

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERIA DE PROCESOS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA**



**INFORME TECNICO**

**LABORATORIO QUÍMICO - PLANTA CONCENTRADORA**

**ANTONIO RAYMONDI**

**PRESENTADO POR:**

Br. JOSE ADRIEL QUECCAÑO ESCALANTE

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO QUÍMICO EN LA MODALIDAD DE  
SERVICIOS A NIVEL PROFESIONAL**

**DIRECTOR DE INVESTIGACION:**

Dra. Ing. AMANDA ROSA MALDONADO FARFAN

**CUSCO – PERÚ**

**2024**

# INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

La que suscribe, ha sometido al sistema Turnitin, el informe técnico: "**LABORATORIO QUIMICO – PLANTA CONCENTRADORA ANTONIO RAYMONDI**" presentado por: JOSE ADRIEL QQUECCAÑO ESCALANTE, DNI N°75797327 para optar al Título Profesional de Ingeniero Químico. Informo que el Informe Técnico ha sido sometido a revisión por 01 vez, mediante el software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de laUNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 1 %.

**Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis**

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en condición de Directora de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Procesos, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 27 de agosto de 2024



.....  
Dra. Ing. Amanda Rosa MALDONADO FARFAN

DNI: 23822559

ORCID: 0000-0002-4870-7078 ✓

**Se adjunta:**

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio:

<https://unsaac.turnitin.com/viewer/submissions/oid:27259:376266227?locale=es-MX> ✓

NOMBRE DEL TRABAJO

**INFORME PLANTA ANTONIO RAYMONDI  
CUSCO.pdf**

AUTOR

**JOSE ADRIEL QQECCAÑO ESCALANTE**

RECUENTO DE PALABRAS

**12449 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**62768 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**81 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**1.8MB**

FECHA DE ENTREGA

**Aug 27, 2024 2:57 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Aug 27, 2024 3:00 PM GMT-5****● 1% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 1% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

**● Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)

## PRESENTACIÓN

Señor decano y distinguidos docentes del Departamento Académico de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de Procesos de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

En cumplimiento con el Reglamento de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, presento a su consideración el informe técnico realizado en el área de Laboratorio Químico de la empresa Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada Antonio Raymondi Cusco. Esta empresa se dedica a la concentración de minerales, y el laboratorio químico desempeña un papel fundamental en este proceso.

El área de laboratorio químico se enfoca en tres secciones principales: la preparación de muestras, el análisis por vía húmeda, y el análisis por vía seca. La preparación de muestras es esencial para garantizar la representatividad de los análisis, ajustando las condiciones de las muestras recolectadas para asegurar la exactitud en los resultados. Posteriormente, las muestras son analizadas por vía húmeda para determinar la composición de elementos metálicos como plomo, zinc y cobre, utilizando reactivos líquidos. Finalmente, el análisis por vía seca, que incluye métodos como el ensayo al fuego, permite cuantificar metales preciosos como oro y plata. Cada etapa es crucial para el control de calidad y la optimización del proceso de concentración de minerales.

**TABLA DE CONTENIDO**

PRESENTACIÓN.....	ii
TABLA DE CONTENIDO.....	iii
LISTA DE TABLAS .....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN .....	ix
CAPITULO 1 ASPECTOS GENERALES .....	1
1.1.    INTRODUCCIÓN.....	1
1.2.    OBJETIVOS DEL INFORME .....	1
1.2.1.  Objetivo General .....	1
1.2.2.  Objetivos Específicos.....	1
1.3.    PREPARACIÓN DE MUESTRAS.....	2
1.4.    VÍA HÚMEDA.....	3
1.5.    VÍA SECA.....	5
1.5.    DESCRIPCION DE LA PLANTA CONCENTRADORA.....	6
1.6.    CARACTERISTICAS DE LA PLANTA CONCENTRADORA .....	6
1.6.1.  Ubicación .....	6
1.6.2.  Operaciones y procesos unitarios de la planta concentradora.....	7

CAPITULO 2 SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD – LABORATORIO  
QUIMICO..... 14

2.1.	Elementos de una garantía de calidad.....	14
2.1.1.	Puntos de muestreo de la planta concentradora .....	15
2.2.	Preparación de muestras .....	22
2.2.1.	Muestreo de mineral.....	22
2.2.2.	Chancado de la muestra.....	23
2.2.3.	Pulverizado de muestras.....	24
2.3.	Análisis químico .....	25
2.3.1.	Análisis por Vía Húmeda .....	26
2.3.2.	Análisis por Vía Seca .....	44

CAPITULO 3 REPORTE DE ENSAYOS ..... 53

3.1.	Determinación de ley de cobre .....	53
3.2.	Determinación de ley de plomo.....	55
3.3.	Determinación de ley de zinc .....	57
3.4.	Determinación de ley de plata .....	58
3.5.	Determinación de ley de oro.....	60

CAPÍTULO IV APORTES PROFESIONALES ..... 63

4.1.	Implementación de un lavador de gases .....	63
4.2.	Descripción del Proceso en el Lavador de Gases .....	64

4.3. Especificaciones técnicas .....	67
CONCLUSIONES .....	75
RECOMENDACIONES.....	76
BIBLIOGRAFIA .....	77
ANEXOS .....	78

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 2.</b> Análisis de muestras de la planta concentradora .....	53
<b>Tabla 3.</b> Leyes de cobre de las muestras de la planta concentradora.....	54
<b>Tabla 4.</b> Análisis de plomo de muestras de la planta concentradora .....	55
<b>Tabla 5.</b> Leyes de plomo de las muestras de la planta concentradora .....	56
<b>Tabla 6.</b> Análisis de zinc de muestras de la planta concentradora.....	57
<b>Tabla 7.</b> Leyes de zinc de muestras de la planta concentradora .....	58
<b>Tabla 8.</b> Pesado de botones de plata de muestras de planta concentradora .....	59
<b>Tabla 9.</b> Leyes de plata para las muestras de la planta concentradora .....	60
<b>Tabla 10.</b> Pesado de botones de oro de muestras de planta concentradora .....	61
<b>Tabla 11.</b> Leyes de oro para las muestras de la planta concentradora.....	62
<b>Tabla 12.</b> Especificaciones técnicas de Componente 1: Entrada de gases contaminados .....	67
<b>Tabla 13.</b> Especificaciones técnicas de Componente 2: Depósito de solución alcalina .....	68
<b>Tabla 14.</b> Especificaciones técnicas de Componente 3: Bomba centrífuga .....	69
<b>Tabla 15.</b> Especificaciones técnicas de Componente 4: Válvula de control para evacuación .....	69
<b>Tabla 16.</b> Especificaciones técnicas de Componente 5: Salida de solución acidificada .....	70
<b>Tabla 17.</b> Especificaciones técnicas de Componente 6: Aspersor tipo espiral.....	71
<b>Tabla 18.</b> Especificaciones técnicas de Componente 7: Salida de gas limpio.....	72
<b>Tabla 19.</b> Especificaciones técnicas de Componente 8: Distribuidor de líquido.....	72
<b>Tabla 20.</b> Especificaciones técnicas de Componente 9: Lecho empaquetado .....	73
<b>Tabla 21.</b> Especificaciones técnicas de Componente 10: Tubería de recirculación .....	74

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Georreferenciación de la Planta Concentradora Antonio Raymondi .....	7
<b>Figura 2.</b> Operación de muestreo en los puntos estratégicos de la planta concentradora.....	15
<b>Figura 3.</b> Toma y verificación de peso de muestras en procesos de chancado.....	16
<b>Figura 4.</b> Muestra de malla D6 - 1 .....	17
<b>Figura 5.</b> Muestra de malla D10 - 1 .....	18
<b>Figura 6.</b> Toma de muestra en el punto D10-2.....	19
<b>Figura 7.</b> Obtención de la muestra de concentrado final .....	20
<b>Figura 8.</b> Toma de muestra en el relave .....	21
<b>Figura 9.</b> Operación de la preparación de muestras de acopio de mineral .....	22
<b>Figura 10.</b> Plancha de secado de muestras de minerales .....	24
<b>Figura 11.</b> Pulverizador de anillos .....	25
<b>Figura 12.</b> Proceso de flujo del análisis por vía húmeda.....	26
<b>Figura 13.</b> Reacciones químicas en el análisis de plomo - zinc .....	27
<b>Figura 14.</b> Ataque químico de las muestras .....	29
<b>Figura 15.</b> Sulfatación de las muestras.....	30
<b>Figura 16.</b> Filtración de las muestras .....	30
<b>Figura 17.</b> Punto de equilibrio para la concentración de plomo .....	31
<b>Figura 18.</b> Punto de equilibrio para la concentración de zinc .....	33
<b>Figura 19.</b> Reacciones químicas para el análisis de cobre total .....	34
<b>Figura 20.</b> Muestra con baja concentración de cobre.....	36
<b>Figura 21.</b> Muestra con alta concentración de cobre.....	36
<b>Figura 22.</b> Balanza analítica para pesado de insolubles .....	43
<b>Figura 23.</b> Proceso de flujo del análisis por vía seca .....	44
<b>Figura 24.</b> Salida de las muestras fundidas .....	46
<b>Figura 25.</b> Lingoteo de las muestras fundidas en el yunque .....	47
<b>Figura 26.</b> Enfriado y chancado de las escorias .....	47
<b>Figura 27.</b> Formación de los régulos.....	48

<b>Figura 28.</b> Botones de plata.....	49
<b>Figura 29.</b> Pesado y encuarte de los botones de plata .....	50
<b>Figura 30.</b> Ataque químico del botón de oro y plata .....	52
<b>Figura 31.</b> Pesado de los botones de oro .....	52
<b>Figura 32.</b> Esquema del lavador de gases .....	64

## RESUMEN

El informe técnico está basado en el trabajo que realiza el laboratorio químico en la planta concentradora Antonio Raymondi. Esta empresa se dedica al acopio de mineral proveniente de la minería Max Pala, Pulpera, Cipjaisa y Palacio del Cóndor.

El área de Laboratorio Químico se organiza en tres secciones principales: Preparación de Muestras, Vía Húmeda y Vía Seca. En estas secciones, se realizan análisis detallados para determinar las leyes del mineral proveniente de la mina y del concentrado de la planta, reportando resultados en términos de porcentajes de plomo (%Pb), zinc (%Zn), cobre (%Cu), cobre oxidado (%Ox Cu), onzas por tonelada métrica de plata (Oz/TM Ag) y gramos por tonelada métrica de oro (g/TM Au).

En la sección de Vía Húmeda, se determinan las leyes de cobre, plomo, zinc, óxido de cobre, óxido de plomo, entre otros. Por su parte, en la sección de Vía Seca, se obtienen las leyes de oro y plata.

El laboratorio químico se encarga de recibir y procesar las muestras de mineral transportadas desde la mina, realizando el muestreo, la preparación de las muestras, y determinando las leyes correspondientes. Además, el laboratorio toma muestras en distintos puntos de la planta concentradora, tales como la cabeza (faja transportadora), mallas D6-1, D10-1, D10-2, Concentrado/Disco, y relave, con el objetivo de monitorear las leyes del concentrado final.

En función a las leyes del mineral se evalúa la eficiencia de los equipos de la planta concentradora en la producción de concentrados, mejoras de circuitos de molienda y circuito de flotación.

**Palabras Clave:** Muestreo, Análisis químico, Vía húmeda, Vía seca

## **CAPITULO 1**

### **ASPECTOS GENERALES**

#### **1.1. INTRODUCCIÓN**

En los minerales auríferos se encuentran los sulfuros más comunes que son la calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), pirrotita ( $\text{FeS}$ ), pirita ( $\text{FeS}_2$ ), galena ( $\text{PbS}$ ), esfalerita ( $\text{ZnS}$ ), y arsenopirita ( $\text{AsFeS}$ ). Para la fundición del oro y la plata, es una actividad aplicada haciendo uso de fundentes tradicionales, como son el bórax, nitrato de potasio y la harina de trigo en la mayoría de los casos.

En este informe, detallo las labores realizadas en el área de Laboratorio Químico de la planta concentradora Antonio Raymondi. Mi desempeño laboral abarcó las tres secciones principales de trabajo del laboratorio: Preparación de Muestras, Vía Húmeda y Vía Seca. A continuación, se describen las actividades realizadas en cada una de estas secciones.

#### **1.2. OBJETIVOS DEL INFORME**

##### **1.2.1. Objetivo General**

Describir las operaciones y procesos que se elaboran en el área de laboratorio químico de la planta concentradora Antonio Raymondi Cusco SMRL

##### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Describir el trabajo que se realiza en preparación de muestras
- Describir el trabajo que se ejecuta en vía húmeda
- Describir el trabajo que se ejecuta en vía seca

### 1.3. PREPARACIÓN DE MUESTRAS

En esta sección se realizan las siguientes funciones clave:

- **Muestreo de la planta concentradora:** Recogida y preparación de muestras representativas de la producción en la planta concentradora en los puntos estratégicos de muestreo como son: cabeza (faja transportadora), mallas D6-1, D10-1, D10-2, Concentrado/Disco, y relave para su análisis químico.
- **Muestreo de volquetes con mineral en cancha:** Toma de muestras de los minerales transportados en volquetes para evaluar su calidad y características antes del procesamiento.
- **Determinación de humedad del mineral en cancha:** Medición precisa del contenido de humedad en los minerales almacenados, lo cual es fundamental para ajustar los procesos de concentración.
- **Chancado de muestras de mineral:** Reducción del tamaño de las muestras mediante el uso de chancadoras primaria y secundaria, preparando el material para análisis posteriores.
- **Operación de chancadora de rodillos:** Realización del chancado final utilizando chancadora de rodillo, asegurando un tamaño adecuado para el análisis.
- **Cuarteto de las muestras para su análisis:** División meticulosa de las muestras en fracciones iguales para garantizar la representatividad y precisión en los análisis.
- **Pulverizado de muestras de mineral común:** Molienda fina de las muestras para obtener un polvo homogéneo, esencial para los ensayos químicos y metalúrgicos.

- **Muestreo de concentrado en el patio de despacho:** Recolección de muestras del concentrado final antes del envío, asegurando que cumpla con las especificaciones de calidad establecidas.
- **Determinación de humedad del concentrado en despacho:** Medición del contenido de humedad en los concentrados listos para ser despachados, asegurando el cumplimiento de exportación (el porcentaje de humedad debe ser menor a 10).
- **Preparación y pulverizado de muestras de concentrado para análisis:** Preparación y molienda de las muestras del concentrado destinado al despacho, garantizando un análisis preciso que verifique la calidad del producto final.

#### 1.4. VÍA HÚMEDA

En esta sección se realizan las siguientes labores clave:

- **Recepción de Insumos Químicos de Bienes Fiscalizados (IQBF):** Control y registro de la recepción de insumos químicos que requieren una gestión especial debido a su naturaleza regulada y fiscalizada. Por ejemplo, ácido nítrico, ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, cloruro de amonio e hidróxido de amonio.
- **Trasvase de Insumos Químicos y Productos Fiscalizados:** Manejo cuidadoso y seguro del trasvase de insumos químicos desde sus recipientes originales a los equipos de laboratorio, garantizando el cumplimiento de las normativas de seguridad.
- **Operación del Extractor de Gases:** Uso y monitoreo del extractor de gases para asegurar un ambiente de trabajo seguro, eliminando vapores y gases tóxicos (SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>) generados durante los procesos químicos.

- **Análisis de Plomo:** Realización de análisis cuantitativos para determinar el contenido de plomo en las muestras, utilizando la técnica de titulación complexométrica con EDTA (ácido etilendiaminotetraacético).
- **Análisis de Óxido de Plomo:** Evaluación de la concentración de óxido de plomo en las muestras utilizando la técnica de titulación complexométrica con EDTA (ácido etilendiaminotetraacético).
- **Análisis de Zinc:** Determinación de la cantidad de zinc presente en las muestras utilizando la técnica de titulación complexométrica con EDTA (ácido etilendiaminotetraacético).
- **Análisis de Óxido de Zinc:** Cuantificación del óxido de zinc en las muestras, asegurando la precisión en los resultados utilizando la técnica de titulación complexométrica con EDTA (ácido etilendiaminotetraacético).
- **Análisis de Hierro:** Medición del contenido de hierro en las muestras, utilizando procedimientos como la titulación con bicromato de potasio.
- **Análisis de Cobre:** Determinación de la concentración de cobre en las muestras mediante técnicas de titulación yodométrica con tiosulfato de sodio para asegurar la fiabilidad de los resultados.
- **Análisis de Óxido de Cobre:** Evaluación de la presencia de óxido de cobre en las muestras, aplicando el método de la titulación yodométrica con tiosulfato de sodio.
- **Análisis de Insolubles:** Identificación y cuantificación de los insolubles para los concentrados de plomo, zinc y cobre.

- **Evacuación de Aguas de Lavados Químicos a la Relavera:** Manejo y disposición segura de las aguas residuales generadas en los procesos de lavado químico, evacuándolas hacia la relavera.

### 1.5. VÍA SECA

En esta sección se llevan a cabo las siguientes labores especializadas:

- **Operación del Extractor de Gases:** Uso y monitoreo del sistema de extracción de gases para asegurar un entorno de trabajo seguro, evitando la acumulación de gases tóxicos durante los procesos de fundición y copelación.
- **Fundición de Muestras:** Realización del proceso de fundición para separar los metales valiosos de las impurezas o escorias, utilizando crisoles y hornos a altas temperaturas.
- **Copelación de Muestras:** Aplicación del proceso de copelación para purificar metales preciosos como el oro y la plata, eliminando elementos no deseados a través de la absorción en la copela.
- **Pesado de los Botones de Plata:** Determinación precisa del peso de los botones de plata resultantes del proceso de copelación, utilizando balanzas de alta precisión (balanza microanalítica).
- **Ataque Químico de los Botones de Plata para la obtención del Oro:** Aplicación de técnicas de ataque químico para disolver la plata en los botones, permitiendo la recuperación del oro contenido en ellos.
- **Calcinación del Oro a una Temperatura de 500 a 600°C:** Proceso de calcinación del oro en hornos especializados, eliminando cualquier residuo no metálico y asegurando la pureza del metal.

- **Pesado de los Botones de Oro de las Muestras:** Medición precisa del peso de los botones de oro obtenidos después de la copelación y calcinación, garantizando la exactitud en los resultados utilizando las balanzas microanalíticas.

## **1.5. DESCRIPCION DE LA PLANTA CONCENTRADORA**

La empresa Antonio Raymondi SMRL (Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada) opera una planta concentradora dedicada al beneficio de minerales auríferos. Esta planta procesa minerales auríferos como materia prima, utilizando el método de flotación para obtener el concentrado final.

El concentrado final es un producto polimetálico, cuyas leyes se reportan en términos de los siguientes elementos: %Pb (plomo), %Zn (zinc), %Cu (cobre), Oz/TM de Ag (onzas por tonelada métrica de plata), g/TM Au (gramos por tonelada métrica de oro), y %CuOx (óxido de cobre).

La planta concentradora tiene una capacidad de procesamiento de 180 toneladas métricas por día (TM/Día). El área de Laboratorio Químico se encarga de controlar la calidad de las leyes de los concentrados obtenidos, asegurando que cumplan con los estándares requeridos para su posterior despacho.

## **1.6. CARACTERISTICAS DE LA PLANTA CONCENTRADORA**

### **1.6.1. Ubicación**

La planta concentradora se ubica en el distrito de Condorama, provincia de Espinar, departamento del Cusco a una altitud con un rango de 4500 m.s.n.m. a 4800 m.s.n.m.

**Figura 1.***Georreferenciación de la Planta Concentradora Antonio Raymondi*

Nota. Para llegar a la planta concentradora se accede a través de la ruta Cusco – Sicuani – Espinar, que van por vía asfaltada hasta la localidad de Sicuani, existe un desvío carrozable que va directamente a la Provincia de Espinar luego a través de un desvío se llega a la localidad de Condoroma y luego a la planta concentradora de beneficio, haciendo un total de 240 km de recorrido.

**1.6.2. Operaciones y procesos unitarios de la planta concentradora**

A continuación, se muestra las etapas de operación y procesos unitarios que se realizan en la planta concentradora desde la recepción de la materia prima (mineral aurífero) hasta la obtención del concentrado polimetálico según el diagrama de flujo en el Anexo 1.

### ***Recepción / Clasificación de mineral***

El mineral acopiado, proveniente de empresas como Max Pala, Pulpera, Cijpaisa y Palacio del Cóndor, es recibido en la planta concentradora Antonio Raymondi en volquetes con capacidades de 15 y 20 m<sup>3</sup> con mineral. Una vez en la planta, el mineral es pesado en una balanza de plataforma con capacidad de 60 toneladas métricas (TM). Posteriormente, se descarga en la cancha de gruesos, donde el laboratorio químico realiza el muestreo para determinar la humedad y las leyes del mineral.

Con el apoyo del cargador frontal SEM 659, se realiza un proceso de "blending" para obtener una ley homogénea del mineral. Luego, este material es clasificado utilizando una parrilla de 4.5 x 4.5 metros con aberturas de 3 pulgadas, produciendo dos fracciones: el sobretamaño, que se dirige a la tolva de gruesos con capacidad de 40 TM, y el material fino, que contiene arcillas y humedad alta, el cual se transporta a través de la tolva metálica de 12 TM de capacidad hacia el tambor lavador, mediante la Faja Transportadora N° 6 de 18 pulgadas por 18 metros.

### ***Sección Chancado***

#### **- Chancado primario**

En la parte superior de la tolva de gruesos 40 TM se tiene una parrilla de rieles con 8" de separación, el mineral alimenta al grizzly estacionario de 2'x4' con abertura de 1 1/2", la fracción gruesa alimenta a la chancadora primaria de quijadas 10"x20" el cual tiene un set de 1 1/2", este producto chancado más los finos del grizzly descargan a una faja transportadora N°1 de 18" x 2 m.

- Chancado secundario

La faja Transportadora N° 1, alimenta a un "grizzly"<sup>1</sup> vibratorio 2.5' x 3' de 1" de abertura, la fracción gruesa alimenta a la Chancadora secundaria de quijadas 10" x 16", con un set de 1", el producto de esta chancadora más los finos del grizzly vibratorio, descargan a la faja Transportadora N° 2 de 18" x 7.2 m.

- Chancado terciario

La Faja Transportadora N° 2, descarga a una Faja Transportadora N° 3 de 20" x 9 m, la cual alimenta a la Zaranda vibratoria 4' x 8' con abertura de 3/8" o 1/2", el fino o under size de esta zaranda descarga en la Tolva de finos de 45 TM. Los gruesos o over size de esta zaranda, descarga a una Faja Transportadora N° 4 de 20" x 10.4 m, la cual alimenta a la Chancadora cónica Symons 2' con un set de 1/2", el producto de esta Chancadora descarga a la Faja Transportadora N° 2, cerrando circuito de Chancado. Por tanto, se concluye que la operación de Chancado es circuito cerrado.

- Tambor Lavador 4'x15'

El mineral fino – 3" se alimenta al Tambor lavador Ø 4'x15', el cual en su descarga tiene un trommel de 1/2" de abertura, obteniendo 02 productos, la fracción gruesa lavada mediante una Faja transportadora N° 7 de 18" x 4.5 m, es descargado directamente hacia la tolva de gruesos y la fracción fina -1/2" 1.9 Tms/Hr en forma de pulpa con densidad de 1450 g/l, alimenta al Clasificador Helicoidal 0.8 x 2.2 Mt.

---

<sup>1</sup> Alimentadores Grizzly, 2024. Recuperado de <https://www.metso.com/es/portafolio/alimentadores-grizzly/>

### ***Sección de Molienda***

#### **- Molienda primaria**

De la tolva de finos el mineral por gravedad, es transportado mediante una Faja Transportadora N° 5 de 18" x 3 m hacia el molino de bolas COMESA 5'x5', 5.6 Tms/Hr, la descarga de este molino mediante una bomba ESPIASA 4"x3" N° 1 bombea al Hidrociclón D-10 N° 1 para su clasificación, la fracción fina alimenta al DSM N° 1 Y N° 2 de 3/8" y 1/4" de abertura respectivamente para eliminar los residuos de madera y cuerpos indeseables, de aquí alimenta a la bomba Espiasa 4"x3" N° 3.

La fracción gruesa del Hidrociclón D-10 N° 1 es distribuida en un porcentaje de 80% que alimenta al molino de bolas Hardinge Ø 5'x32" y el 20% restante retorna al molino de bolas 5' x 5' como carga circulante, la descarga del molino Hardinge, mediante una bomba SRL 4"x3" N° 2, descarga hacia el sumidero de la Bomba Espiasa 4" x 3" N° 1, bombeando al Hidrociclón D-10 N° 1 para la clasificación dando 2 productos, la fracción fina con densidad 1320 g/l alimenta al sumidero de la bomba Espiasa 4"x3" N° 3 y la fracción gruesa retorna al molino Hardinge 5'x32" como carga circulante.

#### **- Molienda secundaria y clasificación**

El Clasificador Helicoidal 0.8 x 2.2 m separa la pulpa proveniente del Tambor lavador, en dos fracciones, la fracción gruesa es alimentada hacia el Molino de bolas Ø 5' x 12' para su molienda y la fracción fina se conduce hacia el sumidero de la Bomba SRL 5' x 4' N° 2 que también recepciona las pulpas provenientes de la Bomba Espiasa 4"x3" N° 3 y la pulpa que descarga el Molino de bolas 5' x 12'. Esta Bomba SRL 5' x 4' N° 2 bombea al hidrociclón D-10 N° 2, obteniendo 02 productos, la fracción fina con densidad

1280 g/l va al DSM de 1/4" para eliminar las maderas para luego dirigirse hacia la flotación y la fracción gruesa retorna al molino de bolas 5' x 12' como carga circulante.

### ***Sección de Flotación***

La fracción fina del Hidrociclón D-10 N° 2, que pasa por el DSM, con densidad 1280 g/l alimenta al Banco de 02 celdas Agitair N° 1, el concentrado bulk Rougher (Au, Ag, Cu, Pb, Zn) es parte del concentrado final; el relave alimenta por gravedad al Banco de 02 celdas Agitair N° 2, el concentrado bulk Rougher (Au, Ag, Cu, Pb, Zn) es parte del concentrado final o se alimenta al Banco de 02 celdas Agitair N° 3 para su limpieza y el relave descarga al sumidero de la Bomba SRL 4' x 3' N° 4 para clasificar mediante un Hidrociclón D-10 N° 3, la fracción fina alimenta hacia el Banco de 2 celdas Agitair N° 4, y la fracción gruesa se alimenta hacia el molino de bolas 5' x 12' para su remolienda, el concentrado Bulk de la celda Agitair N° 4, alimenta al banco de 02 celdas Agitair N° 3 para mejorar su calidad y el relave alimenta a la celda circular 8' x 8' N° 1, el relave de esta celda alimenta hacia la Celda Circular WS 8' x 8' N° 2, el relave de esta celda alimenta hacia la Celda Circular WS 8' x 8' N° 3, el relave de esta celda alimenta hacia la celda Circular WS 6' x 7', y el relave de esta celda viene a ser el relave general de flotación. Por otro lado Los concentrados de las celdas WS 8' x 8' N° 1, WS 8' x 8' N° 2, se juntan y se alimenta al Banco de 02 celdas Agitair N° 3 para su limpieza; y los concentrados de las celdas WS 8' x 8' N° 3 y WS 6' x 7', se juntan y se alimentan hacia un Banco de 04 celdas 18 SP Cleaner para mejorar su calidad, el concentrado de esta celda se alimenta mediante un bomba SRL 2.5" x 2" hacia el Banco de 02 Celdas Agitair N° 3 para su limpieza y mejora de su calidad, y el relave descarga al sumidero de la bomba Espiasa 4"x3" N° 3.

Los reactivos que se usan son:

- Colectores: A-31, CE-510, AP-404, C-282, C-269, C-273, Z-6, Z-11.
- Espumante: MIBC, Dowfroth 250
- Depresores: D-26, D-27
- Modificadores: Óxido de Calcio
- Dispersante: Silicato de Sodio
- Floculante: Sedipur
- Coagulante: Sulfato de Aluminio (PAC 100).

El consumo de agua en la planta concentradora es 2.5 m<sup>3</sup> / TM.

### ***Sección de Filtrado y Concentrado Bulk***

La sumatoria del concentrado del Banco de celdas Agitair N° 1, Agitair N° 2, Agitair N° 3 y Agitair N° 4 forman el concentrado final bulk, el cual mediante una bomba Denver 3" x 3" en posta con otra bomba SRL 2.5" x 2" N° 3, bombea hacia el espesador 15'Ø x 8', para su separación sólido – líquido y mediante una bomba de diafragma dúplex de 3" Ø, alimenta al filtro de 6'Ø x 2 discos, el concentrado con humedad de 16 % y apoyo del Minicargador CASE 440 y Cargador frontal SEM 659 se traslada hacia una loza para terminar con el secado y trasladado hacia la nave de almacenamiento de Concentrado para su blending y posterior despacho en semitrailer encapsulado con destino a Lima – Callao.

### ***Sección Relave***

El relave de la Celda Circular WS 6' x 7', constituye el relave general de flotación y mediante una bomba SRL 5" x 4" o WARMAN 6' x 4' de stand by descarga en una segunda estación de bombeo que opera con una Bomba ASH N° 1, este bombea hacia el muro superior de la relavera al sumidero de la Bomba ASH 5" x 4" N° 2, esta bomba, clasifica en un Hidrociclón D-6 N° 2, la fracción gruesa se usa para reforzar el muro de

contención, la fracción fina se deposita dentro de la relavera para la sedimentación de los sólidos y el agua decantada es bombeada mediante una bomba hidrostal 40-160 hacia un reservorio de concreto de 40 m<sup>3</sup> de capacidad que se encuentra en la parte superior de la Planta y de aquí, se distribuye hacia varios puntos del proceso de Planta, el agua recuperada es un 75%.

### ***Abastecimiento de Agua***

El agua proveniente del riachuelo Luli 80 m<sup>3</sup>/día, mediante la bomba hidrostal 32-160, alimenta a 2 reservorios de concreto de 50 m<sup>3</sup> y de ahí alimenta a la planta según las necesidades. Por otro lado, en época de estiaje, cuando es necesario se realiza el Bombeo de agua desde la Bocamina en Quebrada Trebol Huayco denominado Chingone, que opera con una Bomba sumergible Ø 2" tipo lapicero de 15 HP y un Grupo electrógeno Olympian para el abastecimiento de energía, el agua igualmente es descargada en los 02 reservorios de concreto de 50 m<sup>3</sup>.

### ***Consumo Eléctrico***

El consumo de energía es de la Empresa ELECTROSURESTE, con subestación de área 25 m<sup>2</sup>, construido con piso de cemento, arena y cercado con malla cocada; con 2 transformadores de 800 KVA y 500 KVA con líneas de alimentación independientes. El consumo de energía promedio es de 650 Amp que corresponden a 340 Kw.

## CAPITULO 2

### SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD – LABORATORIO QUÍMICO

Actualmente, el sistema de trabajo en la planta concentradora consiste en 14 días de trabajo seguidos por 7 días de descanso. Durante la jornada laboral, hay dos turnos, cada uno con su respectiva guardia. El laboratorio químico asigna un muestreador a cada guardia.

Esta sección de trabajo está conformada por un conjunto de operaciones unitarias, como el muestreo de los concentrados utilizando una pala o lanza, la preparación de las muestras provenientes de la planta concentradora, el chancado de las muestras hasta su paso por la chancadora de rodillos, el cuarteo de la muestra utilizando el cuarteador Jones, el secado de la muestra, y finalmente el pulverizado, que se almacena en un sobre debidamente rotulado.

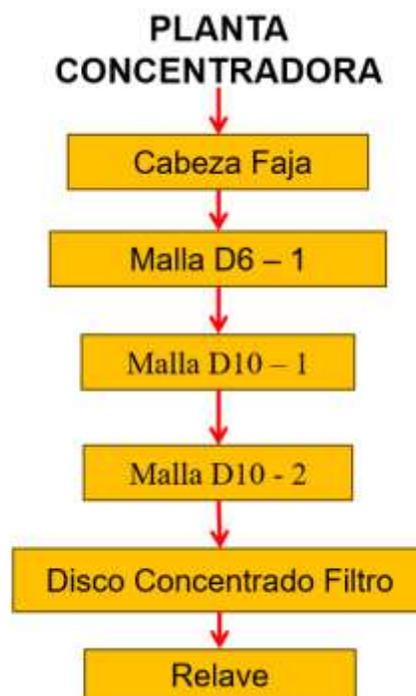
#### **2.1. Elementos de una garantía de calidad**

“El muestreo implica seleccionar una porción de la muestra que represente el conjunto. En el caso de los minerales, el muestreo de un lote compuesto de  $N$  fragmentos es equiprobable cuando todas las combinaciones de  $N$  fragmentos tienen la misma probabilidad de ser elegidos para la constitución de la muestra ( $MS$  es la muestra con  $n$  fragmentos)” (Alfaro, 2002).

### 2.1.1. Puntos de muestreo de la planta concentradora

**Figura 2.**

*Operación de muestreo en los puntos estratégicos de la planta concentradora*



Nota. El diagrama muestra la operación completa del muestreo de la planta concentradora desde el punto de la cabeza faja hasta el relave. Fuente: Elaboración propia

#### ***Muestra de cabeza / faja***

La toma de muestra se hace en la faja transportadora de mineral que ingresa a la molienda primaria. La operación consiste en hacer un corte de faja, colocar la muestra en una bandeja y pesar la muestra obtenida para determinar el tonelaje de mineral que ingresa al molino 5 x 5. En esta operación se toma 10 muestras por cada hora.

**Figura 3.**

*Toma y verificación de peso de muestras en procesos de chancado.*



*Nota.* La imagen a la izquierda muestra el procedimiento técnico de toma de muestra desde la faja transportadora que alimenta al molino 5 x 5, asegurando una muestra representativa del flujo de material. En la imagen a la derecha, se observa la verificación del peso de la muestra utilizando una balanza de precisión, un paso crítico para determinar el tonelaje exacto de material procesado basado en la muestra obtenida. *Fuente:* Elaboración propia.

***Muestra de malla D6 – 1***

La toma de muestra en este punto se realiza de forma manual y se acumula en un recipiente, con un total de 10 muestras recolectadas. El resultado de estas muestras se utiliza para controlar el proceso de molienda del molino 5 x 5.

**Figura 4.***Muestra de malla D6 - 1*

*Nota.* La imagen muestra el proceso de toma de muestra en el punto D6 - 1 utilizando una herramienta manual específica. Este procedimiento se realiza de manera manual y la muestra es acumulada en un recipiente. La cantidad de muestras es de 10 en total, y el objetivo es controlar la calidad de la granulometría que sale del molino 5 x 5. Fuente: Elaboración propia.

***Muestra de malla D10 – 1***

El muestreo se hace de forma manual y se acumula en un recipiente, un total de 10 muestreadas. Aquí el resultado sirve para el control de calidad del hidrociclón y la granulometría para que ingrese al molino 5 x 12 donde se realiza una remolienda.

**Figura 5.***Muestra de malla D10 - 1*

*Nota.* La imagen presenta el muestreo en el punto D10 - 1, realizado de forma manual. Aquí se visualiza cómo la muestra es obtenida y almacenada en un recipiente, cumpliendo con el muestreo establecido para el control de calidad en el proceso de la remolienda en el molino 5 x 12. *Fuente:* Elaboración propia.

***Muestra de malla D10 – 2***

La toma de muestras en este punto se realiza de manera manual, acumulando un total de 10 muestreos en un recipiente debidamente rotulado. Los resultados obtenidos son cruciales para el control de la granulometría del mineral, garantizando que cumpla con las condiciones óptimas necesarias para el proceso de flotación.

**Figura 6.**

*Toma de muestra en el punto D10-2*



*Nota.* La imagen muestra el proceso de muestreo manual, donde la muestra ha sido recogida y transferida cuidadosamente al recipiente rotulado para su análisis posterior. *Fuente:* Elaboración propia.

***Muestra de concentrado / disco***

La toma de muestra en este punto es de suma importancia y se realiza de forma manual. Este muestreo es crucial para determinar las leyes del producto final, como el porcentaje de plomo (%Pb), zinc (%Zn), cobre (%Cu), insolubles (%Ins), así como la concentración de plata (Oz/TM de Ag) y oro (g/TM Au). Este proceso asegura que las muestras reflejen con precisión la composición del producto final para su posterior análisis y verificación.

**Figura 7.***Obtención de la muestra de concentrado final*

*Nota.* La imagen del lado izquierdo muestra el momento exacto de la toma de muestra del concentrado final y la imagen de la derecha muestra la cantidad de muestra que se debe realizar al momento de hacer el muestreo. *Fuente:* Elaboración propia.

***Muestra de relave***

Este es el último punto de muestreo de la planta concentradora, donde las muestras se obtienen de forma manual y se almacenan en un recipiente rotulado, con un total de 10 muestreadas por hora. Este muestreo es crucial para determinar la cantidad de material valioso que no ha sido recuperado durante el proceso de concentración en la planta, lo que permite evaluar la eficiencia del proceso y tomar decisiones para optimizar la recuperación de las leyes minerales.

**Figura 8.**

*Toma de muestra en el relave*

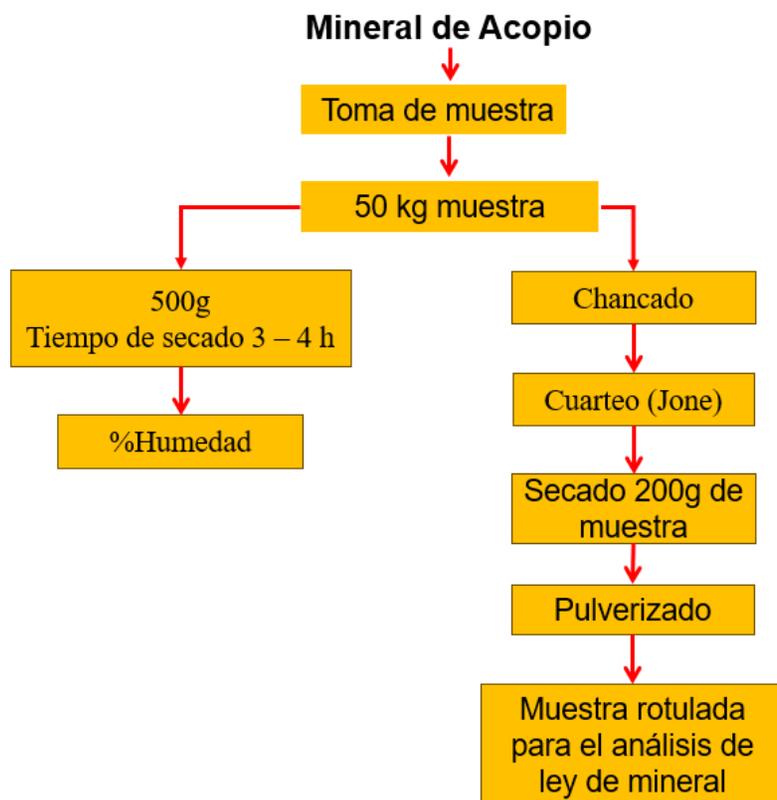


*Nota.* La imagen de la izquierda se muestra la toma de la muestra de relave final y la imagen de la derecha muestra la descarga de la muestra en el recipiente correspondiente. *Fuente:* Elaboración propia.

## 2.2. Preparación de muestras

**Figura 9.**

*Operación de la preparación de muestras de acopio de mineral*



*Nota.* El diagrama muestra la operación de la preparación de las muestras de acopio de mineral desde la obtención de la muestra hasta el rotulado final de la muestra para su análisis químico incluyendo la determinación del peso y el porcentaje de humedad. *Fuente:* Elaboración propia.

### 2.2.1. Muestreo de mineral

El muestrero espera la llegada de los volquetes en la cancha de mineral, donde registra cuidadosamente las placas de los vehículos en el orden en que arriban. A continuación, recibe las muestras de mineral junto con un memorándum que detalla la cantidad de volquetes, el número de muestras y los elementos específicos que se desean analizar para determinar las leyes del mineral.

Posteriormente, el muestrero solicita al operador del cargador frontal que extienda el mineral, facilitando así el proceso de muestreo. Con una pala, procede a realizar un muestreo sistemático, acumulando el material recolectado en un saco de polipropileno hasta obtener una muestra representativa de 50 kilogramos. Finalmente, transporta la muestra al laboratorio químico utilizando una carreta, donde se llevarán a cabo la preparación de las muestras y los análisis correspondientes.

### **2.2.2. Chancado de la muestra**

El trabajador comienza llenando su IPERC (Identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos de Control) y se asegura de estar equipado con su Equipo de Protección Personal (EPP) completo, que incluye mameluco de dril, zapatos de seguridad, respirador con filtro para polvo, lentes de seguridad con luna clara, guantes de cuero y protector auditivo.

Una vez listo, el muestrero inicia el proceso de muestreo para determinar el porcentaje de humedad del mineral. Para ello, pesa una muestra húmeda de 500 gramos y la coloca en una bandeja que luego lleva a la plancha de secado, donde permanece durante 3 a 4 horas hasta secarse completamente. Posteriormente, procede a triturar el mineral muestreado, pasándolo dos veces consecutivas por la chancadora de 7"x12". Luego, utiliza un cuarteador Jone para dividir la muestra, obteniendo una porción de 200 gramos, la cual pasa por la chancadora de 4"x5" y, finalmente, por una chancadora de rodillos de 2". La muestra resultante es llevada nuevamente a la plancha de secado para finalizar el proceso.

**Figura 10.**

*Plancha de secado de muestras de minerales*



*Nota.* Se muestra en la imagen las muestras secando para obtener el porcentaje de humedad y el pulverizado. *Fuente:* Elaboración propia.

**2.2.3. Pulverizado de muestras**

Esta operación unitaria es realizada por el muestrero del turno "B". El proceso comienza con el rotulado de un sobre manila de 11x18 cm, en el cual anota de manera legible el código de la muestra, la veta de origen del mineral (ya sea la veta Celia o la veta Juana), los elementos químicos solicitados para análisis (como Pb, Cu, Ag y Au), y la fecha del trabajo.

A continuación, la muestra se coloca en la olla del pulverizador, que contiene tres anillos metálicos encargados de triturar el mineral. Después de asegurar la olla correctamente, se enciende el pulverizador y se opera durante tres minutos. Posteriormente, la muestra pulverizada se coloca en una manta de trabajo y se manta entre 50 y 60 veces para garantizar que esté bien homogenizada. Finalmente, la muestra homogenizada se guarda en el sobre previamente rotulado y se traslada a la sala de pesado de muestras para su análisis correspondiente.

**Figura 11.***Pulverizador de anillos*

*Nota.* Se muestra en la imagen el pulverizador de anillos con su olla que contiene una muestra para la operación del pulverizado. *Fuente:* Elaboración propia.

**2.3. Análisis químico**

La importancia de ensayar muestras, tales como las de la planta concentradora, pruebas metalúrgicas, muestras de mina y volquetes, entre otras, radica en que, en toda planta concentradora, el trabajo del laboratorio químico es crucial, pues define las leyes finales de los elementos presentes en las muestras (Gallego et al., 2015).

Según Gallego et al. (2015), "el análisis químico por vía húmeda implica el uso de agentes oxidantes (digestión u oxidación húmeda), que permitirán la digestión de la muestra para la posterior determinación individual de elementos traza y metales". En cuanto al análisis por vía seca, el proceso consiste en fundir o sintetizar la muestra con fundentes sólidos (Gallego et al., 2015).

### 2.3.1. Análisis por Vía Húmeda

Figura 12.

Proceso de flujo del análisis por vía húmeda



*Nota.* El diagrama muestra el proceso completo del análisis por vía húmeda, desde la preparación de la muestra hasta la titulación final, incluyendo las fases de calentamiento, filtración y recolección de filtrados. *Fuente:* Elaboración propia.

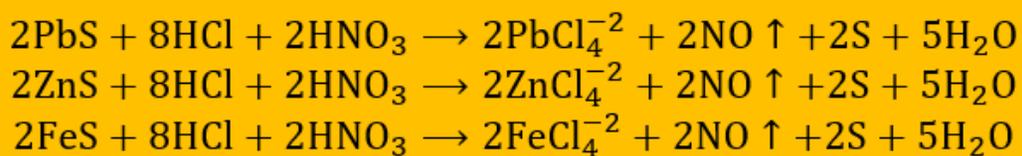
*Análisis por Plomo y Zinc*

**Figura 13.**

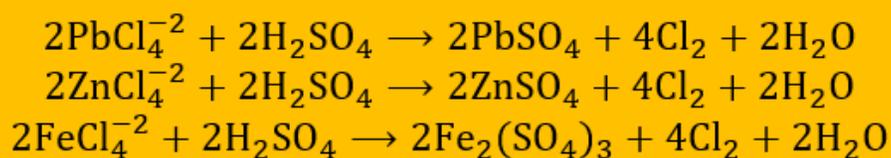
*Reacciones químicas en el análisis de plomo - zinc*

**REACCIONES QUIMICAS PARA EL ANÁLISIS DE PLOMO - ZINC**

↓ Reacciones de ataque químico



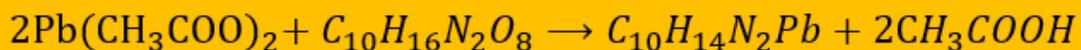
↓ Proceso de la sulfatación



↓ Adición de la extractiva de plomo



↓ Titulación con EDTA



*Nota.* El diagrama muestra las reacciones químicas para el análisis de plomo y zinc desde el ataque químico hasta la titulación con EDTA. *Fuente:* Elaboración propia.

1. Pesar 0.250 g de muestra en un vaso de 250 ml.
2. Agregar 5 ml de  $\text{HNO}_3$  y 10 ml de  $\text{HCl}$ , y llevar a la plancha hasta evaporación completa (seque completamente la muestra en la plancha).
3. Retirar de la plancha y añadir 5 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , asegurándose de mezclar bien para evitar la precipitación prematura.
4. Llevar nuevamente a la plancha y permitir que la mezcla sulfata durante 15 minutos (10 minutos con el vaso tapado y 5 minutos destapado), asegurándose de que el tiempo de sulfatado no afecte el resultado final.
5. Retirar de la plancha y dejar enfriar.
6. Lavar las paredes internas del vaso y el vaso mismo con 75 ml de agua destilada fría para remover cualquier residuo adherido.
7. Volver a llevar el vaso a la plancha y hervir durante 2-3 minutos, sin exceder este tiempo para evitar la descomposición de los componentes.
8. Enfriar el vaso para proceder a la filtración, asegurándose de filtrar en frío para que todo el plomo permanezca en el filtro.
9. Filtrar la solución utilizando papel filtro lento N° 2, y recolectar el filtrado en un vaso de 600 ml hasta obtener un volumen de 170 ml.
10. El material que queda en el papel filtro será utilizado para la determinación de plomo (Pb), mientras que el filtrado en el vaso será utilizado para la determinación de zinc (Zn).

**Figura 14.***Ataque químico de las muestras*

*Nota.* La imagen muestra el proceso de digestión ácida de las muestras, un paso crucial para la preparación del análisis químico. *Fuente:* Elaboración propia.

Torres Heras y Marteneiro Revilla (2020) describen la digestión ácida por vía húmeda como un proceso basado en la descomposición de la muestra mediante la aplicación de disolventes inorgánicos, que disuelven los elementos que se desean analizar, eliminando interferencias y destruyendo la materia orgánica presente. Este procedimiento es fundamental en el análisis de minerales, ya que permite obtener resultados precisos y confiables sobre la composición química de las muestras, lo que es esencial para la toma de decisiones en procesos de concentración y refinación de minerales.

**Figura 15.**

*Sulfatación de las muestras*



*Nota.* La imagen muestra la sulfatación de las muestras a una temperatura de 160°C. *Fuente:* Elaboración propia.

**Figura 16.**

*Filtración de las muestras*



*Nota.* La imagen muestra la etapa de la filtración donde se separa el plomo del zinc. La muestra que queda en el filtro es para el análisis para el plomo y el filtrado es para el análisis de zinc.

*Fuente:* Elaboración propia.

## - Plomo

### 1. Preparación de la muestra:

- Picar y depositar el papel filtro en un vaso de precipitados de 250 ml.
- Añadir 30 ml de extractiva de plomo (Pb) y agregar agua caliente hasta alcanzar un volumen de 150 ml.
- Calentar la mezcla a una temperatura de 80°C y hervir durante exactamente 5 minutos.
- Retirar del calor y enfriar el vaso colocando la muestra en una bandeja con agua fría a aproximadamente 20°C, asegurándose de que el enfriamiento sea gradual y constante.

### 2. Añadido de reactivos:

- Una vez enfriada la muestra, agregar una pizca de ácido ascórbico, una pizca de tiourea y una gota de Xylenol (indicador).

### 3. Titulación:

- Titular la muestra con EDTA (rotulado como EDTA-Pb) hasta observar el cambio de color de rojo carmesí a amarillo pálido, lo que indica el punto final de la titulación.

## Figura 17.

*Punto de equilibrio para la concentración de plomo*



Nota. La imagen muestra el punto de equilibrio para el análisis de plomo. *Fuente:* Elaboración propia.

- **Zinc**

1. **Preparación del Filtrado:**

- A los 170 ml del filtrado, agregar:
  - 5 gotas de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ).
  - 15 ml de hidróxido de amonio ( $NH_4OH$ ).
  - 25 ml de extractiva de zinc (Zn).
- Observar la precipitación del hierro (coloración café). Si no se produce la precipitación, añadir gota a gota más hidróxido de amonio hasta que todo el hierro haya precipitado.

2. **Proceso de Calentamiento:**

- Cubrir la mezcla y llevarla a la plancha para hervir durante 5 minutos.

3. **Filtración:**

- Filtrar en caliente utilizando papel filtro rápido N° 5 y lavar con una solución amoniacal (1:1 de agua y amoniac).
- Asegurarse de que el filtrado esté transparente y frío (si es necesario, enfriar en una bandeja con agua fría).
- Si el hierro persiste en el filtrado (coloración amarilla), realizar una filtración adicional en frío utilizando papel filtro N° 4.

4. **Añadido de Reactivos:**

- Una vez filtrado, añadir una gota de bromocresol.
- Agregar gota a gota ácido acético hasta que la solución cambie de color (de morado a amarillento).
- Añadir 5 ml de solución buffer.

- Agregar una pizca de ácido ascórbico y una pizca de tiourea.
- Añadir una gota de Xylenol (indicador).

#### 5. Titulación:

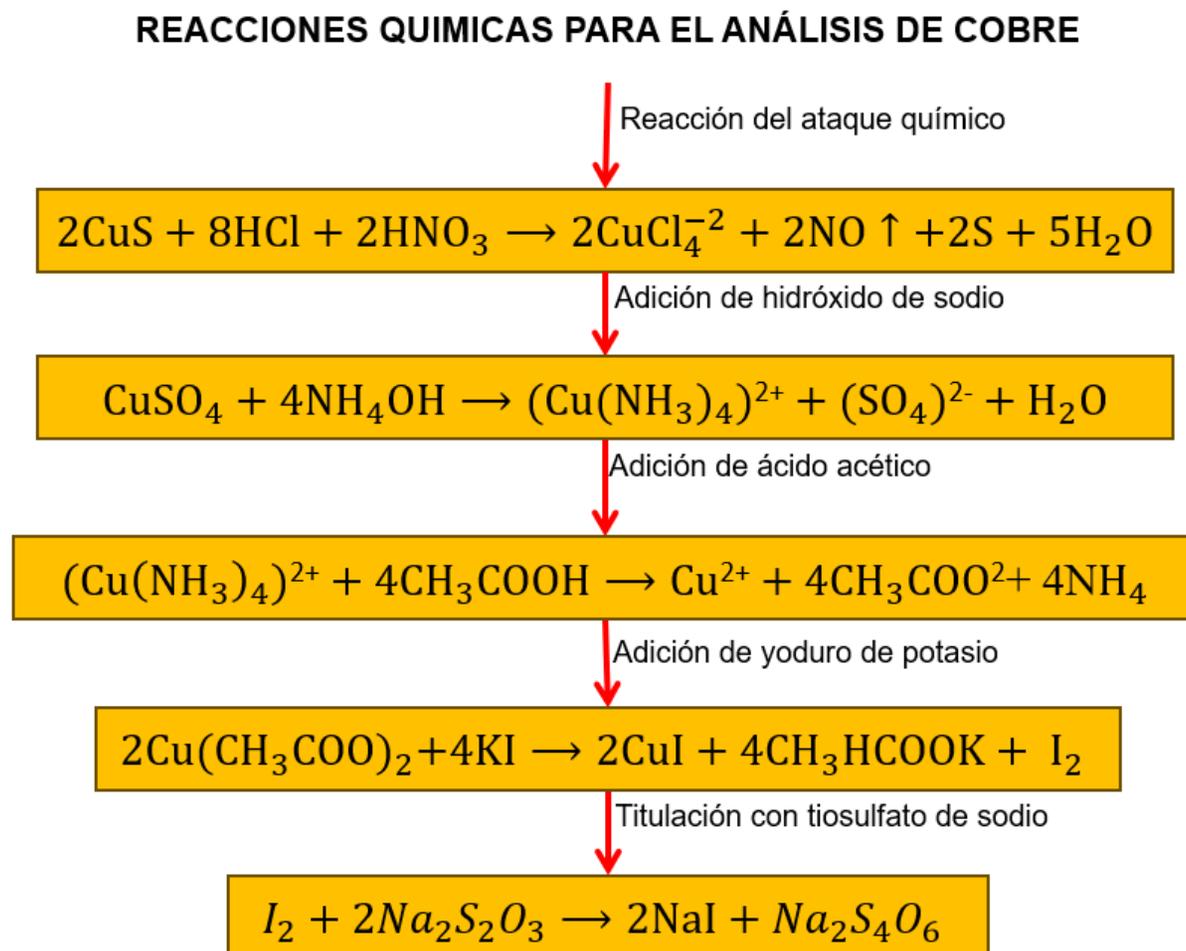
- Titular con EDTA (rotulado como EDTA-Zn) hasta que se observe un cambio de color de rojo carmesí a amarillo pálido, lo que indica el punto final de la titulación.

#### Figura 18.

*Punto de equilibrio para la concentración de zinc*



*Nota.* La imagen muestra el punto de equilibrio para el zinc. *Fuente:* Elaboración propia.

*Análisis de cobre total***Figura 19.***Reacciones químicas para el análisis de cobre total*

*Nota.* El diagrama muestra las reacciones químicas para el análisis de cobre total desde el ataque químico hasta la titulación con tiosulfato de sodio. *Fuente:* Elaboración propia.

**1. Preparación de la Muestra:**

- Pesar 0.250 g de muestra en un vaso de precipitados de 250 ml.
- Añadir 10 ml de HNO<sub>3</sub> (ácido nítrico) y llevar a la plancha hasta evaporar completamente el líquido, evitando la calcinación.

- Agregar 10 ml de HCl (ácido clorhídrico) y calentar hasta obtener una consistencia pastosa.
- Retirar los vasos de la plancha.

## 2. Lavado y Preparación para Precipitación:

- Lavar las lunas y paredes de los vasos con agua destilada fría hasta completar un volumen total de 75 ml.
- Añadir hidróxido de amonio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) gota a gota hasta que todo el hierro (Fe) precipite. (El exceso de  $\text{NH}_4\text{OH}$  no afectará el resultado).

## 3. Proceso de Calentamiento y Acidificación:

- Llevar la mezcla nuevamente a la plancha y hervir durante 5 minutos.
- Añadir 4-5 ml de ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) y calentar por otros 5 minutos, añadiendo fluoruro de sodio poco a poco hasta que todo el hierro (Fe) haya sido eliminado (el líquido debe quedar incoloro).

## 4. Enfriamiento:

- Retirar de la plancha y dejar enfriar la mezcla.

## 5. Añadido de Reactivos para Titulación:

- Agregar 3 gotas de nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$  al 2%), 20 ml de yoduro de potasio (KI al 30%) y 5 ml de solución de almidón al 1%.
- Titular con tiosulfato de sodio, observando los cambios de color (púrpura, negro a transparente, lechoso y finalmente amarillo).
- *Nota: El exceso de KI y almidón no afecta el resultado.*

**Figura 20.**

*Muestra con baja concentración de cobre*



*Nota.* La imagen muestra el punto de equilibrio para una muestra de baja ley de cobre como son los relaves de la planta concentradora. *Fuente:* Elaboración propia.

**Figura 21.**

*Muestra con alta concentración de cobre*



*Nota.* La imagen muestra el punto de equilibrio para una muestra de alta ley de cobre como son los concentrados de cobre de la planta concentradora. *Fuente:* Elaboración propia.

### *Análisis de óxido de cobre*

#### 1. Preparación de la Muestra:

- Pesar 0.250 g de muestra en un vaso de precipitados de 250 ml.
- Añadir 50 ml de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) en solución de ácido sulfuroso al 5% ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ).

#### 2. Calentamiento y Reacción:

- Llevar a la plancha y hervir lentamente durante 10 minutos.
- Retirar de la plancha y enfriar la muestra en una bandeja con agua fría.
- Añadir 20 ml de hidróxido de amonio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) y hervir durante 10 minutos adicionales.

#### 3. Filtración:

- Filtrar en caliente utilizando papel filtro lento N° 2 y recolectar en un vaso de 600 ml.
- Completar la filtración con agua caliente hasta alcanzar un volumen total de 120 ml.

#### 4. Concentración del Filtrado:

- Llevar el filtrado nuevamente a la plancha y reducir el volumen a 100 ml.
- Retirar de la plancha y agregar 3 ml de ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ).
- Continuar reduciendo el volumen a 50 ml (si se detecta la presencia de hierro, añadir fluoruro de sodio para eliminarlo).

#### 5. Dilución y Preparación para Titulación:

- Retirar de la plancha y agregar agua destilada para completar hasta un volumen de 100 ml.

- Enfriar la muestra y añadir 20 ml de yoduro de potasio (KI) al 30%, 2-3 ml de solución de almidón al 1%, y 3 gotas de nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ). La solución resultante tomará un color marrón o negro.

#### 6. **Titulación:**

- Titular con tiosulfato de sodio (11 g/L) hasta observar el cambio de color, pasando de negro/marrón a un tono cristalino o blanco lechoso.

### *Análisis de fierro*

#### 1. **Preparación del Filtrado:**

- Tomar el filtrado final obtenido del análisis de zinc.
- Lavar el papel filtro con una solución de HCl (1:1) para eliminar cualquier residuo adherido.
- Calentar la solución hasta que todo el hierro (Fe) se haya precipitado.

#### 2. **Lavado y Calentamiento:**

- Lavar cuidadosamente el precipitado amarillo con agua caliente hasta completar un volumen de 150 ml.
- Llevar la muestra a la plancha y hervir durante 5 minutos.

#### 3. **Añadido de Reactivos para Transparencia:**

- Añadir cloruro estanoso ( $\text{SnCl}_2$ ) gota a gota, observando hasta que la solución cambie de color de amarillo a transparente.

**4. Dilución:**

- Retirar la muestra de la plancha y diluir hasta un volumen de 200 ml con agua destilada.

**5. Añadido de Reactivos para Titulación:**

- Añadir 15 ml de ácido fosfórico y 10 ml de cloruro mercuríco.
- Agregar 4-5 gotas de difenilamina como indicador.

**6. Titulación:**

- Titular con dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) hasta observar un cambio de color, pasando de incoloro a azul, lo que indica el punto final de la titulación.

***Análisis de óxido de plomo*****1. Preparación de la Muestra:**

- Pesar 0.250 g de muestra en un vaso de precipitados de 250 ml.
- Añadir 50 ml de extractiva de plomo (Pb).
- Llevar a la plancha y hervir durante 20 minutos.

**2. Filtración y Lavado:**

- Filtrar en caliente utilizando papel filtro lento N° 4.
- Lavar el residuo del filtro con agua caliente en 4 ocasiones.

**3. Precipitación del Plomo:**

- Añadir 5 ml de  $H_2SO_4$  (ácido sulfúrico) para precipitar el plomo.
- Llevar la muestra nuevamente a la plancha y hervir durante 10 minutos.

**4. Enfriamiento y Filtración:**

- Retirar de la plancha, enfriar, y luego filtrar nuevamente utilizando papel filtro N° 2, realizando 4 lavados adicionales.

**5. Reproceso de la Solución:**

- En el vaso donde se trabajó, agregar 30 ml de extractiva de plomo (Pb).
- Dividir los filtros en porciones y colocarlos en el vaso, añadiendo agua caliente hasta obtener un volumen total de 150 ml de solución.

**6. Recalentamiento:**

- Llevar nuevamente la mezcla a la plancha y hervir durante 5 minutos.

**7. Preparación para Titulación:**

- Retirar de la plancha y enfriar la solución en preparación para la titulación.
- Añadir una pizca de ácido ascórbico y una gota de Xylenol (indicador).

**8. Titulación:**

- Titular con EDTA - Pb hasta observar un cambio de color de rosado a amarillo limón, lo que indica el punto final de la titulación.

***Análisis de óxido de zinc*****1. Preparación de la Muestra:**

- Pesar 0.250 g de muestra en un vaso de precipitados de 250 ml.
- Añadir 10 g de cloruro de amonio.
- Añadir 5 g de acetato de amonio.
- Agregar agua destilada hasta completar 100 ml.

**2. Calentamiento:**

- Llevar la mezcla a la plancha y hervir durante media hora.

**3. Filtración:**

- Filtrar en caliente utilizando papel filtro lento N° 2.

**4. Precipitación del Hierro:**

- Añadir 5 ml de peróxido de hidrógeno y 15 ml de hidróxido de amonio, observando hasta que el hierro (Fe) precipite.
- Hervir durante 5 minutos. Si se observa que la solución sigue amarilla, realizar una filtración adicional en frío utilizando papel filtro N° 2.

**5. Añadido de Reactivos para Titulación:**

- Cuando la solución esté fría, agregar 1 gota de bromocresol y añadir ácido acético gota a gota hasta que la solución cambie de color.
- Añadir 5 ml de solución buffer y una pizca de ácido ascórbico junto con una pizca de tiourea. Agitar la mezcla y luego agregar 1 gota de Xylenol (indicador).

**6. Titulación:**

- Titular con EDTA-Zn hasta observar un cambio de color, que indicará el punto final de la titulación.

***Análisis de insolubles*****1. Preparación de la Muestra:**

- Pesar 0.250 g de muestra (generalmente concentrado).
- Añadir 15 ml de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>).

**2. Ataque y Calcinación:**

- Llevar a la plancha a calor lento, luego agregar 0.2 g de clorato de potasio y continuar el calentamiento hasta reducir el volumen a 10 ml.

- Retirar de la plancha y añadir 10 ml de ácido clorhídrico (HCl).
- Colocar nuevamente en la plancha a calor lento hasta que la muestra se seque completamente (calcinación).

### 3. **Enfriamiento y Lavado:**

- Asegurarse de que no salpique durante la calcinación. Retirar de la plancha y dejar enfriar.
- Añadir 5 ml de HCl, calentar hasta que seque, lavar con agua destilada hasta completar 75 ml.
- Agregar 3 g de cloruro de amonio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) y 10 ml de HCl.

### 4. **Hervido y Filtración:**

- Hervir la solución durante 5 minutos.
- Filtrar en caliente utilizando papel filtro N° 2. Lavar con una solución de HCl (1:1) y luego con agua caliente, realizando el lavado en 6 ocasiones.

### 5. **Secado y Ponderación:**

- Colocar el papel filtro en un escorificador y calcinar durante 30 minutos.
- Dejar enfriar y proceder a pesar.

**Figura 22.**

*Balanza analítica para pesado de insolubles*



*Nota.* La imagen muestra la balanza analítica para el pesado de los insolubles y las muestras para los análisis químicos. *Fuente:* Elaboración propia.

### 2.3.2. Análisis por Vía Seca

**Figura 23.**

*Proceso de flujo del análisis por vía seca*



*Nota.* Este diagrama muestra el proceso de flujo del análisis por vía seca, desde la preparación de la muestra hasta el ataque químico y pesaje de botones de oro. Fuente: *Elaboración propia.*

### *Fundición de muestras*

#### **1. Preparación de Muestras:**

- Se pesa cuidadosamente 20 g de muestras oxidadas y 15 g de muestras sulfuradas, sumando un total de 35 g.
- Verificar que todos los equipos, incluyendo muflas y el extractor de gases, estén operativos y en buen estado.

#### **2. Dosificación de Reactivos:**

- Para las muestras de minerales oxidados, se utiliza harina de trigo y nitrato de potasio como fundentes. Homogeneizar bien la mezcla de las muestras con los reactivos, asegurándose de que no se produzcan salpicaduras.

#### **3. Cobertura y Preparación para la Fusión:**

- Cubrir las muestras con bórax granulado para evitar que se calcinen durante la fusión.
- Rotular los crisoles de manera ordenada para facilitar su identificación posterior.

#### **4. Proceso de Fusión:**

- Usar pinzas para colocar cuidadosamente los crisoles en el interior de la mufla eléctrica. El tiempo de fusión debe ser de 1 hora y 20 minutos.
- Una vez finalizada la fusión, encender el extractor de gases y proceder a retirar los crisoles utilizando las pinzas, tomando precauciones para evitar quemaduras.

#### **5. Colada y Enfriamiento:**

- Realizar la colada en la lingotera y dejar enfriar durante aproximadamente 10 minutos.

## 6. Chancado del Regulo:

- Después de que el regulo se haya enfriado en la lingotera, proceder al chancado utilizando un yunque, martillo, pinza y escobilla. Esta operación consiste en darle una forma cúbica al regulo mediante golpes de martillo, eliminando cualquier escoria producida durante la fundición.

### Figura 24.

Salida de las muestras fundidas



*Nota.* La imagen muestra la salida de las muestras fundidas con ayuda de la pinza elaborada para los crisoles. *Fuente:* Elaboración propia.

**Figura 25.**

*Lingoteo de las muestras fundidas en el yunque*



*Nota.* La imagen muestra el proceso de vaciado de la fundición en la lingotera cónica. Inicialmente se inclina el crisol en 45° hasta hacer caer el regulo sin salpicaduras y luego finalizar la inclinación en 90°. *Fuente:* Elaboración propia.

**Figura 26.**

*Enfriado y chancado de las escorias*



*Nota.* Imagen de la izquierda muestra el yunque con las muestras fundidas enfriadas a temperatura ambiente y la imagen de la derecha muestra el chancado de la escoria de la muestra fundida.

*Fuente:* Elaboración propia.

**Figura 27.***Formación de los régulos*

*Nota.* Imagen de la izquierda muestra los "régulos"<sup>2</sup> chancados en la forma de paralelepípedo rectangular y la imagen de la derecha muestra los régulos en forma ordenada. *Fuente:* Elaboración propia.

"El plomo sólido, (con los metales nobles colectados se separa de la escoria como régulo)  
" (ANA19)

***Copelación de muestras*****1. Preparación de las Copelas:**

- Ordenar y limpiar las copelas en forma ordenada para eliminar la humedad. Este proceso debe realizarse durante 30 minutos.
- Asegurarse de que la mufla de copelación esté a una temperatura de 950°C antes de iniciar el proceso.

**2. Equipos de Protección Personal (EPP):**

- Utilizar un respirador adecuado y guantes aluminizados para protección durante el proceso.

---

<sup>2</sup>DIRECCION DE LABORATORIOS - LABORATORIO DE QUIMICA ANALITICA, *ENSAYO AL FUEGO*, 2020)

### 3. Carga y Copelación:

- El fundidor comienza cargando los régulos previamente chancados y ordenados. Luego, inicia el proceso de copelación, que debe durar entre 40 y 50 minutos.

### 4. Descarga y Enfriamiento:

- Una vez finalizada la copelación, usar pinzas para descargar las copelas en forma ordenada, permitiendo que se enfríen adecuadamente.

### 5. Pesado y Encarte:

- Tras el enfriamiento, retirar los botones de plata de la botonera y llevarlos a una balanza analítica para determinar su peso exacto.
- Proceder a hacer el encarte con láminas de plomo y plata en granalla, preparándolos para el ataque químico necesario para la extracción del oro.

## Figura 28.

### *Botones de plata*



*Nota.* La imagen de la izquierda muestra los botones de plata después de la copelación en forma ordenada y la imagen del lado derecho muestra los botones de plata en la botonera para el pesado.

*Fuente:* Elaboración propia.

**Figura 29.***Pesado y encuarte de los botones de plata*

*Nota.* La imagen del lado izquierdo muestra la balanza microanalítica mostrando el peso de los botones de plata y la imagen del lado derecho muestra el encuarte del botón de plata con plata en granallas y plomo laminado. *Fuente:* Elaboración propia.

***Ataque químico y pesado de botones de oro*****1. Preparación del Equipo:**

- Encender la plancha de ataque químico, la cual debe estar a una temperatura de 140 a 150°C.
- Chancar cuidadosamente los botones de plata encartados y colocarlos en crisoles de porcelana.

**2. Preparación de la Solución para Oro:**

- Agregar la solución de ataque para oro, compuesta por 3 partes de agua desionizada y 1 parte de ácido nítrico, en los crisoles.

**3. Ataque Químico:**

- Colocar los crisoles cargados en la plancha de ataque químico y esperar que la reacción química disuelva completamente la plata contenida en los botones,

dejando solo el oro en la muestra. Este proceso toma aproximadamente de 30 a 45 minutos.

- Una vez completado el ataque químico, decantar la solución y agregar ácido nítrico puro sobre los crisoles, colocándolos nuevamente en la plancha para asegurar que la reacción se complete.

#### **4. Lavado del Oro:**

- Luego de la decantación, lavar el botón de oro residual que queda en el fondo del crisólito utilizando agua caliente y gotas de hidróxido de amonio.
- Continuar lavando con agua caliente 4 a 5 veces, asegurándose de eliminar todos los residuos.
- Realizar un último lavado, decantar y dejar secar el crisólito en la plancha.

#### **5. Calcinación y Pesado:**

- Finalmente, calcinarlos en la mufla a una temperatura de 600 a 700°C durante 5 a 10 minutos.
- Una vez frío, llevar el botón de oro a la sala de balanza microanalítica para su pesado. Registrar los resultados en el cuaderno de reporte, conservando el orden.

**Figura 30.**

*Ataque químico del botón de oro y plata*



*Nota.* La imagen muestra el ataque químico del botón encuartado con la solución de ácido nítrico de 1:3 a una temperatura de 110°C.

**Figura 31.**

*Pesado de los botones de oro*



*Nota.* La imagen del lado izquierdo muestra el crisol de porcelana con el botón de oro y la imagen del lado derecho muestra el pesado del botón de oro. *Fuente:* Elaboración propia.

## CAPITULO 3

### REPORTE DE ENSAYOS

#### 3.1.Determinación de ley de cobre

La determinación de la ley de cobre se hace mediante la siguiente ecuación:

$$\%Cu = \frac{Vg_{Na_2S_2O_3} * T}{W} * F_{Cu} \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

$\%Cu$ : Porcentaje de cobre en la muestra

$Vg_{Na_2S_2O_3}$ : Volumen gastado de tiosulfato de sodio

$T$ : Valor referencial para vía húmeda 0.25

$W$ : Peso de muestra

$F_{Cu}$ : Factor de corrección para el cobre

Los resultados de análisis de vía húmeda para el cobre de la planta concentradora se presentan a continuación:

**Tabla 1.**

*Análisis de muestras de la planta concentradora*

Muestra	Volumen gastado de tiosulfato de sodio (ml)
Cabeza / faja	0.30
Concentrado disco	3.50
Relave	0.05

Nota. Volúmenes de tiosulfato gastado en la titulación para el cobre.

**Procedimiento:****1. Sustitución de Valores y cálculo:**

Reemplazando los resultados de la Tabla 2 en la ecuación (1) tenemos:

- Para la muestra de "Cabeza / faja":

$$\%Cu = \frac{0.30 \cdot 0.25}{0.25} \cdot 1.14$$

$$\%Cu = \mathbf{0.34 \%}$$

- Para la muestra de "Concentrado disco":

$$\%Cu = \frac{3.50 \cdot 0.25}{0.25} \cdot 1.14$$

$$\%Cu = \mathbf{3.99 \%}$$

- Para la muestra de "Relave":

$$\%Cu = \frac{0.05 \cdot 0.25}{0.25} \cdot 1.14$$

$$\%Cu = \mathbf{0.06 \%}$$

**Tabla 2.**

*Leyes de cobre de las muestras de la planta concentradora*

Muestra	Ley de cobre
Cabeza / faja	0.34 %
Concentrado disco	3.99 %
Relave	0.06 %

*Nota.* La ley de cobre es de 3.99% en el concentrado disco mayor que la cabeza y el relave.

En la Tabla 3 se muestran leyes de cobre determinadas con el factor de cobre 1.14 el cual obtiene haciendo el mismo análisis de cobre, tomando como muestra cobre electrolítico puro para el análisis. Los resultados finales proporcionan el porcentaje de cobre contenido en cada una de las muestras, información fundamental para evaluar la eficiencia del proceso de concentración.

Este procedimiento es esencial para asegurar la precisión en la determinación de la ley de cobre y para garantizar que las operaciones de concentración estén optimizadas.

### 3.2.Determinación de ley de plomo

La determinación de la ley de plomo se hace mediante la siguiente ecuación:

$$\%Pb = \frac{Vg_{EDTA} * T}{W} * F_{Pb} \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

$\%Pb$ : Porcentaje de plomo en la muestra

$Vg_{Pb}$ : Volumen gastado de EDTA

$T$ : Valor referencial para vía húmeda 0.25

$W$ : Peso de muestra

$F_{Pb}$ : Factor de corrección para el plomo

Los resultados de análisis de vía húmeda para el plomo de la planta concentradora se presentan a continuación:

**Tabla 3.**

*Análisis de plomo de muestras de la planta concentradora*

Muestra	Volumen gastado de EDTA (ml)
Cabeza / faja	0.75
Concentrado disco	8.98
Relave	0.09

Nota. Volúmenes de EDTA gastado en la titulación para el análisis de plomo.

**Procedimiento:****1. Sustitución de Valores y cálculo:**

Reemplazando los resultados de la Tabla 4 en la ecuación (2) tenemos:

- Para la muestra de "Cabeza / faja":

$$\%Pb = \frac{0.75*0.25}{0.25} * 1.92$$

$$\%Pb = 1.44 \%$$

- Para la muestra de "Concentrado disco":

$$\%Pb = \frac{8.98*0.25}{0.25} * 1.92$$

$$\%Pb = 17.29 \%$$

- Para la muestra de "Relave":

$$\%Pb = \frac{0.09*0.25}{0.25} * 1.92$$

$$\%Pb = 0.17 \%$$

**Tabla 4.**

*Leyes de plomo de las muestras de la planta concentradora*

Muestra	Ley de plomo
Cabeza / faja	1.44 %
Concentrado disco	17.29 %
Relave	0.17 %

Nota. Se obtuvo una recuperación de plomo de 17.29% en el concentrado final.

En la tabla 5 se muestran leyes de plomo con el factor de plomo 1.92 dicho valor se determina tomando como muestra plomo laminado. Los resultados obtenidos proporcionan el porcentaje de plomo contenido en cada una de las muestras.

### 3.3.Determinación de ley de zinc

La determinación de la ley de zinc se hace mediante la siguiente ecuación:

$$\%Zn = \frac{Vg_{EDTA} * T}{W} * F_{Zn} \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

$\%Zn$ : Porcentaje de zinc en la muestra

$Vg_{Pb}$ : Volumen gastado de EDTA

$T$ : Valor referencial para vía húmeda 0.25

$W$ : Peso de muestra

$F_{Zn}$ : Factor de corrección para el zinc

Los resultados de análisis de vía húmeda para el zinc de la planta concentradora se presentan a continuación:

**Tabla 5.**

*Análisis de zinc de muestras de la planta concentradora*

Muestra	Volumen gastado de EDTA (ml)
Cabeza / faja	0.37
Concentrado disco	6.40
Relave	0.07

*Nota.* Volúmenes de EDTA gastado en la titulación para el análisis de zinc.

#### **Procedimiento:**

##### **1. Sustitución de Valores y cálculo:**

Reemplazando los resultados de la Tabla 6 en la ecuación (3) tenemos:

- Para la muestra de "Cabeza / faja":

$$\%Zn = \frac{0.37 * 0.25}{0.25} * 2$$

$$\%Zn = 0.74 \%$$

- Para la muestra de "Concentrado disco":

$$\%Zn = \frac{6.40 \cdot 0.25}{0.25} \cdot 2$$

$$\%Zn = 12.83 \%$$

- Para la muestra de "Relave":

$$\%Zn = \frac{0.07 \cdot 0.25}{0.25} \cdot 2$$

$$\%Zn = 0.14 \%$$

**Tabla 6.**

*Leyes de zinc de muestras de la planta concentradora*

Muestra	Ley de zinc
Cabeza / faja	0.74 %
Concentrado disco	12.83 %
Relave	0.14 %

*Nota.* Se muestra que el concentrado tiene un 12.83% de zinc en el concentrado final.

En la Tabla 7 se muestran leyes de zinc con el factor de zinc 2.0 dicho valor se determina tomando como muestra zinc en polvo.

### 3.4.Determinación de ley de plata

La determinación de la ley de plata se hace mediante la siguiente ecuación:

$$Ag \left( \frac{Oz}{TM} \right) = \frac{W_{boton\ de\ plata}}{W_{peso\ de\ muestra} \cdot 31.1035} \cdot 10^6 \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

$Ag \left( \frac{Oz}{TM} \right)$ : Ley de plata en la muestra

$W_{\text{boton de plata}}$ : Peso de botón de plata

$W_{\text{peso de muestra}}$ : Peso de muestra

Para muestras sulfuradas se pesa 15g de muestra y para muestras oxidadas se pesa 20g de muestra. El pesado de botones de plata se realiza en la balanza microanalítica y se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 7.**

*Pesado de botones de plata de muestras de planta concentradora*

Muestra	Peso (g)
Cabeza / faja	0.003912
Concentrado disco	0.067390
Relave	0.000750

*Nota.* Se muestra la lectura de los botones de plata.

**Procedimiento:**

**1. Sustitución de Valores y cálculo:**

Reemplazando los resultados de la Tabla 8 en la ecuación (4) tenemos:

- Para la muestra de "Cabeza / faja":

$$Ag \left( \frac{Oz}{TM} \right) = \frac{0.003912 - 0.000260 - 0.000105}{20 * 31.1035} * 10^6$$

$$Ag \left( \frac{Oz}{TM} \right) = 5.70 \frac{Oz}{TM}$$

- Para la muestra de "Concentrado disco":

$$Ag \left( \frac{Oz}{TM} \right) = \frac{0.067390 - 0.000260 - 0.001999}{15 * 31.1035} * 10^6$$

$$Ag \left( \frac{Oz}{TM} \right) = 139.60 \frac{Oz}{TM}$$

- Para la muestra de "Relave":

$$Ag \left( \frac{Oz}{TM} \right) = \frac{0.000750 - 0.000260 - 0.000014}{20 * 31.1035} * 10^6$$

$$Ag \left( \frac{Oz}{TM} \right) = 0.77 \frac{Oz}{TM}$$

**Tabla 8.**

*Leyes de plata para las muestras de la planta concentradora*

Muestra	Ley de plata (Oz/TM)
Cabeza / faja	5.70
Concentrado disco	139.60
Relave	0.77

*Nota.* Se indica la ley de la plata en onzas por tonelada métrica.

### 3.5.Determinación de ley de oro

La determinación de la ley de oro se hace mediante la siguiente ecuación:

$$Au \left( \frac{g}{TM} \right) = \frac{W_{boton\ de\ oro}}{W_{peso\ de\ muestra}} * 10^6 \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

$Ag \left( \frac{g}{TM} \right)$ : Ley de oro en la muestra

$W_{boton\ de\ oro}$ : Peso de botón de oro

$W_{peso\ de\ muestra}$ : Peso de muestra

Para muestras sulfuradas se pesa 15g de muestra y para muestras oxidadas se pesa 20g de muestra. El pesado de botones de oro se realiza en la balanza microanalítica y se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 9.***Pesado de botones de oro de muestras de planta concentradora*

Muestra	Peso (g)
Cabeza / faja	0.000105
Concentrado disco	0.001999
Relave	0.000014

*Nota.* Se muestra el peso de los botones de oro en microgramos.

**Procedimiento:****1. Sustitución de Valores y cálculo:**

Reemplazando los resultados de la Tabla 10 en la ecuación (5) tenemos:

- Para la muestra de "Cabeza / faja":

$$Au \left( \frac{g}{TM} \right) = \frac{0.000105}{20} * 10^6$$

$$Au \left( \frac{g}{TM} \right) = 5.25 \frac{g}{TM}$$

- Para la muestra de "Concentrado disco":

$$Au \left( \frac{g}{TM} \right) = \frac{0.001999}{15} * 10^6$$

$$Au \left( \frac{g}{TM} \right) = 133.27 \frac{Oz}{TM}$$

- Para la muestra de "Relave":

$$Au \left( \frac{g}{TM} \right) = \frac{0.000014}{20} * 10^6$$

$$Au \left( \frac{g}{TM} \right) = 0.71 \frac{Oz}{TM}$$

**Tabla 10.***Leyes de oro para las muestras de la planta concentradora*

Muestra	Ley de oro (g/TM)
Cabeza / faja	5.25
Concentrado disco	133.27
Relave	0.71

*Nota.* Se muestra las leyes de oro en gramos por tonelada métrica de oro.

## CAPÍTULO IV

### APORTES PROFESIONALES

#### 4.1. Implementación de un lavador de gases

La implementación de un lavador de gases se ha vuelto esencial para contrarrestar la emisión de gases al medio ambiente, especialmente aquellos producidos en los análisis diarios realizados en la sección de Vía Húmeda estos gases son:  $\text{CuCl}_4^{2-}(\text{g})$ ,  $\text{PbCl}_4^{2-}(\text{g})$ ,  $\text{ZnCl}_4^{2-}(\text{g})$ ,  $\text{FeCl}_4^{2-}(\text{g})$ ,  $\text{NO}(\text{g})$ ,  $\text{Cl}_2(\text{g})$ ,  $\text{PbSO}_4(\text{g})$ ,  $\text{ZnSO}_4(\text{g})$ ,  $\text{NO}_2(\text{g})$ ,  $\text{SO}_2(\text{g})$ ,  $\text{NH}_3(\text{g})$  y  $\text{SO}(\text{g})$ . Este lavador de gases se ha diseñado con el objetivo fundamental de neutralizar los gases ácidos generados durante estos análisis.

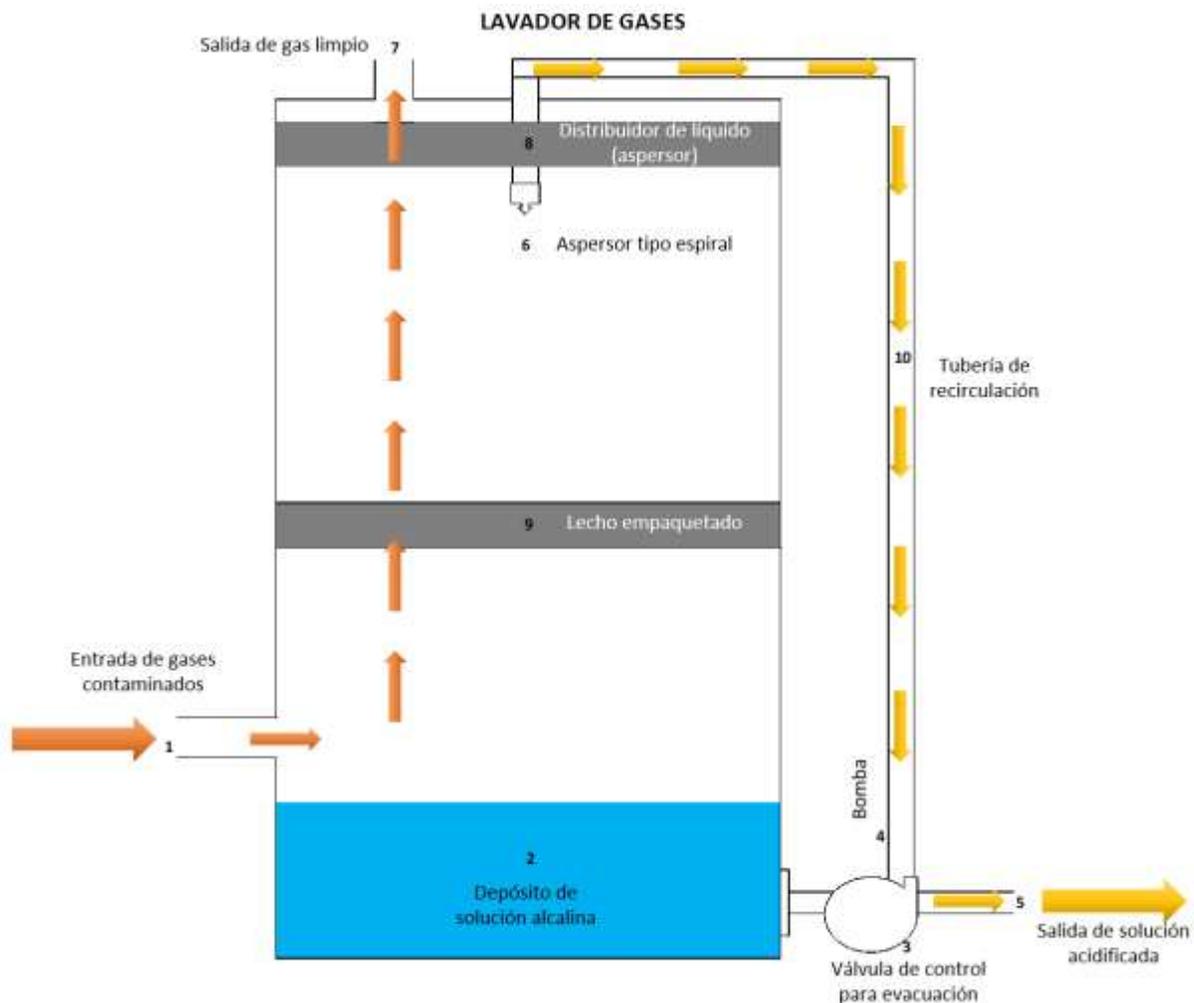
El lavador propuesto es de tipo torre empacada, conocido como "scrubber", en el cual se inyecta un líquido reactivo neutralizante, como cal o hidróxido de sodio. Este líquido es distribuido a través de una serie de aspersores de tipo espiral que generan una lluvia que cae a contracorriente de los gases contaminados que ingresan desde la parte inferior del sistema. Esta interacción entre el líquido y los gases contaminados maximiza la transferencia de masa, permitiendo la neutralización efectiva de los contaminantes.

El gas limpio, ya neutralizado y saturado en agua, pasa luego por un equipo adicional que elimina las neblinas residuales, ubicado en la parte superior del lavador. Para asegurar una mayor eficiencia en la purificación del gas, se empleará un filtro de carbón activado en esta etapa final.

La construcción y operación de este equipo será llevada a cabo con el soporte del área de mantenimiento mecánico y eléctrico de la Planta ARC, garantizando así una instalación y funcionamiento adecuado.

**Figura 32.**

*Esquema del lavador de gases*



*Nota.* Esquema del lavador de gases mostrando los componentes principales. Fuente.

*Elaboración propia.*

#### 4.2.Descripción del Proceso en el Lavador de Gases

**1.Entrada de gases contaminados:** El proceso comienza con la entrada de los gases contaminados a través del Punto 1, que corresponde a una tubería diseñada para soportar presiones variables y dirigir eficientemente los gases hacia el interior del sistema de lavado.

**2. Depósito de solución alcalina:** En el Punto 2 se encuentra un depósito que contiene una solución alcalina con un pH de 10. Esta solución es crucial para la neutralización de los gases contaminados, ya que reacciona con los contaminantes ácidos presentes en los gases. El mantenimiento de un pH adecuado asegura la efectividad de la neutralización.

○ **Preparación de la solución de neutralizante**

Esta solución neutralizante de hidróxido de sodio tiene un pH de 10, mediante la siguiente ecuación determinamos el pOH:

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14$$

$$\text{pOH} = 14 - \text{pH}$$

$$\text{pOH} = 14 - 10$$

$$\text{pOH} = 4$$

Determinamos la concentración de [OH]

$$\text{pOH} = -\log[\text{OH}]$$

$$4 = -\log[\text{OH}]$$

$$[\text{OH}] = 10^{-4} \text{ mol NaOH}$$

○ **Cálculo de la cantidad de hidróxido de sodio para la solución neutralizante:**

$$m_{\text{NaOH}} = 1000\text{L} * \frac{10^{-4} \text{ mol NaOH}}{\text{L}} * \frac{40 \text{ g}}{1 \text{ mol NaOH}}$$

$$m_{\text{NaOH}} = 4 \text{ g}$$

**3. Bomba de recirculación:** La solución alcalina es bombeada desde el depósito a través del **Punto 4** utilizando una bomba especialmente diseñada para manejar soluciones corrosivas.

La bomba garantiza un flujo constante hacia el siguiente componente del sistema, permitiendo una distribución efectiva de la solución.

**4. Válvula de control:** En el **Punto 4** se encuentra también una válvula de control que permite la medición y ajuste del pH de la solución alcalina. Esta función es crítica, ya que el pH de la solución disminuye a medida que se neutralizan los ácidos presentes en los gases. Cuando la solución se acidifica demasiado y pierde su capacidad neutralizante, es evacuada a través del **Punto 5** hacia la relavera.

**5. Aspersor tipo espiral:** La solución alcalina es transportada hacia el **Punto 6**, donde está ubicado un aspersor tipo espiral. Este dispositivo distribuye la solución en forma de lluvia dentro de la columna del lavador, permitiendo que caiga a contracorriente y entre en contacto directo con los gases que suben desde la base. Este contacto es esencial para la absorción y neutralización de los contaminantes gaseosos.

**6. Lecho empacado:** El **Punto 9** corresponde a un lecho empacado que mejora la eficiencia del proceso de absorción al aumentar el área de contacto entre los gases y la solución alcalina. Este lecho actúa como un medio adicional para capturar los contaminantes.

**7. Salida de gases limpios:** Después de pasar por el proceso de neutralización y absorción, los gases limpios se expulsan a través del **Punto 7**. Esta salida garantiza que las emisiones cumplan con las normativas ambientales vigentes, minimizando el impacto ambiental.

**8. Tubería de recirculación:** Finalmente, el sistema cuenta con una **Tubería de recirculación** en el **Punto 10**, que asegura que la solución alcalina pueda ser reutilizada en el proceso, optimizando los recursos y reduciendo el desperdicio.

### 4.3. Especificaciones técnicas

#### Componente 1: Entrada de gases contaminados

**Tabla 11.**

*Especificaciones técnicas de Componente 1: Entrada de gases contaminados*

<b>Especificación</b>	<b>Detalle</b>
<b>Material</b>	PVC o acero inoxidable
<b>Medidas</b>	Diámetro de 6 a 10 pulgadas
<b>Tipo</b>	Tubería recta
<b>Forma</b>	Cilíndrica, conducto lineal
<b>Color</b>	Gris (PVC) o plateado (acero inoxidable)
<b>Descripción</b>	Conducto que permite el ingreso de gases contaminados al lavador, diseñado para soportar corrosión y altas temperaturas de los gases.
<b>Especificaciones adicionales</b>	Válvula de control para regular la entrada.

*Nota.* Las especificaciones se basan en estándares industriales para la conducción de gases en procesos de limpieza de aire. Tomado de *Industrial Plastics*, <https://www.industrialplastics.com/pvc-pipes/>

## Componente 2: Depósito de solución alcalina

**Tabla 12.**

*Especificaciones técnicas de Componente 2: Depósito de solución alcalina*

<b>Especificación</b>	<b>Detalle</b>
<b>Material</b>	Polietileno reforzado o acero
<b>Medidas</b>	Capacidad de 1000 litros
<b>Tipo</b>	Contenedor
<b>Forma</b>	Rectangular o cilíndrica, dependiendo del diseño
<b>Color</b>	Azul (polietileno) o gris (acero)
<b>Descripción</b>	Contenedor para almacenar la solución alcalina que neutraliza los gases ácidos. Debe estar protegido contra corrosión y equipado con indicadores de nivel.
<b>Especificaciones adicionales</b>	Tapa hermética, sistema de agitación.

*Nota.* Las especificaciones mencionadas corresponden a depósitos utilizados en la industria química para almacenamiento de soluciones alcalinas. Tomado de *Plastic Tanks for Chemical Storage*, <https://www.plastictanksforchemicals.com/>

### Componente 3: Bomba centrífuga

**Tabla 13.**

*Especificaciones técnicas de Componente 3: Bomba centrífuga*

<b>Especificación</b>	<b>Detalle</b>
<b>Material</b>	Acero inoxidable
<b>Medidas</b>	Capaz de bombear hasta 50 GPM
<b>Tipo</b>	Bomba
<b>Forma</b>	Compacta, generalmente cilíndrica
<b>Color</b>	Plateado o negro
<b>Descripción</b>	Bomba que recircula la solución alcalina desde el depósito hasta el aspersor. Diseñada para manejar soluciones corrosivas.
<b>Especificaciones adicionales</b>	Motor de 2 HP con protección contra sobrecarga térmica.

*Nota.* Esta bomba centrífuga es utilizada para la recirculación de soluciones en sistemas de lavado de gases. Tomado de *Catálogo de Bombas Industriales, 2023*.

### Componente 4: Válvula de control para evacuación

**Tabla 14.**

*Especificaciones técnicas de Componente 4: Válvula de control para evacuación*

<b>Especificación</b>	<b>Detalle</b>
<b>Material</b>	PVC, acero inoxidable o latón
<b>Medidas</b>	N/A

<b>Tipo</b>	Válvula de bola o mariposa
<b>Forma</b>	Esférica o circular (dependiendo del tipo de válvula)
<b>Color</b>	Gris (PVC) o plateado (acero o latón)
<b>Descripción</b>	Válvula que regula la evacuación de la solución acidificada.
<b>Especificaciones adicionales</b>	Resistencia a químicos corrosivos y facilidad de operación.

*Nota.* Información basada en las especificaciones de válvulas estándar utilizadas en sistemas de control de fluidos. Tomado de *Valves Direct*, <https://www.valvesdirect.com/stainless-steel-control-valves/>

### **Componente 5: Salida de solución acidificada**

**Tabla 15.**

*Especificaciones técnicas de Componente 5: Salida de solución acidificada*

<b>Especificación</b>	<b>Detalle</b>
<b>Material</b>	PVC o acero inoxidable
<b>Medidas</b>	Diámetro de 4 pulgadas
<b>Tipo</b>	Conducto
<b>Forma</b>	Cilíndrica, conducto lineal
<b>Color</b>	Gris (PVC) o plateado (acero inoxidable)
<b>Descripción</b>	Conducto de salida para la solución neutralizada que será desechada o reciclada.

<b>Especificaciones adicionales</b>	Trampa de líquidos para evitar el retorno de gases.
-------------------------------------	---

*Nota.* Especificaciones técnicas para la salida de solución acidificada en un sistema de lavado de gases. Tomado de Piping Technology. (n.d.). *Especificaciones técnicas de sistemas de conductos*. Recuperado de <https://www.pipingtechnology.com>.

### Componente 6: Aspersor tipo espiral

**Tabla 16.**

*Especificaciones técnicas de Componente 6: Aspersor tipo espiral*

<b>Especificación</b>	<b>Detalle</b>
<b>Material</b>	PVC o acero inoxidable
<b>Medidas</b>	N/A
<b>Tipo</b>	Dispositivo de dispersión
<b>Forma</b>	Espiral
<b>Color</b>	Gris (PVC) o plateado (acero inoxidable)
<b>Descripción</b>	Dispositivo que dispersa la solución alcalina en forma de rocío, permitiendo un contacto óptimo con los gases para su neutralización.
<b>Especificaciones adicionales</b>	Diámetro de boquilla ajustable para controlar la pulverización.

*Nota.* Especificaciones técnicas del aspersor tipo espiral para sistemas de lavado de gases. Tomado de Sprayer Depot. (n.d.). *Aspersores industriales y accesorios*. Recuperado de <https://www.sprayerdepot.com>.

### Componente 7: Salida de gas limpio

**Tabla 17.**

*Especificaciones técnicas de Componente 7: Salida de gas limpio*

<b>Especificación</b>	<b>Detalle</b>
<b>Material</b>	PVC o acero inoxidable
<b>Medidas</b>	Diámetro de 8 a 10 pulgadas
<b>Tipo</b>	Conducto
<b>Forma</b>	Cilíndrica, conducto lineal
<b>Color</b>	Gris (PVC) o plateado (acero inoxidable)
<b>Descripción</b>	Conducto de salida para los gases tratados que han sido neutralizados y limpiados.
<b>Especificaciones adicionales</b>	Equipado con filtros para retener partículas residuales.

*Nota.* Especificaciones técnicas para la salida de gas limpio en sistemas de lavado de gases.

Tomado de Industrial Air Solutions. (n.d.). *Especificaciones de conductos de ventilación y escape.*

Recuperado de <https://www.industrialairsolutions.com>.

### Componente 8: Distribuidor de líquido

**Tabla 18.**

*Especificaciones técnicas de Componente 8: Distribuidor de líquido*

<b>Especificación</b>	<b>Detalle</b>
<b>Material</b>	PVC o acero inoxidable
<b>Medidas</b>	N/A

<b>Tipo</b>	Distribuidor en línea
<b>Forma</b>	N/A
<b>Color</b>	Gris (PVC) o plateado (acero inoxidable)
<b>Descripción</b>	Elemento que asegura la distribución uniforme de la solución alcalina en el aspersor.
<b>Especificaciones adicionales</b>	Diseño para asegurar una distribución homogénea del líquido.

*Nota.* Especificaciones técnicas del distribuidor de líquido en sistemas de lavado de gases. Tomado de Process Systems. (n.d.). *Distribuidores de líquidos para sistemas industriales*. Recuperado de <https://www.processsystems.com>.

### Componente 9: Lecho empaquetado

**Tabla 19.**

*Especificaciones técnicas de Componente 9: Lecho empaquetado*

<b>Especificación</b>	<b>Detalle</b>
<b>Material</b>	Materiales de relleno (Raschig)
<b>Medidas</b>	N/A
<b>Tipo</b>	Lecho empaquetado
<b>Forma</b>	Formas variadas para maximizar el área de contacto
<b>Color</b>	N/A
<b>Descripción</b>	Medio que aumenta el área de contacto entre los gases y la solución alcalina, facilitando la absorción y neutralización de los contaminantes.

**Especificaciones**

Resistencia a la corrosión y al desgaste mecánico.

**adicionales**

*Nota.* Especificaciones técnicas del lecho empaquetado para sistemas de lavado de gases. Tomado de Packed Bed Systems. (n.d.). *Especificaciones de lechos empaquetados industriales.* Recuperado de <https://www.packedbedsystems.com>.

**Componente 10: Tubería de recirculación****Tabla 20.**

*Especificaciones técnicas de Componente 10: Tubería de recirculación*

<b>Especificación</b>	<b>Detalle</b>
<b>Material</b>	PVC, polietileno o acero
<b>Medidas</b>	Diámetro de 1 a 2 pulgadas
<b>Tipo</b>	Tubería
<b>Forma</b>	Cilíndrica, conducto lineal
<b>Color</b>	Gris (PVC), blanco (polietileno), o plateado (acero)
<b>Descripción</b>	Tubería que recircula la solución alcalina desde el depósito hasta el aspersor.
<b>Especificaciones adicionales</b>	Resistencia a la presión y a la corrosión.

*Nota.* Especificaciones técnicas de la tubería de recirculación en sistemas de lavado de gases. Tomado de Piping Systems. (n.d.). *Especificaciones técnicas de sistemas de tuberías industriales.* Recuperado de <https://www.pipingsystems.com>.

## CONCLUSIONES

A lo largo del informe técnico, se han descrito minuciosamente las operaciones y procesos realizados en el área de laboratorio químico de la planta concentradora, abarcando las diferentes secciones de trabajo, tales como la preparación de muestras, los análisis mediante de vía húmeda y los análisis de vía seca. Esta descripción ha permitido entender la importancia de cada proceso en la determinación de las leyes de los metales presentes en las muestras.

La labor del laboratorio químico es crucial, ya que influye directamente en los reportes de las leyes de los minerales procesados. La exactitud en la toma de muestras y en su preparación garantiza que los resultados obtenidos reflejen de manera precisa las características del mineral, lo cual es fundamental para la toma de decisiones en la planta concentradora.

Los ensayos realizados en el laboratorio químico se dividen en dos métodos principales: vía húmeda y vía seca. La vía húmeda se utiliza para la determinación de elementos como plomo, zinc y cobre, mientras que la vía seca se emplea para la cuantificación de metales preciosos como la plata y el oro. La combinación de ambos métodos asegura un análisis completo y preciso de las muestras.

## RECOMENDACIONES

Para garantizar la precisión y confiabilidad de los análisis químicos en el laboratorio, se recomienda implementar un programa continuo de capacitación para el personal. Esto no solo ayudará a mantener actualizados los conocimientos sobre técnicas de análisis y manejo de equipos, sino que también asegurará que los procedimientos operativos se lleven a cabo con precisión y coherencia. Además, es fundamental establecer protocolos rigurosos de control de calidad que incluyan la verificación constante de los resultados utilizando patrones certificados y realizar un monitoreo continuo de variables críticas como el pH de las soluciones.

También se sugiere desarrollar un plan integral de mantenimiento y actualización de equipos analíticos, asegurando que todos los instrumentos funcionen dentro de los estándares requeridos y que las innovaciones tecnológicas se integren cuando sea necesario. El mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos es esencial para evitar errores en los análisis y prolongar la vida útil de los mismos. Junto con esto, la revisión periódica de los procedimientos estándar del laboratorio garantizará que las mejores prácticas se mantengan al día y que todo el personal esté alineado con los métodos operativos actualizados.

Finalmente, es importante optimizar la gestión de residuos químicos generados en el laboratorio para cumplir con las normativas ambientales y promover la sostenibilidad en las operaciones. La correcta segregación, almacenamiento y disposición final de los residuos contribuirán a minimizar el impacto ambiental y a garantizar la seguridad en el laboratorio. Estos pasos no solo mejorarán la eficiencia operativa del laboratorio químico, sino que también asegurarán que los análisis realizados contribuyan de manera efectiva al control y optimización de los procesos en la planta concentradora.

## BIBLIOGRAFIA

Alfaro, S. M. (2002). *Introducción al Muestreo Minero*. Santiago: Instituto de Ingenieros de Minas de Chile.

Dirección de Laboratorios - Laboratorio de Química Analítica. (2020). Ensayo al fuego. INGEMMET.

Gallego, P. A., Garcinuño, M. R., & Morcillo, O. M. (2015). Experimentación en química analítica. 31. España: Universidad Nacional de Educación a Distancia.

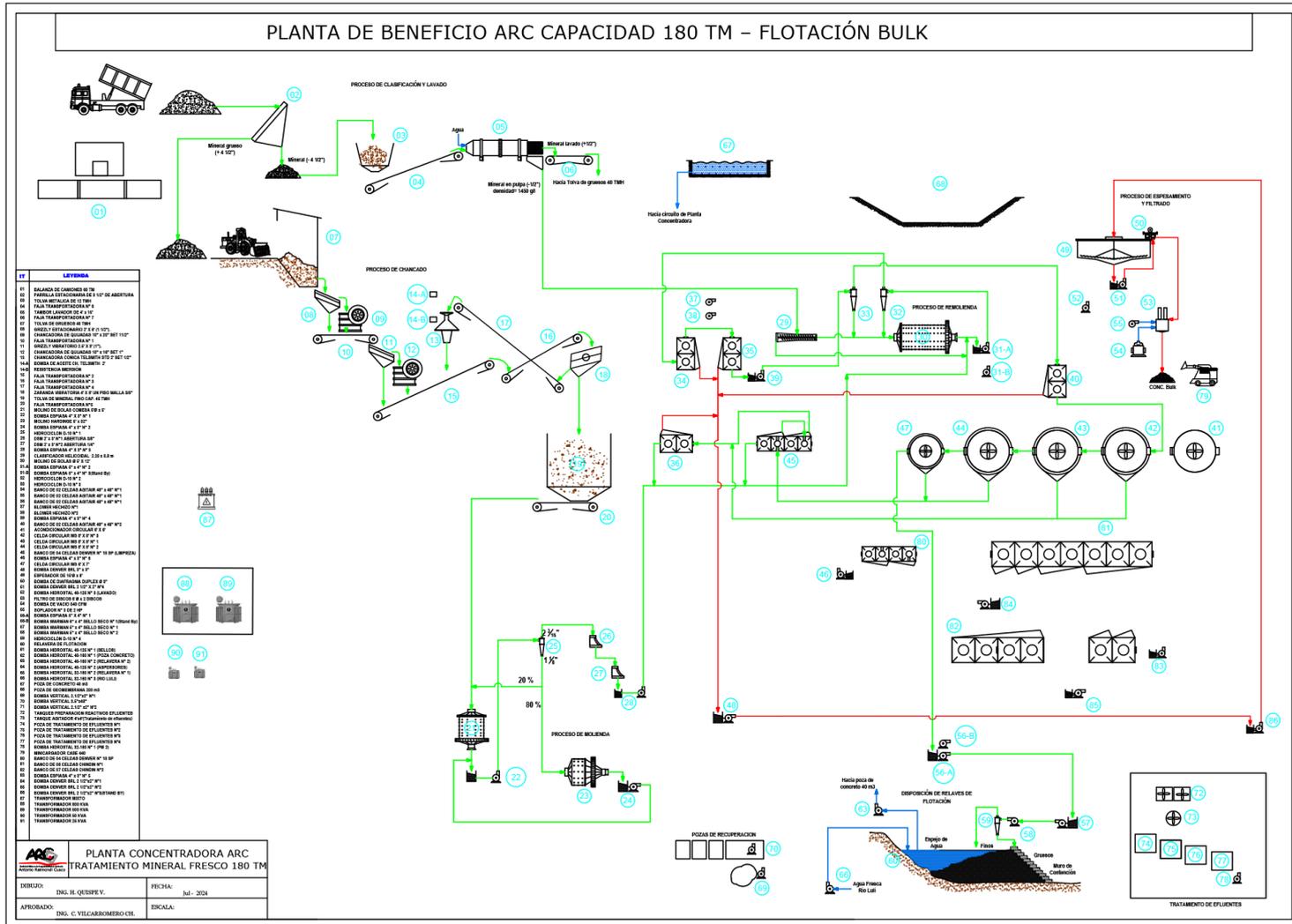
J. Reminas Mineração. (13 de Julio de 2021). Blends de Minerales. Obtenido de Blend de Minerales: <https://jreminas.com/es/blog-es/498-blends-de-minerios-es>

McLanahan Corporation. (2024). Alimentadores Grizzly. Metso. Obtenido de Metso: <https://www.mclanahan.com/es/productos/alimentadores-vibratorios-grizzly#:~:text=Los%20alimentadores%20vibratorios%20Grizzly%20reducen,tama%C3%B1o%20de%20chancador%20primario%20requerido.>

Torres, H. A., & Marcheno, R. J. (2020). Comparación bibliográfica de la eficiencia del método de digestión ácida tradicional y asistida por microondas en la preparación de muestras. MACHALA.

Zuloaga, I., & Bustinza, R. V. (2007). Química analítica y el análisis de minerales. Arequipa.

Anexo 1. Diagrama de flujo de la Planta Concentradora Antonio Raymondi Cusco SMRL



Nota. Operaciones y procesos unitarios de la Planta Concentradora Antonio Raymondi