantilla para empezar la lectura.

### **2.9.1. Verificación de Operatividad del Equipo de Absorción Atómica**

1. Colocar quemador de 10 cm, flow spoiler y la perla de impacto adherida al nebulizador.
2. Colocar la lámpara de cobre en la torreta que le corresponde.
3. Seguir las instrucciones de encendido e ingreso al software activando la plantilla de verificación ya existente de cobre y aceptar.
4. Hacer click en encender lámparas como se muestra en la figura 28 luego presionar optimizar, seleccionar el método Cu 12,5% HCl escoger ok, se observa la ventana lista para comprobar la posición de la lámpara y flujo del gas, escoger ok, de inmediato se va prender la lámpara y se verá la barra verde de la energía.

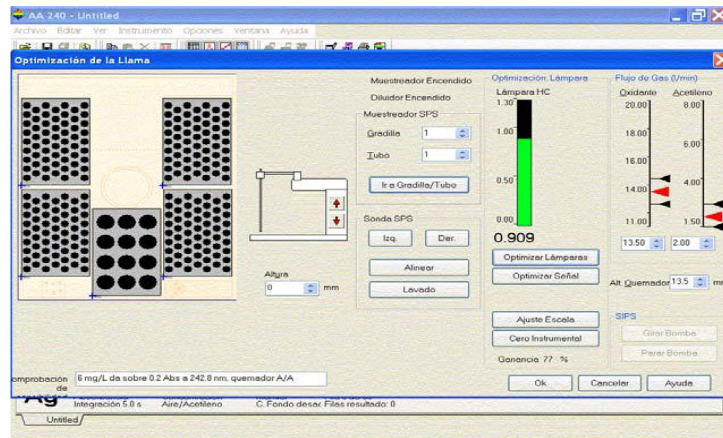
**Figura 28**

*Icono para encender la lámpara de cátodo hueco*



**Figura 29**

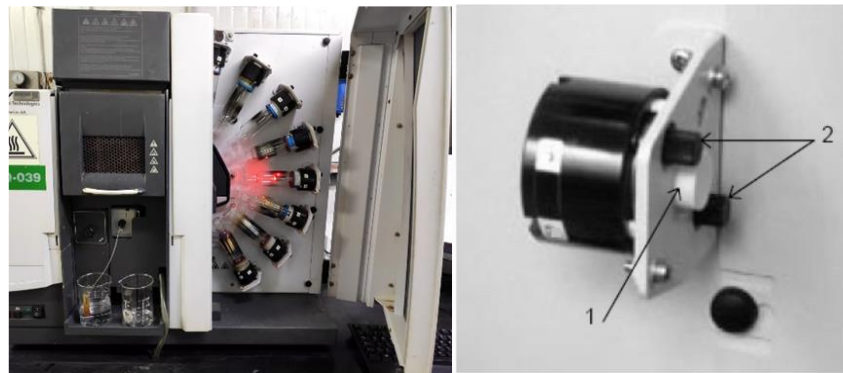
*Barra de energía de la lámpara de cátodo hueco*



5. Gire la perilla detrás de la torre para ajustar la luz como se muestra en la Figura 30, hasta lograr máxima energía, (barra verde de energía), en caso de lograr energía que cubra toda la barra seleccionar el botón de ajuste de escala y seguir alineando la lámpara, como se muestra en la figura 32.

**Figura 30**

*Torreta donde van las lámparas de cátodo hueco*

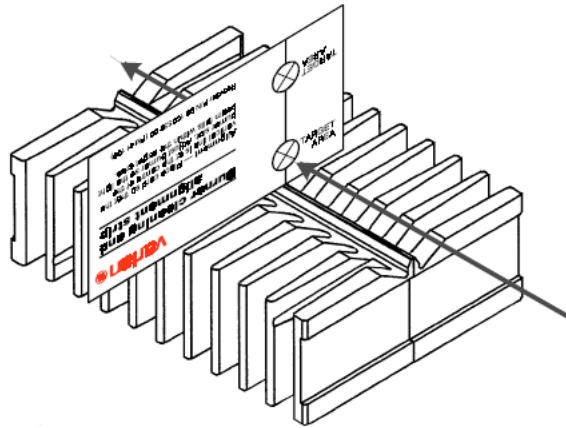


**Nota:** 1 botón blanco para montaje de lámpara de cátodo hueco. 2 botones de alineación de lámpara de cátodo hueco.

6. Presionar el botón “optimizar señal” y luego ajuste de escala, realizar el ajuste de altura del quemador con el software, la profundidad es con la perilla horizontal (AA-280/FS), verificar la posición del quemador usando la tarjeta de alineación, la luz debe pasar por la intersección de dos líneas que cortan diametralmente una circunferencia, la tarjeta de alineación es la que se muestra en la figura 31.

**Figura 31**

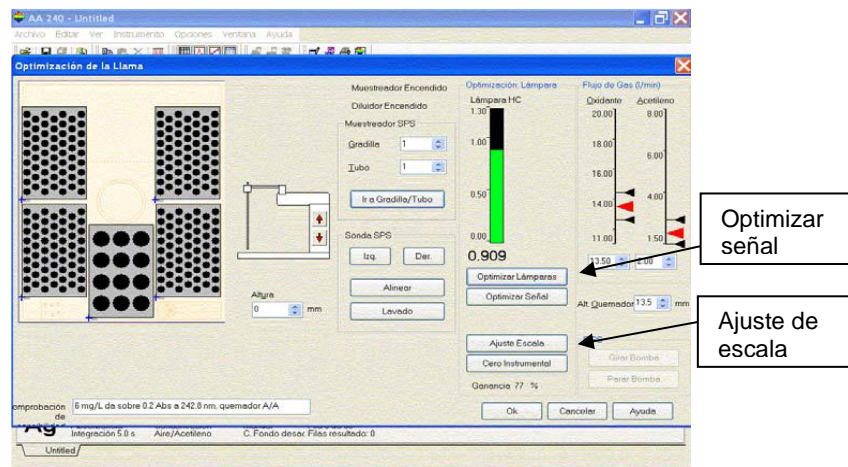
*Tarjeta de alineación*



**Nota:** Para el equipo AA-240/FS se alineará la altura y profundidad del quemador manualmente con la perilla circular de manera vertical y horizontal.

**Figura 32**

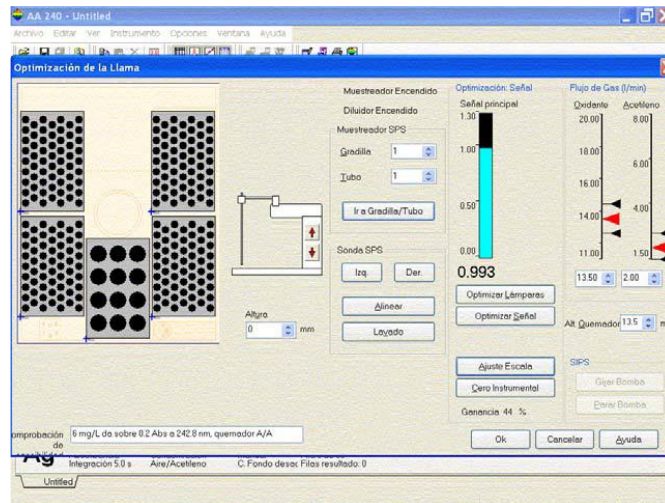
*Señal de la transmitancia*



7. Presione el botón negro en el panel frontal de la unidad para encender la llama y optimizarla para obtener una llama azul constante en el quemador. (llama oxidante) los flujos de los gases se realizan con el software para ambos equipos.
8. Optimizar para lograr mayor absorbancia con la bola de impacto, Flow spore, quemador de 10 cm la verificación es con solución standard, cobre 5 partes por millón (absorbancia > 0,666) y comprobar la absorbancia en cada caso que se haga un ajuste, en la figura 33 se muestra la absorbancia lograda.

**Figura 33**

*Señal de la absorbancia*



Cerrar la ventana con cancelar, hacer click en empezar para realizar la curva de calibración una vez graficado realizar la lectura de cobre de 5 ppm, anotar el valor obtenido en el registro de control de verificación de operatividad.

9. Apague la llama presionando el botón rojo en el panel frontal del dispositivo..

10. Apagar la lámpara presionando F7 o el icono de lámparas y cerrar ventana.

### **2.9.2. Lectura de Muestras por Absorción Atómica**

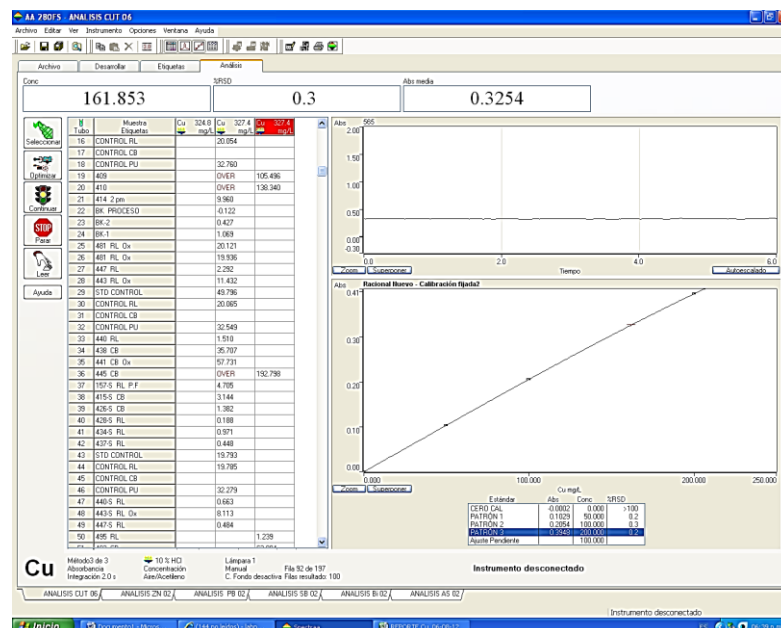
1. Ingresar al software según las instrucciones de ingreso al software y verificación del equipo.
2. Inmediatamente aparecerá un cuadro de diálogo que muestra la intensidad energética de la lámpara y también podrá ver la lámpara de deuterio si así lo requiere el método elegido.
3. Encender la lámpara y calentar por 5 minutos, encontrar la máxima intensidad realizando un suave ajuste a las perillas de ajuste que se encuentran en la parte de atrás de la torreta.
4. Antes de encender la flama verificar que la presión de acetileno y del aire sea lo correcto, prender la flama y optimizar. Antes de iniciar la lectura dejar pasar agua desionizada por 2 a 3 minutos para limpiar la cámara de premezclado.
5. Optimizar la señal con la solución de mayor concentración, entrar al cuadro de la intensidad hacer click optimizar señal, seleccionar cero instrumental, medir la absorbancia del patrón de calibración más alto. Ésta debe ser regulada con ajuste de la perla de impacto, giro rotacional del quemador hasta estar dentro de los

- valores establecidos. Medir el último patrón de calibración dejar que la intensidad llegue a cero, de no ser así, presionar nuevamente cero instrumentales, y verificar.
- En la barra de tareas presionar parar luego empezar, aparecerá una ventana que diga lista de comprobación de análisis, a todas las opciones dar OK y comenzará la calibración automáticamente pedirá cada uno de los patrones de calibración iniciando con el cero. Las soluciones de calibración están establecidas en el método dejar que el equipo aspire la solución a medida que requiera la solución patrón, si ocurre algún problema presionar pausa y empezar de nuevo con la calibración. Concluida la calibración comenzar con la lectura de la solución de verificación, seguir con los materiales de control. Aspirar la solución de la muestra y presionar icono leer, lavar el capilar entre muestras para evitar no contaminar por arrastre.
  - Verifique la lectura con un estándar de control de absorción atómica y ajuste la pendiente o recalibre si es necesario, realizar la verificación cada 10 muestras leídas.
  - Si durante la lectura de los controles se detectó algún problema como obstrucción del capilar, hacer las correcciones y volver a leer las muestras desde la última verificación de patrón.
  - Verificar que los materiales de referencia cumplan con los criterios de aceptación para cada elemento

En la figura 34 se muestra una plantilla con muestras leídas.

**Figura 34**

*Imagen de plantilla de lectura*





## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO DE ANÁLISIS PARA DETERMINAR COBRE**

El capítulo anterior describe las operaciones de laboratorio químico, incluido el muestreo de plantas de flotación de cobre, muestreo de plantas de filtración y muestras de control de procesos

En el presente capítulo describo la metodología aplicada para cuantificar cobre en muestras de alto contenido de cobre de la planta de filtros, y un método en estudio para muestras de concentrado en muestras puntuales.

#### **Objetivo**

##### **Objetivo general**

- Optimizar el tiempo en la determinación de cobre por el método volumétrico en la unidad minera las bambas

##### **Objetivos específicos**

- Reducir la dosificación de ácidos para el método de cobre por volumetría.
- Evaluar las alternativas de optimización de tiempo de entrega de resultados.
- Evaluar estadísticamente la precisión y veracidad del método en estudio.
- Evaluar los resultados de los materiales de referencia interno con el método en estudio.

Actualmente se realiza el análisis de concentrado de cobre por absorción atómica en muestras puntuales y no por el método clásico de análisis volumétrico, ya que este método conlleva mayor tiempo en entrega de resultados por el propio hecho de que el método volumétrico es un proceso largo , que dura aproximado de 4:20 horas por lo

cual la necesidad de hacer pruebas en el tipo de digestión del método volumétrico, si bien es cierto que la entrega de resultado es referencial por espectroscopía de absorción atómica en un tiempo aproximado de 2:30 horas.

Los beneficios esperados es disminuir el tiempo y el sesgo en la determinación de muestras de concentrado de cobre en muestras puntuales.

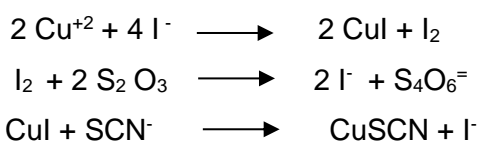
**Tabla 3**

*Tabla de indicadores de objetivo*

OBJETIVO	OBJETIVOS ESPECIFICOS	INDICADOR	HERRAMIENTA	META VALOR OBJETIVO	FORMULA	RESPONSABLE DE LA RECOGIDA	PERIODICIDAD
Incrementar la satisfacción de nuestros clientes mediante la reducción del número de quejas, y encuestas de satisfacción.	Disminuir el número de quejas	Porcentaje de quejas resueltas	Quejas	Reducción del 10% de quejas respecto al periodo anterior	$N^{\circ}$ de quejas periodo actual *100 / $N^{\circ}$ de periodo anterior.	Coordinador de calidad	Mensual
	Mejorar la satisfacción de los clientes	encuestas satisfactorias	Encuesta	80% de encuestas de satisfechos	$N^{\circ}$ de encuestas satisfactorias / $N^{\circ}$ de encuestas	Coordinador de calidad	Semestral
Mejorar la calidad de los resultados mediante los controles internos y de nuestra participación en ensayos de aptitud.	Optimizar los criterios de control	Criterios de control de calidad (CC) cumplidos	Matriz de control de calidad	80% de criterios de control cumplidos	$N^{\circ}$ Criterios de Cumplidos * 100 / $N^{\circ}$ Criterios de CC total	Coordinador de calidad	Semestral
				Calificación satisfactoria en la participación de prueba de aptitud	Indicador (z.score; índice de compatibilidad, otro) con resultado satisfactorio	Coordinador de calidad	Cada vez que se ejecute (mínimo cada año)

### 3.1. Principio

Se agrega un exceso de yoduro de potasio al analito, que es un agente oxidante que el analito oxida para liberar la misma cantidad de yodo que el analito presente. cuantificar la cantidad de yodo liberado usando una solución de tiosulfato de sodio en presencia de las siguientes sustancias. Como indicador almidón, Cul libera muy lentamente el yodo absorbido, lo que lleva a un punto final prematuro. Para hacer esto, agregue tiocianato de amonio. El yodo así absorbido vuelve a la solución y se titula con tiosulfato de sodio.



### 3.2. Equipos

- Agitador magnético
- Bureta digital de 50 mL calibrada
- Campana de extracción de gases
- Plancha de calentamiento
- Termómetro infrarrojo digital
- Computadora
- Balanza de precisión analítica 0,1 mg

### 3.3. Materiales

- Vasos de precipitado de 400 mL
- Pesas de E2
- Pinza para vasos, Embudos, Piseta
- Magneto y varilla magnética
- Dosificador para ácidos 10 mL, 25 mL.
- Probetas de 10 mL, 20 mL y 50 mL
- Gotero de vidrio ámbar
- Espátula, pincel, navecilla para pesaje

### 3.4. Reactivos

- Ácido clorhídrico (33 % - 38 % p.a) HCl
- Ácido sulfúrico (95 % - 100 % p.a)  $H_2SO_4$
- Ácido nítrico (67 % - 70 % p.a)  $HNO_3$
- Ácido perclórico (70 % - 72 % p.a)  $HClO_4$
- Ácido acético glacial (98 % - 100 % p.a)  $CH_3COOH$
- Solución de ácido acético glacial (50 % v/v)  $CH_3COOH$
- Bifluoruro de amonio (98 % - 101,60 % P.A)  $NH_4 \cdot HF_2$
- Solución de yoduro de potasio, (50 % w/v) KI
- Solución de almidón, (1 % w/v)
- Solución tiocianato de amonio, (10 % w/v)  $NH_4SCN$
- Solución de tiosulfato de sodio (19,54 g/L)  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$
- Cobre metálico Cu (99,9 %)

### 3.5. Preparación de reactivo

- **Solución de ácido acético (98 % - 100 % p.a) al 50 % v/v**  
Preparar 500 mL de ácido acético glacial y llevar a 1 litro con agua.

- **Solución de yoduro de potasio (99 % - 100 %) al 50 % w/v**  
Pesar yoduro de potasio, 500 g y diluir a 1 litro con agua.
- **Almidón en solución al 1 % w/v**  
Pesar 10 g de almidón y disolver con una cantidad pequeña de agua fría y luego agregar lentamente al vaso conteniendo el agua caliente, hervir aproximadamente 2 minutos, enfriar y aforar a 1 L.
- **Tiocianato de amonio en solución (99.4 %) al 10 % w/v**  
Pesar 100 g de  $\text{NH}_4\text{SCN}$ , diluir a 1L con agua.
- **Tiosulfato de sodio en solución (99.5 % - 101 %)**  
Pesar aproximadamente 19,54 g de tiosulfato de sodio disolver en un vaso de precipitación de 500 mL disolver. Llevar a una fiola de 1L y aforar.

### 3.6. Procedimiento de análisis

#### 3.6.1. Método 1

Pesar una muestra de 0,5000 g de concentrado de cobre, verterlo en un vaso de precipitados de 400 mL, agregar 10 mL de ácido clorhídrico, colocarlo en una placa caliente a 140 °C hasta que se seque, sacarlo y enfriarlo, en la figura 35 se observa la digestión de la muestra con ácido clorhídrico.

#### Figura 35

*Digestión con ácido clorhídrico*



Adicionar 10 mL de ácido nítrico y 5 mL de ácido perclórico tapar con luna de reloj cada vaso, subir a la placa de calentamiento a una temperatura de 200 °C hasta eliminar el vapor ácido de color pardo rojizo, sacar la luna de reloj y digerar a estado pastoso, retirar y enfriar, en la figura 36 se puede observar la digestión de las muestras con ácido nítrico y ácido perclórico.

### Figura 36

*Digestión con ácido nítrico y ácido perclórico*



Añadir ácido sulfúrico 5 mL de colocar en la placa de calentamiento a una temperatura de 230 °C por unos 10 minutos, luego subir la temperatura a unos 300 °C y sulfatar hasta sequedad y enfriar, en la figura 37 se puede observar la digestión de las muestras con ácido sulfúrico.

### Figura 37

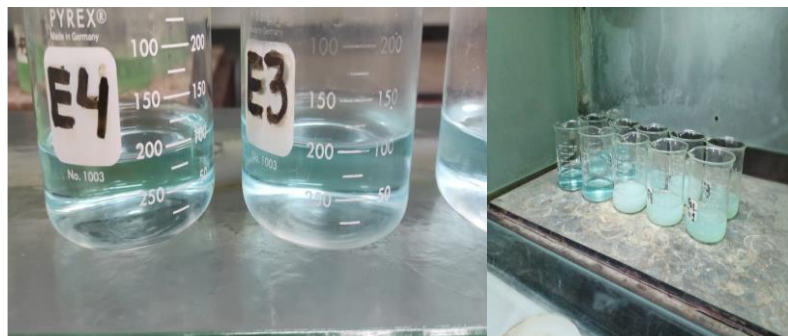
*Digestión con ácido sulfúrico*



Adicionar con la ayuda de un gotero 8 gotas de ácido sulfúrico concentrado, añadir agua con cuidado aproximadamente hasta 100 mL, colocar en la placa de calentamiento a una temperatura de 200 °C reducir el volumen hasta 50 mL, retirar y enfriar, En la figura 38 se observa la reducción de volumen de agua.

### Figura 38

*Reducción de volumen de agua*



Adicionar hidróxido de amonio con agitación gota a gota, hasta la aparición de un precipitado ligero de hidróxido de hierro (III). agregar 10 mL de ácido acético al 50 %, agregar bifluoruro de amonio, para que acompleje el fierro, En la figura 39 se muestra imágenes de acondicionamiento de las muestras.

### Figura 39

#### *Etapa de acondicionamiento*



Añadir 10 mL yoduro de potasio en solución, encender el agitador magnético después titular el yodo liberado con solución de tiosulfato de sodio hasta que la solución este amarillo pálido, añadir 10 mL de solución de almidón y proseguir titulando hasta que el color azul-violeta comience a desvanecer, añadir 10 mL de tiocianato de amonio continuar titulando gota a gota. Al final de la titulación desaparece el color azul de la solución y aparece el precipitado lechoso de color blanco o amarillento cuando se deja sedimentar en la figura 40 se muestra las distintas etapas en la titulación para cuantificar el porcentaje de cobre.

### Figura 40

#### *Etapa de titulación*



### 3.6.2. Método 2

- Pesar de 0,5000 g de muestra en concentrados de Cu y vierta la muestra en un vaso de 400 mL adicionar 10 mL de ácido nítrico y 5 mL de ácido perclórico tapar con luna de reloj cada vaso, subir a la placa de calentamiento a una temperatura de 200 °C hasta eliminación de vapor ácido de color pardo rojizo, sacar la luna de reloj y continuar digestando hasta estado pastoso, retirar y enfriar.

- Adicionar agua con cuidado aproximadamente hasta 50 mL, colocar en la plancha a una temperatura de 200 °C hervir la muestra por un tiempo entre 5 a 10 minutos, retirar y enfriar.
- Adicionar hidróxido de amonio, hasta la aparición de un precipitado ligero de hidróxido de hierro (III). añadir 10 mL solución de ácido acético Añadir bifluoruro de amonio.
- Añadir 10 mL de solución de KI, encender el agitador magnético y homogenizar luego titular el yodo liberado con solución de tiosulfato de sodio hasta que la solución se torne amarillo pálido, luego añadir solución de almidón 10 mL y seguir titulando hasta que el color azul-violeta empiece a desaparecer, agregar 10 mL de tiocianato de amonio continuar titulando. En el punto final de la titulación desaparece el color azul de la solución y aparece el precipitado lechoso
- anotar el volumen de gasto de tiosulfato de sodio en el registro. la figura 41 muestra las distintas etapas para poder determinar el porcentaje cobre por volumetría con el método 2.

**Figura 41**

*Etapas de en la determinación de cobre por volumetría (método 2)*



### 3.7. Estandarización con cobre metálico

0,2000 g de cobre metálico ( $\geq 99,90\%$ ) son pesadas en un vaso de 400 mL. Disgregar en 20 mL de ácido nítrico diluido al 50 % a temperatura de 140 °C, hasta que todo el cobre metálico este disuelto, retirar de la plancha y adicionar 5 mL de ácido sulfúrico colocar a la plancha para sulfatar hasta sequedad. Adicionar agua hasta 100 mL, reducir el volumen hasta 50 mL, retirar, enfriar y acondicionar, proceder a titular, registrar el volumen gastado en el formato para poder calcular el factor de titulación (F) el cual se deduce de la siguiente expresión.

$$F = \frac{G}{V}$$

Dónde:

F = Cobre equivalente a 1 mL de la solución estándar de  $\text{Na}_2\text{O}_3\text{S}_2$  (g/mL)

G = Cobre metálico, en g

V = Volumen usada de solución estándar de tiosulfato de sodio (mL)

#### Cálculo de porcentaje de cobre en la muestra

$$\%Cu = \frac{F * V}{W} * 100$$

Dónde:

V = Gasto de solución tiosulfato de sodio en, mL

F (de la solución  $\text{Na}_2\text{O}_3\text{S}_2$ ) = peso cobre metálico, (g) / gasto de solución  $\text{Na}_2\text{O}_3\text{S}_2$ . (mL)

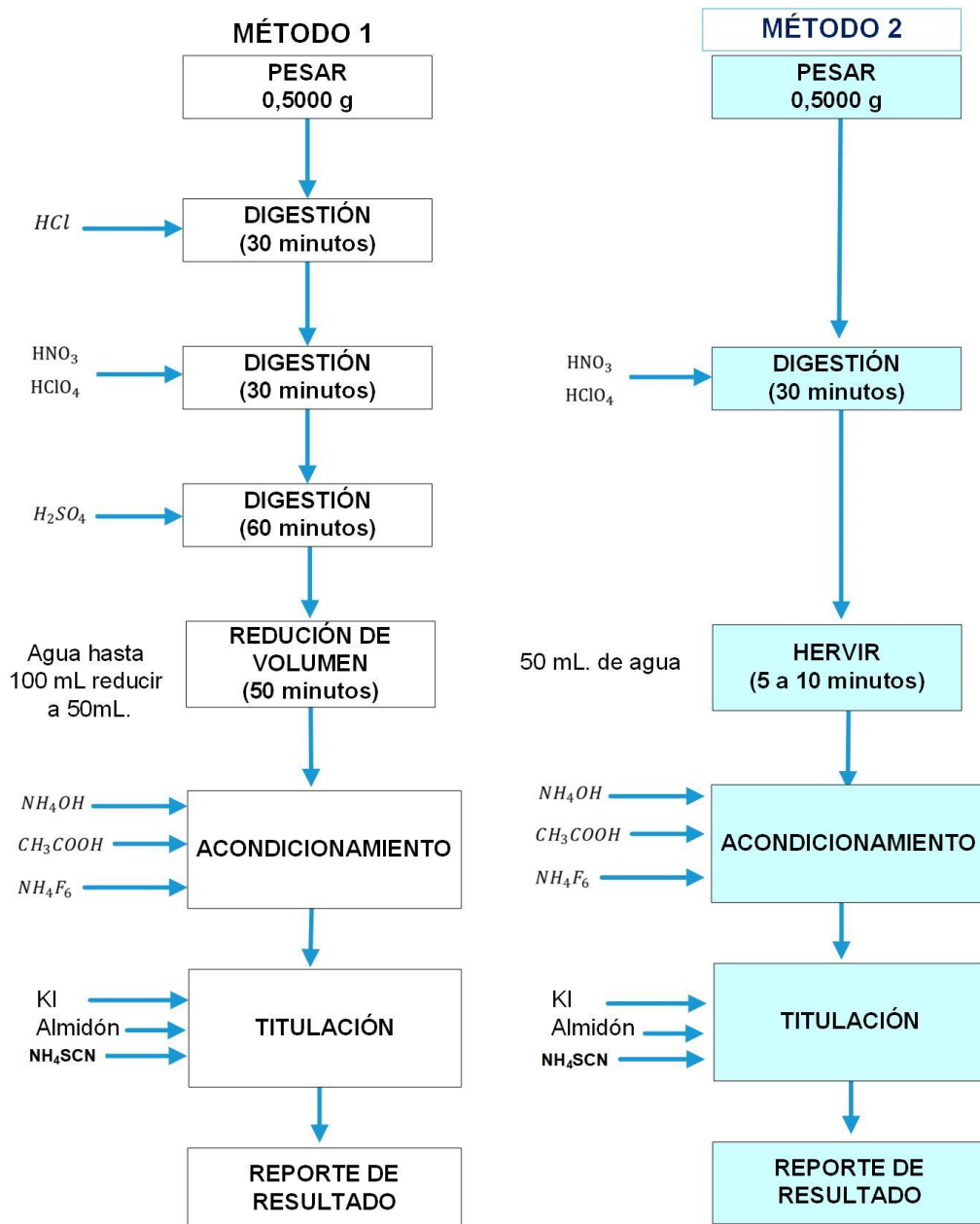
W = peso de la muestra, g

En la figura 42 se muestran un diagrama de flujo comparativo entre el método 1 y método 2.



**Figura 42**

Diagrama de flujo del proceso de análisis de cobre por volumetría.



### 3.8. Validación de Datos

Confirmación de que se han cumplido los requisitos para un uso o aplicación específica prevista proporcionando documentación objetiva. (Sistema de manejo de calidad, ISO:9000).

Es básicamente el proceso para definir un requisito analítico, y la confirmación de que cuenta con capacidades consistentes con las aplicaciones requeridas (Morillas, 2016)

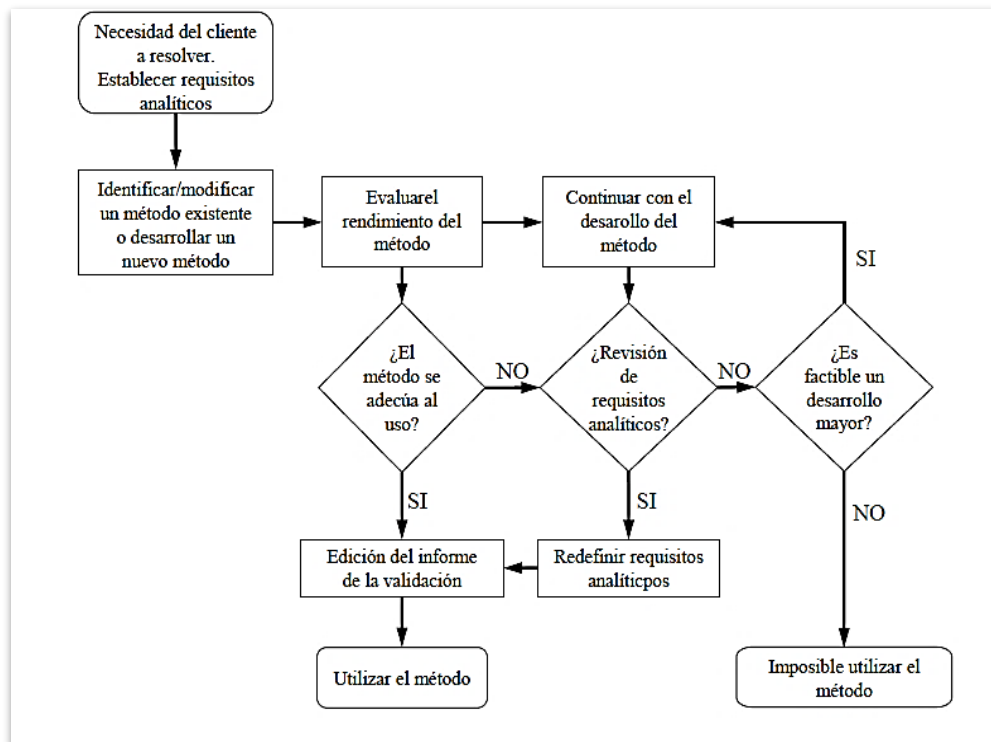
### 3.9. Validación de Método de Ensayo

Los métodos deben validarse cuando sea necesario demostrar o verificar que el desempeño del método en el laboratorio es adecuado para el uso previsto. El laboratorio debe probar o verificar:

- Métodos desarrollados por el laboratorio
- Métodos no normalizados
- Cambios a los normalizados

**Figura 43**

*Proceso de validación de método de ensayo*



Fuente: (EURACHEM, 2014)

### 3.10. Parámetros a Validar

#### 3.10.1. Selectividad

Es un método utilizado para determinar el grado en que un analito particular está presente en una mezcla o matriz sin interferencia de otro componente que actúa de la misma manera. (Guía Eurachem).

### **3.10.2. Intervalo de trabajo**

Dentro de este rango, este método proporciona resultados con una incertidumbre aceptable dentro de un rango aceptable. (Resolución N° 0007-2003/Indecopi-CRT)

### **3.10.3. Sensibilidad**

La sensibilidad analítica es el cambio en la respuesta del instrumento que corresponde a cambios en la amplitud de la medición, como la concentración del analito. (Resolución N° 0007-2003/Indecopi-CRT).

### **3.10.4. Veracidad**

Se define como el grado de concordancia que existe entre el valor medio del conjunto de resultados obtenidos como resultado del diseño del experimento y el valor de referencia supuesto o verdadero. (ISO 5725-1).

Para hallar la veracidad en el proceso de validación se debe tener en cuenta :

- La veracidad de los datos replicados por un método y/o procedimientos frente a un material de referencia; en este caso se usa los siguientes test estadístico: prueba t-Student o prueba de Wilcoxon. (Miller, 2002)
- La veracidad de todos los datos obtenidos al replicar por un método y/o procedimientos ante un método estandarizado; si es así el caso se utilizan las siguientes pruebas estadística prueba de Mann Whitney o la prueba de t-Student de dos muestras (Miller, 2002)

### **3.10.5. Precisión**

Se define como el nivel de concordancia entre los resultados de pruebas independientes obtenidos en condiciones específicas. Para calcular la precisión se deben considerar dos casos especiales en el proceso de validación. (NTP ISO 5725-I).

- La precisión del método y/o procedimiento al obtener datos (repeticiones) de materiales de referencia certificados; en este caso se utiliza el método, prueba RDS Horwitz. (Bii ® Asesores en sistemas 17025, 2010)
- Precisión de los datos (réplicas) obtenidos mediante métodos y/o procedimientos y probados mediante métodos estandarizados, en este caso se utiliza la prueba F.

### **3.10.6. Exactitud**

Se refiere a qué tan cerca está una medición de su valor real, mientras que la precisión se refiere a la repetibilidad o reproducibilidad de una medición. (ISO 5725-1).

### **3.10.7. Límite de detección**

El límite de detección de un método analítico es el nivel más bajo en el que se debe determinar con suficiente certeza la sustancia en estudio. (Guía Eurachem).

### **3.10.8. Límite de Cuantificación**

En concreto, corresponde a la concentración más baja del analito que se puede medir dentro del rango de exactitud y precisión. (Guía Eurachem)

### **3.10.9. Incertidumbre**

Es un parámetro relacionado con la medición que describe la distribución de valores que pueden atribuirse razonablemente a la medición. (DA-acr-09D)

## **3.11. Hipótesis estadística**

Las hipótesis estadísticas son suposiciones sobre los valores de los parámetros estadísticos. Es decir, una hipótesis estadística es una afirmación sobre una propiedad de una población. En estadística, la prueba de hipótesis se realiza para rechazar o aceptar una hipótesis. Hay dos tipos de supuestos en estadística:

- Hipótesis Nula ( $H_0$ ): Esta es una hipótesis probada mediante pruebas estadísticas. no debe ser negado injustificadamente.
- Hipótesis alternativa ( $H_a$ ): Este es un rechazo de la hipótesis nula y no debe aceptarse sin evidencia sólida.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1. Recopilación de Datos

En la tabla 4 se muestra la recopilación de datos de datos de las pruebas de ensayo de cobre metálico.

**Tabla 4**

*Datos de las pruebas de ensayo de cobre metálico*

	<b>Peso de cobre metálico</b>	<b>Gasto de tiosulfato de sodio</b>	<b>Factor volumétrico</b>	<b>Promedio del factor volumétrico</b>
	0,2012	39,130	0,0051418	
día 1	0,1990	38,700	0,0051421	0,0051454
	0,2022	39,245	0,0051522	
	0,1981	38,460	0,0051508	
día 2	0,1967	38,250	0,0051425	0,0051498
	0,2024	39,255	0,0051560	
	0,2031	39,515	0,0051398	
día 3	0,2064	40,055	0,0051529	0,0051468
	0,2015	39,145	0,0051475	

En la tabla 5 se muestra la recopilación de datos de los materiales de referencia interno.

**Tabla 5***Datos de las pruebas de ensayo de los materiales de referencia interno.*

	MRI	Peso de muestra	Gasto de tiosulfato de sodio	Factor volumétrico	Porcentaje de cobre
día 1	CONCCU02	0,4995	39,625	0,0051454	40,82
	CONCCU02	0,4995	39,635		40,83
	CONCCU02	0,4993	39,585		40,79
	CONCCU03	0,4993	36,295		37,40
	CONCCU03	0,4991	36,335		37,46
	CONCCU03	0,4990	36,335		37,47
día 2	CONCCU02	0,5002	39,535	0,0051498	40,70
	CONCCU02	0,5004	39,605		40,69
	CONCCU02	0,5001	39,515		40,69
	CONCCU03	0,5004	36,365		37,42
	CONCCU03	0,5006	36,435		37,48
	CONCCU03	0,5005	36,405		37,46
día 3	CONCCU02	0,4953	39,235	0,0051468	40,77
	CONCCU02	0,4956	39,245		40,76
	CONCCU02	0,4954	39,265		40,79
	CONCCU02	0,4953	39,245		40,78
	CONCCU03	0,4964	36,085		37,41
	CONCCU03	0,4967	36,065		37,37
	CONCCU03	0,4963	36,080		37,42
	CONCCU03	0,4965	36,025		37,34

**4.2. Evaluación de Datos Atípicos****4.2.1. Prueba de Normalidad: test de Anderson Darling**

La prueba de Anderson-Darling prueba si un conjunto de valores proviene de una población con una distribución de probabilidad continua específica.. Se utiliza prueba de Anderson-Darling usando el software Minitab.

**Se definen dos hipótesis:**

Hipótesis Nula =  $H_0$ : Los datos poseen distribución normal.

Hipótesis Alternativa =  $H_a$ : Los datos no poseen distribución normal.

La Tabla 6 muestra la regla de decisión: si el valor p es inferior a 0,05, entonces se rechaza  $H_0$  con un nivel de significancia de probabilidad de 0,05.

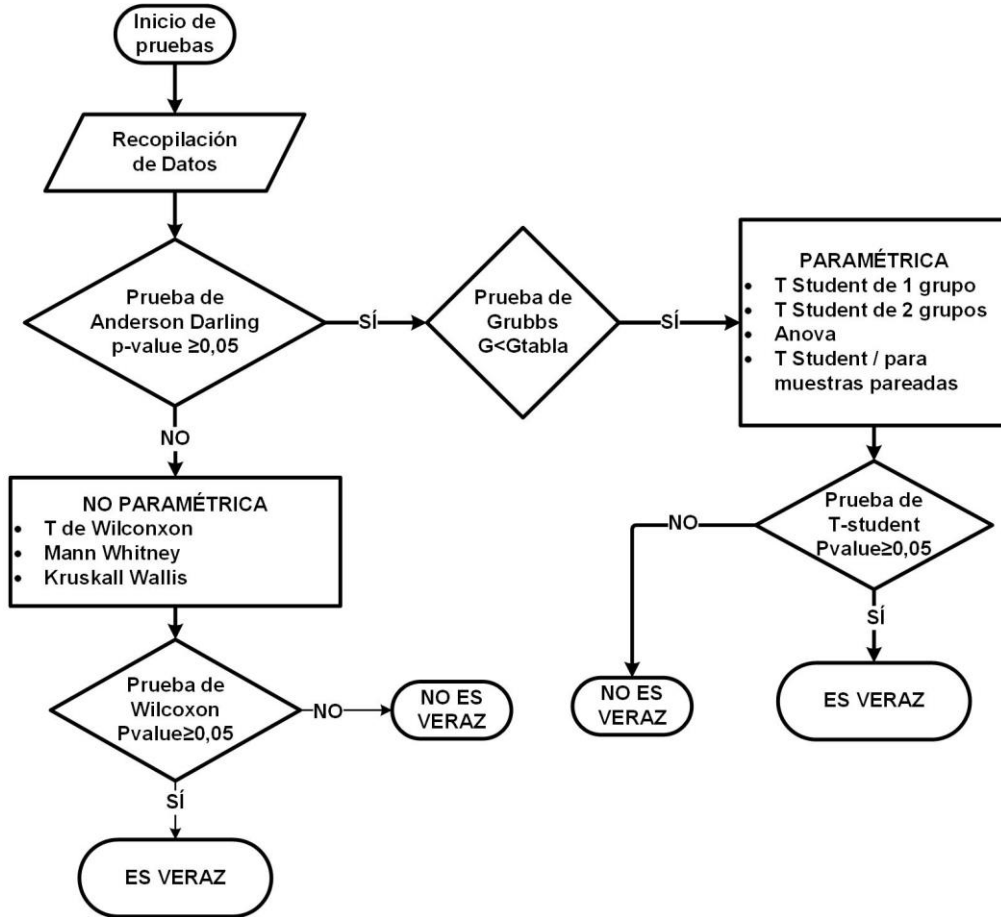
**Tabla 6***Toma de decisión de p-valor, para el tipo de distribución*

<b>Criterio</b>	<b>Decisión</b>	<b>Conclusión</b>
p-Valor $\geq$ 0,05	Aceptamos la $H_0$	La muestra en estudio presenta una distribución Normal
P-Valor $<$ 0,05	Rechazamos la $H_0$	La muestra en estudio NO presenta una distribución Normal

En la figura 44 se muestra los pasos a seguir para poder evaluar la veracidad

**Figura 44**

*Diagrama de evaluación de la veracidad*



En la tabla 7 se muestra el resumen de los valores obtenidos para los MRI

**Tabla 7**

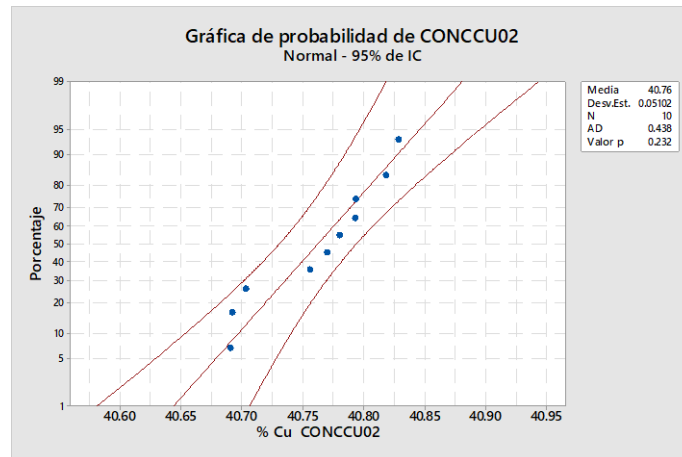
*Resumen de valores obtenidos para los materiales de referencia interno*

N°	Material de referencia interno	% Cu	Material de referencia interno	% Cu
1		40,82		37,40
2		40,83		37,46
3		40,79		37,47
4		40,70		37,42
5		40,69		37,48
6	CONCCU02	40,69	CONCCU03	37,46
7		40,77		37,41
8		40,76		37,37
9		40,79		37,42
10		40,78		37,34

En las figuras 45 y 46 se muestra las gráficas de probabilidad del porcentaje de cobre obtenidos para los materiales de referencia interno, estos datos nos ayudaran a comprender el tipo de distribución.

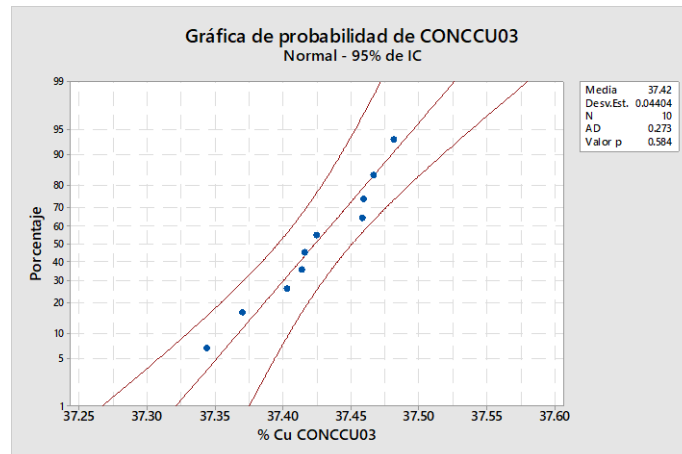
**Figura 45**

*Gráfica de probabilidad de porcentaje de cobre MRI CONCCU02.*



**Figura 46**

*Gráfica de probabilidad de porcentaje de MRI CONCCU03*



En el método 2, observamos valores de  $p \geq 0,05$ . Los puntos resultantes siguen una línea aproximadamente recta y el estadístico de Anderson-Darling muestra que los valores p para ambos criterios son mayores que 0,05, lo que indica que los datos son normales.

#### **4.2.2. Prueba de Datos Atípicos: Test de Grubbs**

Se utiliza para la identificación y el rechazo de los valores atípicos, de un conjunto de datos normalmente distribuidos, la prueba busca si un valor mínimo o máximo es dato



atípico el cual compara el valor sospechoso y la media muestral, con la desviación estándar de la muestra.

$$G = \frac{\text{valor sospechoso} - \bar{x}}{\delta}$$

Dónde:

G = Valor de Grubbs experimental.

X sospechoso = Valor a evaluar (mínimo o máximo según sea el caso).

$\bar{x}$  = Media muestral.

$\delta$  = Desviación estándar.

G<sub>Tabla</sub> = Valor de Referencia correspondiente a el tamaño de muestra y nivel de confianza.

**Criterio**

$$G < G_{\text{Tabla}}$$

Se concluye que el dato en evaluación no es atípico.

En la tabla 8 se está evaluando si existe datos atípicos dentro del grupo de resultados de los materiales de referencia interno.

**Tabla 8**

*Escrutinio de datos atípicos*

N°	Material de referencia interno	% Cu	Material de referencia interno	% Cu
1		40,82		37,40
2		40,83		37,46
3		40,79		37,47
4		40,70		37,42
5		40,69		37,48
6	CONCCU02	40,69	CONCCU03	37,46
7		40,77		37,41
8		40,76		37,37
9		40,79		37,42
10		40,78		37,34
promedio		40,76		37,42
desviación estándar		0,05102		0,04404
Grubbs mayor		1,30		1,31
Grubbs menor		1,41		1,81
Grubbs de tabla al 95%		2,29		2,29

**Conclusión para el test de Grubbs.** Tanto el Grubbs mayor como el Grubbs menor para ambos materiales de referencia interno son menores al de Grubbs de tabla al 95% de confianza, por lo tanto, los valores extremos analizados no son valores atípicos.

#### 4.3. Evaluación de la Veracidad

##### 4.3.1. Prueba de Significancia de t-Student vs t-Crítico

Para determinar que no existe diferencia significativa entre el valor obtenido en el análisis empleando el método 2 en estudio y el valor de referencia. Calcular el valor de t-student experimental a partir de los datos experimentales usar la siguiente fórmula:

$$t_{cal} = \frac{|V_{ref} - V_{Laboratorio}|}{S} \times \sqrt{n}$$

**Donde:**

Vref: valor de referencia

V<sub>laboratorio</sub>: media del valor obtenido en los ensayos

S: desviación estándar

##### **Contraste de Hipótesis**

Para comparar las hipótesis de los datos, la prueba se realiza de la siguiente manera, cuando se determina el tipo de distribución que representan los datos..

En la tabla 9 se muestra el tipo de prueba a usar dependiendo de la distribución de los datos de los materiales de referencia interno.

**Tabla 9**

*Decisión de tipo de prueba a emplear*

Distribución	Prueba a usar
Normal P-Valor $\geq 0,05$	Prueba de significancia de T-student (paramétrica)
No Normal P-Valor $< 0,05$	Prueba de Wilcoxon (No paramétrica)

En la tabla 10 se muestra los resultados de los patrones interno en la cual se está calculando el promedio y la desviación estándar para poder calcular la veracidad.

**Tabla 10***Resumen de valores de materiales de referencia*

N°	material de referencia interno	% Cu ConcCu02	material de referencia interno	% Cu ConcCu03
1		40,82		37,40
2		40,83		37,46
3		40,79		37,47
4		40,70		37,42
5		40,69		37,48
6	CONCCU02	40,69	CONCCU03	37,46
7		40,77		37,41
8		40,76		37,37
9		40,79		37,42
10		40,78		37,34
promedio		40,76		37,42
desviación estándar		0,05102		0,04404

**Cálculo del T-student para material de referencia interno CONCCU02**

Valor de referencia CONCCu02 = 40,727

$$t_{\text{Laboratorio}} = \frac{|40,727 - 40,76|}{0,05102} \cdot \sqrt{10}$$

$$t_{\text{Laboratorio}} = 2,19$$

$$t_{\text{crítico}} = 2,26$$

$$t_{\text{Laboratorio}}: 2,19 < t_{\text{crítico}}: 2,26$$

Se concluye que el  $t_{\text{Laboratorio}}$  es menor que el  $t_{\text{crítico}}$  por lo tanto el método 2 es veraz, para el material de referencia interno CONCCU02

**Cálculo del T-student para material de referencia interno CONCCU03**

Valor de referencia CONCCu03 = 37,41

$$t_{\text{Laboratorio}} = \frac{|37,41 - 37,42|}{0,04404} \cdot \sqrt{10}$$

$$t_{\text{Laboratorio}} = 0,97$$

$$t_{\text{crítico}} = 2,26$$

$$t_{\text{Laboratorio}} 0,97 < t_{\text{crítico}}: 2,26$$

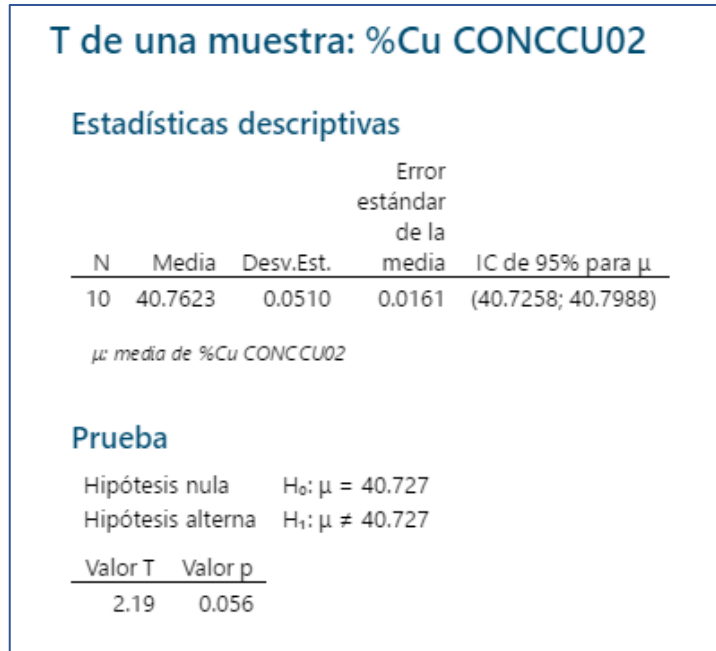
Se concluye que el  $t_{\text{Laboratorio}}$  es menor que el  $t_{\text{crítico}}$  por lo tanto el método 2 es veraz, para el material de referencia interno CONCCU03.

### 4.3.2. t-Student de una Muestra Usando Software Minitab.

En la figura 47 y 48 se muestra la prueba de t-Student usando el software minitab.

**Figura 47**

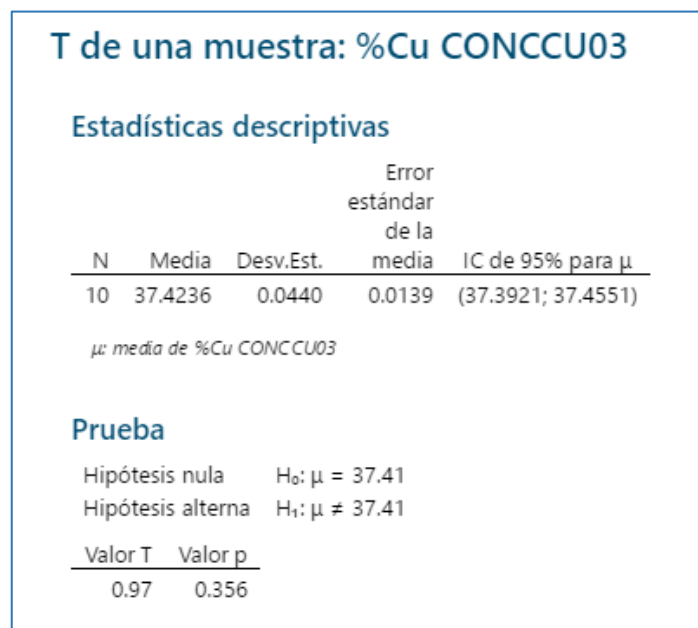
*T de muestra porcentaje de cobre CONCCU02*



*Nota:* el valor de P es  $\geq 0,05$ , la muestra del estudio es una muestra veraz.

**Figura 48**

*T de muestra porcentaje de cobre CONCCU03*



*Nota:* el valor de P es  $\geq 0,05$ , la muestra del estudio es una muestra veraz.

#### 4.4. Determinación de la Precisión

Desviación estándar relativa: RSDr

Calcular el promedio y la desviación estándar y calcular el RSDr (%) de la siguiente manera:

$$RSDr(\%) = \frac{S}{\bar{X}} * 100$$

Dónde:

S: Desviación estándar obtenido de los valores experimentales.

$\bar{X}$ : Promedio de los valores experimentales.

Tomar como valor de referencia para la precisión (Teórico) calculado  $RSD_R$  (%) a partir del valor del contenido del material de referencia usando la ecuación de Horwitz:

$$RSD_R(\%) = 2^{(1-0,5 \times \log(C))}$$

Donde:

C: concentración del MRI expresado como potencia de 10:

Si las unidades se expresan en porcentaje (%): dividir el valor del contenido C por 100

**Criterio:**

$$RSD_r < 0,67 * RSD_R$$

Donde:

RSDr: Desviación estándar relativa de datos experimentales.

$RSD_R$ : Desviación estándar relativa a partir de la ecuación de Horwitz

Si uno de los valores de RSDr es mayor que el  $RSD_R$  quiere decir que el método no cumple con la precisión.

**Determinación de  $RSD_r$  y  $RSD_R$  para el material de referencia interno conccu02**

Desviación estándar relativa de datos experimentales (RSDr)

$$RSD_r = \frac{0,05102}{49,76} * 100$$

$$RSD_r = 0,1252 \%$$

: Desviación estándar relativa a partir de la ecuación de Horwitz ( $RSD_R$ )

$$RSD_R = 2^{(1-0,5 \cdot \log(40,727/100))} = 2,2895 \%$$

$$RSD_R = 0,67 \cdot 2,2895 \%$$

$$RSD_R = 1,534 \%$$

Se concluye que:

$$RSD_r (0,1252\%) < RSD_R (1,534\%)$$

La desviación estándar relativa  $RSD_r$  es menor a la de  $RSD_R$  de Horwitz por tanto se acepta la hipótesis nula "Ho" y se concluye que los resultados son precisos.

### ***Determinación de $RSD_r$ y $RSD_R$ para el material de referencia interno conccu03***

Desviación estándar relativa de datos experimentales ( $RSD_r$ )

$$RSD_r = \frac{0,04404}{37,42} * 100$$

$$RSD_r = 0,1177 \%$$

Desviación estándar relativa a partir de la ecuación de Horwitz ( $RSD_R$ )

$$RSD_R = 2^{(1-0,5 \cdot \log(37,41/100))} = 2,319 \%$$

$$RSD_R = 0,67 \cdot 2,319$$

$$RSD_R = 1,537 \%$$

Se concluye que:

$$RSD_r (0,1177 \%) < RSD_R (1,537 \%)$$

La desviación estándar relativa  $RSD_r$  es menor a la de  $RSD_R$  de Horwitz por tanto se acepta la hipótesis nula "Ho" y se concluye que los resultados son precisos

#### 4.5. Contraste t Para Datos Emparejados

Es para comparar dos métodos de análisis estudiando muestras de ensayo que contienen diferentes cantidades de analito.

Se va comparar 10 muestras analizadas con el método 1 con el método 2 en estudio para ver si difieren significativamente.

**Cálculo:**

$$t_{cal} = \frac{\bar{d}\sqrt{n}}{S_d}$$

Donde:

$\bar{d}$ : Media de la diferencia que forman cada par

$S_d$ : Desviación estándar de la diferencia que forman cada par

n: Número de datos

En la tabla 11 se muestra el criterio para t para datos emparejados

**Tabla 11**

*Criterio de aceptación de la hipótesis*

Criterio	Conclusión
Hipótesis nula $H_0: \bar{d}=0$ p-valor $\geq 0,05$	Los dos métodos no difieren significativamente para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$
Hipótesis alterna $H_a: \bar{d} \neq 0$ p-valor $< 0,05$	Los dos métodos difieren significativamente.

En la tabla 12 se muestra un resumen de datos del cobre metálico.

**Tabla 12**

*Datos del cobre metálico para el ensayo del método 2*

	Peso de cobre metálico	Gasto de tiosulfato de sodio	Factor volumétrico	promedio factor volumétrico
Prueba 1	0,2026	39,395	0,0051428	0,0051426
	0,2001	38,895	0,0051446	
	0,1988	38,675	0,0051403	
Prueba 2	0,1975	38,365	0,0051479	0,0051468
	0,2015	39,135	0,0051488	
	0,2032	39,505	0,0051437	

En la tabla 13 se tiene una recopilación de datos de la prueba de ensayo empleando el método 2

**Tabla 13**

*Recopilación de datos de muestras de ensayo por el método 2*

	Peso de muestra	Gasto de tiosulfato de sodio	Factor volumétrico	% Cu método 2
Muestra 1	0,5005	34,045		34,98
Muestra 2	0,5011	35,940		36,88
Muestra 3	0,5008	31,915	0,0051426	32,77
Muestra 4	0,4998	40,640		41,82
Muestra 5	0,4995	29,605		30,48
Muestra 6	0,4994	27,680		28,50
Muestra 7	0,5015	28,040		28,78
Muestra 8	0,5012	36,540	0,0051468	37,52
Muestra 9	0,5018	33,610		34,47
Muestra 10	0,4994	35,960		37,06

En la tabla 14 se muestra datos de resultados del método 1 y método 2.

**Tabla 14**

*Comparación de muestras trabajadas con el método 1 y método 2*

	% Cu método 1	% Cu método 2	Diferencia met1 - met2	Promedio	Desviación estándar
Prueba 1	34,84	34,98	-0,141		
Prueba 2	36,94	36,88	0,056		
Prueba 3	32,82	32,77	0,047		
Prueba 4	41,86	41,82	0,045	0,014	0,10266
Prueba 5	30,59	30,48	0,110		
Prueba 6	28,43	28,50	-0,073		
Prueba 7	28,71	28,78	-0,067		
Prueba 8	37,42	37,52	-0,103		
Prueba 9	34,58	34,47	0,107		
Prueba 10	37,22	37,06	0,160		

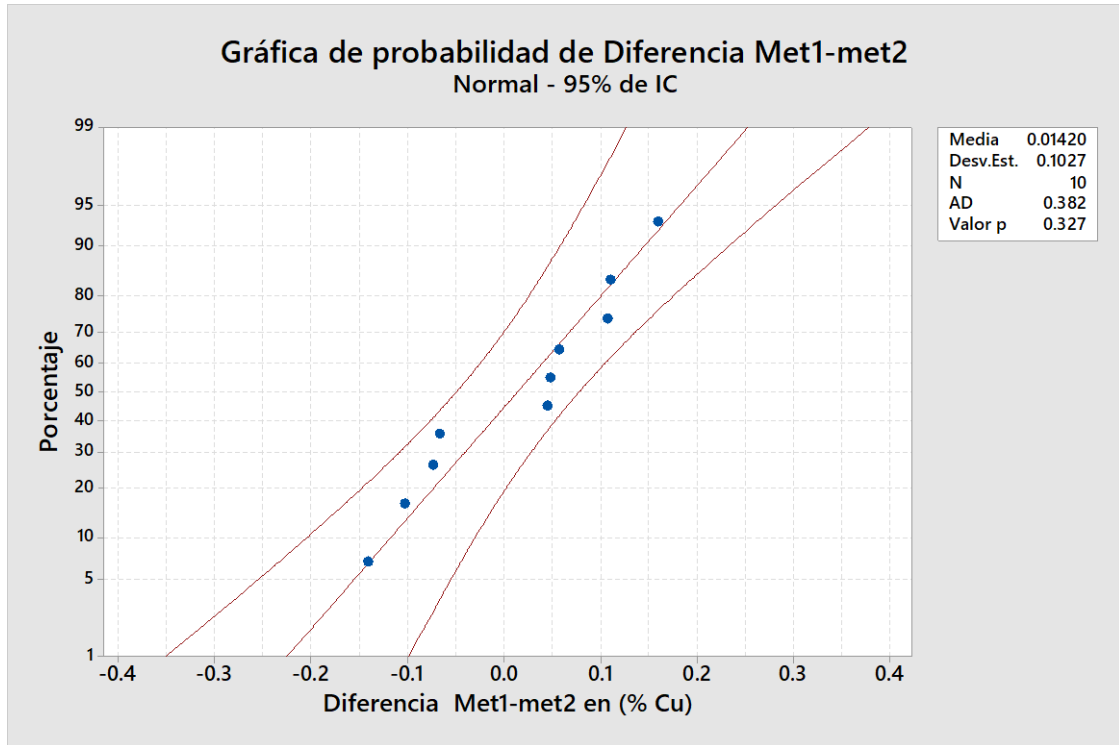
#### **4.5.1. Prueba de Normalidad de Anderson Darling Para Diferencia Entre los Métodos 1 y 2**

En las figuras 49 se muestra la gráfica de probabilidad de la diferencia de porcentaje de cobre obtenidos con ambos métodos.



**Figura 49**

*Probabilidad de diferencia de porcentaje entre el metodo 1 y metodo 2*



*Nota:* P-Valor  $\geq 0,05$  los datos de la diferencia de los métodos 1 y 2, poseen una distribución normal.

**Cálculo del T-student para diferencia entre el método 1 y método 2**

$$t_{\text{calc}} = \frac{0,142}{0,10266} \cdot \sqrt{10}$$

$$t_{\text{calc}} = 0,44$$

$$t_{\text{crítico}} = 2,26$$

$$t_{\text{cal}}: 0,44 < t_{\text{crítico}}: 2,26$$

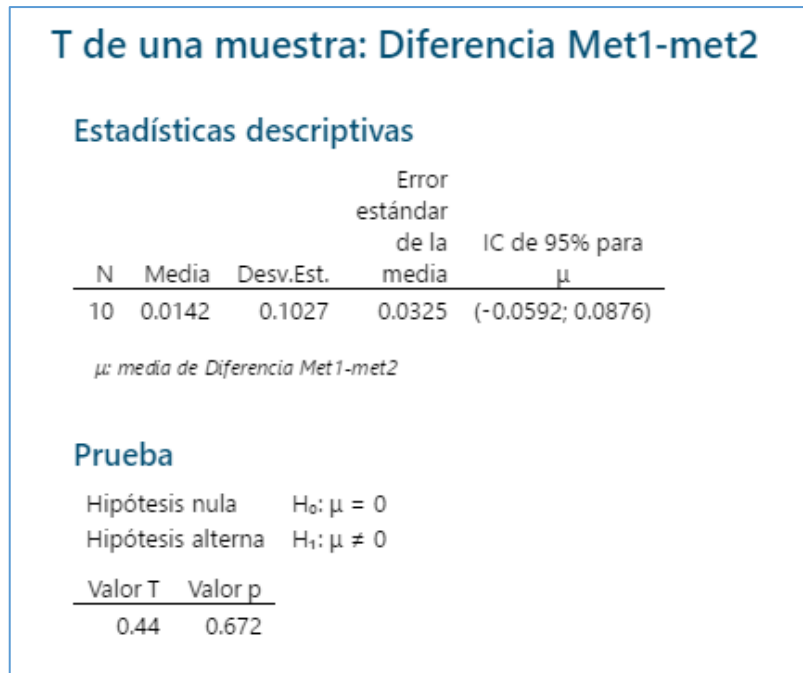
Se conclusión que el  $t_{\text{cal}}$  de la diferencia es menor que el  $t_{\text{crítico}}$  por lo tanto no hay diferencia significativa entre los dos métodos.

**4.5.2. Contraste t Para Datos Emparejados Usando Minitab**

La figura 50 muestra la prueba de t para datos emparejados usando el software minitab.

**Figura 50**

*T student de la diferencia entre método 1 y método 2*



*Nota:* P-Valor  $\geq 0,05$  entonces las muestra en estudio NO difieren significativamente entre los dos métodos.

En la tabla 15 se muestra un cuadro comparativo de tiempo de cada etapa de análisis para los dos métodos de análisis de cobre por volumetría, método 2 es del método en estudio.

**Tabla 15**

*Tiempo de proceso en análisis volumétrico de cobre*

Etapas del proceso de análisis	Método (1)	Método (2)
Pesado	40	40
Ataque químico con ácido clorhídrico	30	
Ataque químico con ácido perclorico y ácido nítrico	30	30
Digestión con ácido Sulfúrico	60	
Hervir para reducir el volumen de agua	50	10
Acondicionamiento	10	10
Titulación	40	40
Tiempo total de proceso	4 horas, 20 minutos	2 horas, 10 minutos

## CONCLUSIONES

Se logró optimizar el tiempo en la determinación de cobre por el método volumétrico en la unidad minera Las Bambas, teniendo en cuenta que el método anterior tenía un tiempo de análisis de 4 horas con 20 minutos y para el método optimizado es de 2 horas con 10 minutos.

Se logro reducir la dosificación de ácidos para el método de cobre por volumetría, la diferencia se debe a que en el método optimizado ya no se usa el ácido clorhídrico y ácido sulfúrico.

Se Evaluó estadísticamente la precisión y veracidad del método en estudio. Con materiales de referencia interno CONCCu02 y CONCCu03, La validez de estos resultados de se probó utilizando la T estadística de una muestra. El valor de P fue superior a 0,05. Se evaluó que los resultados obtenidos cumplieron con el objetivo del método y proporcionaron exactitud con la precisión y veracidad.

Se realizó una prueba de normalidad para el cual se usó la prueba Anderson Darling dando un P-valor mayor a 0,05. Por lo que se puede decir que los datos con un nivel de confianza del 95% se obtuvieron de una distribución normal.

## RECOMENDACIONES

1. Después de desarrollar este trabajo, optimización del método volumétrico en el proceso de determinación de cobre en la Unidad Minera las Bambas S.A. Se sugieren las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones:
2. Emplear el método optimizado en la determinación volumétrica de cobre para muestras puntuales ya que se mejora el tiempo de entrega de resultados.
3. Realizar la Validación del método optimizado en la determinación volumétrica de cobre en la empresa minera las Bambas S.A. para poder alcanzar una acreditación con la norma NTP ISO/IEC 17025 que es requisito general para la competencia de laboratorio de ensayo y calibración.
4. Cada laboratorio debe contar con un área de desarrollo para poder mejorar cada método analítico, para así reducir costos y tiempos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bii ® Asesores en sistemas 17025. (27-29 de Octubre de 2010). *Obtenido de uso de la ecuación de horwitz en laboratorios de ensayos* :  
<https://www.bii.mx/documentos/horwitzCm10.pdf>
- CENAM. (2005). *Métodos analíticos adecuados a su propósito*. Guía de laboratorio para validación de métodos y tópicos relacionados. CNM-MRDPT-030
- CUAJONE. (2004). *Flotación de minerales*. South service engineers srl
- EURACHEM (1998). *La Idoneidad de los Métodos Analíticos Guía de Laboratorio para la Validación de Métodos y Temas Conexos*. Teddington Middlesex.
- EURACHEM. (2014). *La adecuación al uso de métodos analíticos*. Obtenido de  
[https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/MV\\_guide\\_2nd\\_ed\\_ES.pdf](https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/MV_guide_2nd_ed_ES.pdf)
- Quispe, C. (2017). *Informe técnico de experiencia profesional: validación del método de ensayo “determinación de cobre por volumetría en matriz concentrado de cobre” en el laboratorio químico cerro corona administrado por SGS del Perú SAC*.
- Skoog, D., Holler, J. y Crouch, S. (2007). *Principios de análisis instrumental*. Mexico: Cengage Learning Editores. sexta edición. México.
- Miller, N. Y. (2002). *Estadística y Quimiometría para química analítica*. Madrid: Pearson educación SA.
- Morillas, E. (2016). *La adecuación al uso de los métodos analíticos*. Valencia: s.e.

## ANEXOS

Se muestran las tablas (16 y 17) para usar en contraste estadístico

**Tabla 16**

*Valores críticos de G ( $p=0,05$ ) para contraste de dos colas.*

<i>Tamaño de muestra</i>	<i>Valor crítico</i>
3	1.155
4	1.481
5	1.715
6	1.887
7	2.020
8	2.126
9	2.215
10	2.290

Tomados de *Outliers in Statistical data*, Vic Barnett and Toby Lewis, 2nd Edition, 1984, John Wiley & Sons Limited.



**Tabla 17**

*La distribución t*

<i>Valor de t para un intervalo de confianza de</i> <i>Valor crítico de  t  para valores de P de número</i> <i>de grados de libertad</i>	<i>90%</i>	<i>95%</i>	<i>98%</i>	<i>99%</i>
	<i>0.10</i>	<i>0.05</i>	<i>0.02</i>	<i>0.01</i>
1	6.31	12.71	31.82	63.66
2	2.92	4.30	6.96	9.92
3	2.35	3.18	4.54	5.84
4	2.13	2.78	3.75	4.60
5	2.02	2.57	3.36	4.03
6	1.94	2.45	3.14	3.71
7	1.89	2.36	3.00	3.50
8	1.86	2.31	2.90	3.36
9	1.83	2.26	2.82	3.25
10	1.81	2.23	2.76	3.17
12	1.78	2.18	2.68	3.05
14	1.76	2.14	2.62	2.98
16	1.75	2.12	2.58	2.92
18	1.73	2.10	2.55	2.88
20	1.72	2.09	2.53	2.85
30	1.70	2.04	2.46	2.75
50	1.68	2.01	2.40	2.68
∞	1.64	1.96	2.33	2.58

**Figura 51**

*Constancia de prueba*



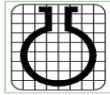
**CONSTANCIA DE PRUEBAS**

Conste por la presente que el señor ALEJANDRO GUTIERREZ ARANGO, identificado con DNI N° 41605691 ha realizado pruebas para la Optimización de tiempo en la determinación de cobre por el método volumétrico, en el laboratorio Químico de la unidad Minera las Bambas ubicado en el distrito de Chalhuanhuacho.

Se le expide dicha constancia en honor a la verdad para los fines que crea conveniente

Chalhuanhuacho, 18 de agosto del 2023

  
Ing. CARLOS CAÑARI MIRANDA  
Supervisor senior de laboratorio químico  
CIP 71766  
Unidad Minera las Bambas S.A.



J.A. Elmer

**ELMER JO ANAYA S.A.C.**  
**PRODUCTOS QUIMICOS - FABRICANTE**  
 ACIDO SULFURICO P.A., ACIDO CLORHIDRICO P.A.  
 ACIDO NITRICO P.A., NITRATO DE PLATA P.A., OTROS  
**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**  
**ÁCIDO SULFÚRICO P.A. - QP**

**Lote** : **C-244** **Fecha de Fabricación:** **07.12.2021**  
**Concentración** : **97.5 +/- 0.5 % (w/w)** **Fecha de Vencimiento:** **07.12.2023**  
**Aspecto** : Líquido incoloro libre de materia suspendida o insoluble

Elemento		ppm	% en peso
Aluminio (Al)	.....	0.024	0.0000024
Antimonio (Sb)	.....	< 0.010	< 0.0000010
Arsénico (As)	.....	< 0.010	< 0.0000010
Bario (Ba)	.....	< 0.020	< 0.0000020
Berilio (Be)	.....	< 0.020	< 0.0000020
Bismuto (Bi)	.....	< 0.040	< 0.0000040
Calcio (Ca)	.....	0.020	0.0000020
Cadmio (Cd)	.....	< 0.010	< 0.0000010
Cinc (Zn)	.....	< 0.050	< 0.0000050
Cobalto (Co)	.....	< 0.010	< 0.0000010
Cromo (Cr)	.....	< 0.020	< 0.0000020
Cobre (Cu)	.....	< 0.040	< 0.0000040
Estroncio (Sr)	.....	< 0.040	< 0.0000040
Hierro (Fe)	.....	0.019	0.0000019
Litio (Li)	.....	< 0.020	< 0.0000020
Magnesio (Mg)	.....	< 0.020	< 0.0000020
Manganeso (Mn)	.....	< 0.020	< 0.0000020
Mercurio (Hg)	.....	< 0.005	< 0.0000005
Molibdeno (Mo)	.....	< 0.040	< 0.0000040
Níquel (Ni)	.....	< 0.020	< 0.0000020
Plata (Ag)	.....	< 0.020	< 0.0000020
Plomo (Pb)	.....	< 0.010	< 0.0000010
Potasio (K)	.....	< 0.020	< 0.0000020
Sodio (Na)	.....	0.023	0.0000023
Talio (Tl)	.....	< 0.040	< 0.0000040
Vanadio (V)	.....	< 0.020	< 0.0000020
Amonio (NH <sub>4</sub> )	.....	< 2.000	< 0.0002000
Cloruros (Cl)	.....	< 0.200	< 0.0000200
Fosfatos (PO <sub>4</sub> )	.....	< 0.020	< 0.0000020
Metales Pesados	.....	< 5.000	< 0.0000500
Residuos después de calcinación	.....	< 5.000	< 0.0005000

**Lima, 17 de diciembre de 2021**

Todos los Elementos Metálicos y el Fosfato son determinados por Espectrometría de Emisión Óptica de Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES).

El Amonio es determinado por colorimetría, el Cloruro por turbidimetría.

**Quím. Felipe Nolasco C.**  
**Nro. CQP 1097**

Supervisor de Laboratorio y Control de Calidad

Jr. El Níquel 277 Los Olivos - Lima - Perú Teléfonos: (511) 528-3221 / 528-1032  
 e-mail: elmer@joanaya.com, ejoanaya@gmail.com,  
 Web: www.quimicosjoanaya.com







Ácido Acético Glacial  
Baker Analyzed Reactivo  
Libre de Aldehidos

No. de Producto: 9508  
No. de Lote: C39W67  
Fecha de Manufactura:  
2021/09/14

## Certificado de Análisis

PRUEBAS	ESPECIFICACIONES	RESULTADOS
<b>Cumple Especificaciones ACS</b>		
<b>Cumple Esp. para pruebas Monogr.en Reactivos USP/NF</b>		
Ensayo (CH <sub>3</sub> COOH) (por CG)	Mín. 99.7%	99.98000 %
Anhidrido Acético ((CH <sub>3</sub> CO) <sub>2</sub> O)	Máx. 0.01%	0.00100 %
Color (APHA)	Máx. 10	5.0
Prueba de Dilución	Pasa prueba	Pasa prueba
Acetaldehido	Máx. 0.005 %	0.00100 %
Sustancias Reductoras por Dicromato	Pasa prueba	Pasa prueba
Sustancias Reductoras del Permanganato	Pasa prueba	Pasa prueba
Base Titulable (meq/g)	Máx. 0.0004	0.0002 (meq/g)
<b>Trazas de Impurezas (ppm)</b>		
Cloruro (Cl)	Máx. 1.0 ppm	0.300 ppm
Residuo Después de Evaporación	Máx. 10.0 ppm	3.000 ppm
Sulfato (SO <sub>4</sub> )	Máx. 1.0 ppm	0.400 ppm
<b>Trazas de Impurezas (ppb)</b>		
Arsénico y Antimonio (como As)	Máx. 50.0 ppb	50.00 ppb
Boro (B)	Máx. 100.00 ppb	30.00 ppb
Cromo (Cr)	Máx. 200.00 ppb	2.00 ppb
Cobalto (Co)	Máx. 100.00 ppb	10.00 ppb
Cobre (Cu)	Máx.100.00 ppb	10.00 ppb
Metales Pesados (como Pb)	Máx.500 ppb	10.00 ppb
Hierro (Fe)	Máx. 200.00 ppb	10.00 ppb
Plomo (Pb)	Máx. 300.00 ppb	10.00 ppb
Manganeso (Mn)	Máx. 200.00 ppb	10.00 ppb
Níquel (Ni)	Máx. 100.00 ppb	4.00 ppb
Potasio (K)	Máx. 300.00 ppb	8.00 ppb
Estaño (Sn)	Máx. 100.00 ppb	17.00 ppb
Titanio (Ti)	Máx. 300.00 ppb	10.00 ppb
Zinc (Zn)	Máx. 200.00 ppb	3.00 ppb

País de Origen: USA  
Fecha de caducidad: 2026/09/14

  
Jamie Ethier  
Vice President Global Quality

Avantor Performance Materials S.A. de C.V. Plomo No. 2 Esfuerzo Nacional, Xalostoc, 55320 Ecatepec, Edo. de México  
Phone. 5699-0250 01-800-70-01800



# Certificate of Analysis

1.00456.9026 Nitric acid 65% for analysis EMSURE® Reag. Ph Eur,ISO  
Batch K54663356

	Spec. Values		Batch Values	
Assay (alkalimetric)	≥ 65.0	%	65.4	%
Identity	passes test		passes test	
Appearance	passes test		passes test	
Color (Hazen)	≤ 10	Hazen	3	Hazen
Density (d 20/20)	1.384 - 1.416		1.395	
Chloride (Cl)	≤ 0.2	ppm	< 0.2	ppm
Phosphate (PO <sub>4</sub> )	≤ 0.2	ppm	< 0.1	ppm
Sulfate (SO <sub>4</sub> )	≤ 0.5	ppm	< 0.5	ppm
Heavy metals (as Pb)	≤ 0.2	ppm	< 0.1	ppm
Ag (Silver)	≤ 0.010	ppm	< 0.005	ppm
Al (Aluminium)	≤ 0.050	ppm	< 0.010	ppm
As (Arsenic)	≤ 0.010	ppm	< 0.002	ppm
Au (Gold)	≤ 0.050	ppm	< 0.005	ppm
Ba (Barium)	≤ 0.010	ppm	< 0.005	ppm
Be (Beryllium)	≤ 0.010	ppm	< 0.005	ppm
Bi (Bismuth)	≤ 0.020	ppm	< 0.010	ppm
Ca (Calcium)	≤ 0.100	ppm	< 0.050	ppm
Cd (Cadmium)	≤ 0.010	ppm	< 0.005	ppm
Co (Cobalt)	≤ 0.010	ppm	< 0.005	ppm
Cr (Chromium)	≤ 0.020	ppm	< 0.005	ppm
Cu (Copper)	≤ 0.010	ppm	< 0.005	ppm
Fe (Iron)	≤ 0.100	ppm	< 0.020	ppm
Ga (Gallium)	≤ 0.050	ppm	< 0.010	ppm
Ge (Germanium)	≤ 0.020	ppm	< 0.010	ppm
In (Indium)	≤ 0.020	ppm	< 0.010	ppm
K (Potassium)	≤ 0.100	ppm	< 0.010	ppm
Li (Lithium)	≤ 0.010	ppm	< 0.010	ppm
Mg (Magnesium)	≤ 0.050	ppm	< 0.010	ppm
Mn (Manganese)	≤ 0.010	ppm	< 0.005	ppm
Mo (Molybdenum)	≤ 0.010	ppm	< 0.005	ppm
Na (Sodium)	≤ 0.200	ppm	< 0.200	ppm
Ni (Nickel)	≤ 0.020	ppm	< 0.010	ppm
Pb (Lead)	≤ 0.010	ppm	< 0.010	ppm
Pt (Platinum)	≤ 0.100	ppm	< 0.010	ppm
Sr (Strontium)	≤ 0.010	ppm	< 0.010	ppm
Ti (Titanium)	≤ 0.020	ppm	< 0.010	ppm
Tl (Thallium)	≤ 0.020	ppm	< 0.020	ppm
V (Vanadium)	≤ 0.010	ppm	< 0.010	ppm
Zn (Zinc)	≤ 0.020	ppm	< 0.010	ppm
Zr (Zirconium)	≤ 0.020	ppm	< 0.020	ppm
Residue on ignition (as SO <sub>4</sub> )	≤ 3	ppm	< 3	ppm
Tested by the dithizone	passes test		passes test	

Merck KGaA, Frankfurter Straße 250, 64293 Darmstadt (Germany): +49 6151 72-0  
EMD Millipore Corporation - a subsidiary of Merck KGaA, Darmstadt, Germany  
400 Summit Drive, Burlington, MA 01803, USA, Phone +1 (781) 533-6000

Page 1 of 2

# Certificate of Analysis

---

1.00456.9026 Nitric acid 65% for analysis EMSURE® Reag. Ph Eur,ISO  
Batch K54663356

---

Date of expiry: see product label  
ISO-reagent

Date of release (DD.MM.YYYY) 15.08.2022

Dr. Nina Hegmann  
Responsible laboratory manager quality control

---

This document has been produced electronically and is valid without a signature.



J.A. Elmer

**ELMER JO ANAYA S.A.C.**  
**PRODUCTOS QUIMICOS - FABRICANTE**  
 ACIDO SULFURICO P.A., ACIDO CLORHIDRICO P.A.  
 ACIDO NITRICO P.A., NITRATO DE PLATA P.A., OTROS

**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**  
**ÁCIDO CLORHÍDRICO P.A. - Q.P.**

Lote : **A-273** Fecha de Fabricación : **16.09.2021**  
 Concentración : **37.5 +/- 0.5% (en peso)** Fecha de Vencimiento : **16.09.2023**  
 Aspecto Líquido incoloro, libre de materia suspendida o sedimento

Elemento	ppm	% en peso
Aluminio (Al)	0.021	0.000021
Antimonio (Sb)	< 0.020	< 0.000020
Arsénico (As)	< 0.010	< 0.000010
Bario (Ba)	< 0.020	< 0.000020
Berilio (Be)	< 0.020	< 0.000020
Bismuto (Bi)	< 0.040	< 0.000040
Calcio (Ca)	0.060	0.000060
Cadmio (Cd)	< 0.020	< 0.000020
Cinc (Zn)	< 0.050	< 0.000050
Cobalto (Co)	< 0.020	< 0.000020
Cromo (Cr)	< 0.020	< 0.000020
Cobre (Cu)	< 0.020	< 0.000020
Estaño (Sn)	< 0.020	< 0.000020
Estroncio (Sr)	< 0.020	< 0.000020
Hierro (Fe)	0.031	0.000031
Litio (Li)	< 0.020	< 0.000020
Magnesio (Mg)	0.012	0.000012
Manganeso (Mn)	< 0.020	< 0.000020
Mercurio (Hg)	< 0.005	< 0.000005
Molibdeno (Mo)	< 0.040	< 0.000040
Níquel (Ni)	< 0.020	< 0.000020
Plata (Ag)	< 0.020	< 0.000020
Plomo (Pb)	< 0.010	< 0.000010
Potasio (K)	< 0.050	< 0.000050
Sodio (Na)	0.060	0.000060
Talio (Tl)	< 0.040	< 0.000040
Vanadio (V)	< 0.020	< 0.000020
Amonio (NH <sub>4</sub> )	< 3.000	< 0.003000
Bromuro (Br)	< 30.00	< 0.030000
Cloro libre (Cl <sub>2</sub> )	< 1.000	< 0.001000
Fosfatos (PO <sub>4</sub> )	< 0.200	< 0.000200
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	< 1.000	< 0.001000
Sulfitos (SO <sub>3</sub> )	< 1.000	< 0.001000
Metales Pesados	< 1.000	< 0.001000
Residuos después de calcinación	< 5.000	< 0.005000

Lima, 24 de setiembre 2021

Todos los Elementos Metálicos y el Fosfato son determinados por Espectrometría de Emisión Óptica de Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES).  
 El sulfato es determinado por turbidimetría; el sulfito por valoración iodimétrica, el amonio, el bromuro y el cloro libre por colorimetría.

**Quim. Felipe Nolasco C.**  
**Nro. CQP 1097**  
 Supervisor de Laboratorio y Control de Calidad

Jr. El Níquel 277 Los Olivos - Lima - Perú Teléfonos: (511) 528-3221 / 528-1032  
 e-mail: elmer@joanaya.com, ejoanaya@gmail.com,  
 Web: www.quimicosjoanaya.com

**UNSCH**FACULTAD DE INGENIERÍA  
**QUÍMICA Y**  
METALURGIA**ACTA DE EXPOSICIÓN DEL INFORME DE TRABAJO PROFESIONAL:****“OPTIMIZACION DE TIEMPO EN LA DETERMINACION DE COBRE POR EL METODO VOLUMETRICO, REALIZADO EN LA UNIDAD MINERA LAS BAMBAS S.A”****Expositor: Alejandro GUTIERREZ ARANGO**  
**Bachiller en Ingeniería Química**

Exp. N°2363761

Resolución Decanal N° 052-2024-UNSCH-FIQM/D

Fecha: 24-01-2024.

-1-

En la Sala de Conferencia “Pedro Villena Hidalgo” de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, ubicada en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, realiza la Exposición de Informe de Experiencia Profesional modalidad: presencial, siendo las diez de la mañana con cinco minutos del día viernes veintiséis de enero del año dos mil veinticuatro, se reunieron el Bachiller en Ingeniería Química **Alejandro GUTIERREZ ARANGO**, los docentes Miembros de la Comisión de Recepción del Informe de Trabajo Profesional **“OPTIMIZACION DE TIEMPO EN LA DETERMINACION DE COBRE POR EL METODO VOLUMETRICO, REALIZADO EN LA UNIDAD MINERA LAS BAMBAS S.A”** Ingenieros: Mg. Tarcila ALCARRAZ ALFARO, Mg. Abraham Fernando TREJO ESPINOZA e Mg. Luis Alberto COSSIO HERRERA, bajo la Presidencia del Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA (Decano de la Facultad), el Mg. Wuelde Cesar DIAZ MALDONADO (Secretario-Docente(e)) y el público asistente.

Acto seguido, el Presidente del Jurado de Exposición dispuso que el Secretario Docente dé lectura a los antecedentes tramitados para el presente Acto Público de Exposición de Informe de Experiencia Profesional: **“OPTIMIZACION DE TIEMPO EN LA DETERMINACION DE COBRE POR EL METODO VOLUMETRICO, REALIZADO EN LA UNIDAD MINERA LAS BAMBAS S.A”**, presentado por el Bachiller **Alejandro GUTIERREZ ARANGO**. A continuación, el Secretario-Docente(e) procedió a dar lectura a la Resolución Decanal N° 052-2024-UNSCH-FIQM/D.

Luego, el Presidente del Jurado invitó al Bachiller **Alejandro GUTIERREZ ARANGO**, a través de la exposición presencial de su Informe de Experiencia Profesional en un tiempo máximo de cuarenta minutos.

Culminada esta etapa el Presidente de la Comisión autorizó la participación con sus preguntas a los docentes Miembros de la Comisión de Recepción del Informe de Experiencia Profesional en el siguiente orden: Mg. Luis Alberto COSSIO HERRERA, Mg. Abraham Fernando TREJO ESPINOZA e Mg. Tarcila ALCARRAZ ALFARO.



**UNSCH**

FACULTAD DE INGENIERÍA  
**QUÍMICA Y**  
METALURGÍA

**ACTA DE EXPOSICIÓN DEL INFORME DE TRABAJO PROFESIONAL:  
“OPTIMIZACION DE TIEMPO EN LA DETERMINACION DE COBRE POR EL  
METODO VOLUMETRICO, REALIZADO EN LA UNIDAD MINERA LAS  
BAMBAS S.A”**

**Expositor: Alejandro GUTIERREZ ARANGO**  
**Bachiller en Ingeniería Química**

Exp. N°2363761

Resolución Decanal N° 052-2024-UNSCH-FIQM/D

Fecha: 24-01-2024.

Página 2 de 2

Luego participó el Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA en su condición de Presidente. Finalmente, el Presidente invitó a los asistentes a que participen con las preguntas que crean conveniente.

Al haber concluido la exposición, el Presidente de la Comisión de Recepción del Informe de Experiencia Profesional proclamó públicamente al **Bachiller en Ingeniería Química, Alejandro GUTIERREZ ARANGO** como flamante **INGENIERO QUÍMICO** y le augura éxitos en su desempeño profesional.

Siendo las once de la mañana con cuarenta y cinco minutos se dió por finalizado este Acto Académico, En fe de lo cual firmamos:

.....  
Dr. Agustín Julián PORTUGUEZ MAURTUA  
Presidente

.....  
Mg. Tarcila ALCARRAZ ALFARO  
Miembro

.....  
Mg. Abrahán Fernando TREJO ESPINOZA  
Miembro

.....  
Mg. Luis Alberto COSSIO HERRERA  
Miembro

.....  
Mg. Wuelde Cesar DIAZ MALDONADO  
Secretario Docente (e)



**UNSCH**

FACULTAD DE  
INGENIERÍA QUÍMICA Y  
METALURGIA

ESCUELA PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA QUÍMICA

**CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 001-2024-UNSCH-FIQM/EPIQ**

El que suscribe, Directora de la **Escuela Profesional de Ingeniería Química** de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, emite la siguiente:

**CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD**

Que, habiendo recibido el requerimiento de Constancia de Originalidad por parte del Bach. **Alejandro GUTIERREZ ARANGO**, se procedió a la evaluación y regularización de originalidad del archivo adjunto con el **TURNITIN - UNSCH**, de acuerdo a los criterios establecidos en el **Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH**, aprobado con Resolución del Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU; cuyos resultados son:

Informe de Experiencia Profesional: **Optimización de tiempo en la determinación de cobre por el método volumétrico, realizado en la Unidad Minera Las Bambas S.A.**

**Autor** : Bach.: Alejandro GUTIERREZ ARANGO  
**Identificado** : 2295907117  
**Fecha** : 15 de febrero de 2024  
**Archivo** : Informe de Experiencia Profesional

Se expide la presente constancia de originalidad, con reporte del **14 (catorce) % de ÍNDICE DE SIMILITUD** realizado con **Depósito de trabajos estándar**, a fin de proseguir con los trámites pertinentes; cabe señalar que, los documentos del procedimiento se archivan en el repositorio documental de la Escuela.

**Ayacucho, 16 de febrero de 2024**

  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA  
Mtro. Abraham Fernando TRED ESPINOZA  
DIRECTOR

Adjunto Reporte de Índice de Similitud  
cc. archivo

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
QUÍMICA Av. Independencia S/N –  
Ayacucho Telf. 066-312510 Anexo. 152 Correo:  
ep.quimica@unsch.edu.pe



# Optimización de tiempo en la determinación de cobre por el método volumétrico, realizado en la Unidad Minera Las Bambas S.A.

*por* Alejandro GUTIERREZ ARANGO

---

**Fecha de entrega:** 15-feb-2024 06:28p.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2295907117

**Nombre del archivo:** de\_Experiencia\_Profesional\_Gutierrez\_Alejandro\_Febrero\_2024.pdf (5.62M)

**Total de palabras:** 12390

**Total de caracteres:** 60542

# Optimización de tiempo en la determinación de cobre por el método volumétrico, realizado en la Unidad Minera Las Bambas S.A.

## INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	5%
2	vsip.info Fuente de Internet	2%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	empleogenerales.com Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	1%
6	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	SNC LAVALIN PERU S.A.. "Segundo ITS de la Tercera MEIA de la Unidad Minera Las	<1%

Bambas-IGA0012067", R.D. N° 126-2020-  
SENACE-PE/DEAR, 2020

Publicación

---

8	<b>idoc.pub</b> Fuente de Internet	<1 %
9	<b>doku.pub</b> Fuente de Internet	<1 %
10	<b>www.computrabajo.com.pe</b> Fuente de Internet	<1 %
11	<b>Submitted to Universidad Continental</b> Trabajo del estudiante	<1 %
12	<b>dokumen.pub</b> Fuente de Internet	<1 %
13	<b>www2.sgc.gov.co</b> Fuente de Internet	<1 %
14	<b>www.mch.cl</b> Fuente de Internet	<1 %
15	<b>repositorio.uchile.cl</b> Fuente de Internet	<1 %
16	<b>repositorio.undac.edu.pe</b> Fuente de Internet	<1 %
17	<b>repositorio.imta.mx</b> Fuente de Internet	<1 %

---

---

Excluir citas Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía Activo