



Universidad Nacional  
**SAN LUIS GONZAGA**



## **Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional**

Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales Creative Commons, permitiendo a otras solo descargar sus obras y compartirlas con otras siempre y cuando den crédito, pero no pueden cambiarlas de forma alguna ni usarlas de forma comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>



UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS Y METALURGIA  
EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD



El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud de **Tesis** cuyo título es:

**"INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE REACTIVOS EN LA EFICIENCIA DE RECUPERACIÓN DEL ORO A PARTIR DE MINERALES POLIMETÁLICOS"**

Presentado por:

**CANTORAL RIVERA NORMAN PEDRO**

**Estudiante** del nivel PREGRADO de la **Facultad de Ingeniería de Minas y Metalurgia**. El resultado obtenido es 19% por el cual se otorga el calificativo de:

**(APROBADO, Según Reglamento de Evaluación de la Originalidad)**

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

**Observaciones:**

APROBADO OBTUVO EL 19% (MENOR O IGUAL AL 20% REQUERIDO)

Ica, 25 de mayo de 2023

.....  
**DR. VICTOR MANUEL FLORES MARCHAN**  
**DIRECTOR DE UNIDAD DE INVESTIGACION**  
**FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS Y METALURGIA**

# UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUÍS GONZAGA” DE ICA

Facultad de Ingeniería de Minas y Metalurgia



Tesis:

## **“INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE REACTIVOS EN LA EFICIENCIA DE RECUPERACIÓN DEL ORO A PARTIR DE MINERALES POLIMETÁLICOS”**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico

Presentado por:

CANTORAL RIVERA, Norman Pedro.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Metalurgia extractiva de metales

**NASCA – PERÚ  
2020**

## INTRODUCCIÓN

En casi todos los yacimientos que actualmente se encuentran en operación, el oro se extrae junto con otros minerales que se encuentran como sulfuros, conformando los llamados minerales polimetálicos. La recuperación del oro en estos casos ofrece cierta complicación desde el punto de vista operativo, ya que es preciso establecer experimentalmente, las condiciones para la flotación y sobre todo la dosificación correcta de los reactivos, seleccionados previamente por sus características, para lograr una máxima recuperación del oro. Este es el objetivo que se plantea la presente investigación que a nivel laboratorio pretende establecer los parámetros adecuados para la extracción del oro a partir de minerales polimetálicos, estableciendo dosificaciones correctas de los reactivos usados en este caso de flotación.



## INDICE

	Pág.
CARÁTULA	01
INTRODUCCIÓN	02
INDICE	03
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	05
1.1. Situación problemática	05
1.2. Formulación del problema.	06
1.3. Objetivos.	06
1.4. Justificación e importancia.	06
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.	07
2.1. Antecedentes.	07
2.2. Bases teóricas.	12
2.3. Marco conceptual.	21
CAPÍTULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES.	26
3.1. Hipótesis.	26
3.1.1 Hipótesis general.	26
3.1.2. Hipótesis secundarias.	26
3.2. Variables.	26
3.3. Operacionalización de las variables.	27
CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO.	28
4.1. Tipo, Nivel y Diseño de la Investigación.	28
4.2. Población y muestra.	28
4.3. Técnicas de recolección de información.	28
4.4. Instrumentos de recolección de información.	28

4.5. Técnicas de análisis e interpretación de datos.	29
<b>CAPÍTULO V: PARTE EXPERIMENTAL</b>	<b>30</b>
5.1. Instrumentos, equipos y reactivos.	30
5.2. Preparación de muestras.	44
5.3. Ensayos de flotación.	46
<b>CAPÍTULO VI: RESULTADOS.</b>	<b>48</b>
6.1. Resultados obtenidos.	48
6.2. Discusión de resultados.	71
<b>CONCLUSIONES.</b>	<b>73</b>
<b>RECOMENDACIONES.</b>	<b>74</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>75</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>77</b>



# CAPÍTULO I

## PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La recuperación de oro a partir de minerales polimetálicos mediante flotación resulta ser complicado en tanto hay que establecer mediante pruebas experimentales el tipo de reactivos a emplear, la cantidad de estos, la interacción de estos reactivos, como los colectores con los otros metales existentes en el mineral, a fin de no deprimir los y poder en una primera fase recuperarlos con el oro y luego poder, en una segunda fase separarlo si mayores inconvenientes. Uno de los primeros problemas a enfrentar es la selección del colector, del espumante y de los reactivos modificadores que se van a emplear y luego estudiar en laboratorio el comportamiento de estos reactivos en función de la cantidad de oro recuperado.

### 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

#### 1.2.1. Problema general.

¿Cómo influye la concentración de reactivos en la eficiencia de recuperación del oro a partir de minerales polimetálicos?

#### 1.2.2. Problemas específicos:

- a. ¿Cuál es la concentración de los reactivos colectores, espumantes y modificadores que se deben usar en la recuperación del oro contenido en minerales polimetálicos?

- b. ¿Es posible separar de manera rápida y económica, mediante flotación, el oro contenido en minerales polimetálicos?

### **1.3. OBJETIVOS.**

#### **1.3.1. Objetivo General.**

Determinar cómo influye la concentración de reactivos en la eficiencia de recuperación del oro a partir de minerales polimetálicos.

#### **1.3.2. Objetivos específicos:**

- a. Establecer la concentración de los reactivos colectores, espumantes y modificadores que se deben usar en la recuperación del oro contenido en minerales polimetálicos.
- b. Demostrar que es posible separar de manera rápida y económica, mediante flotación, el oro contenido en minerales polimetálicos.

### **1.4. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.**

La importancia de la presente investigación radica en que se va a determinar la concentración adecuada de reactivos seleccionados para la flotación de polimetálicos que contienen oro, con la finalidad de separar de la manera más sencilla y barata, el metal precioso. La adecuada selección y dosificación del reactivo, permite optimizar el proceso y lograr una rentabilidad extra para la empresa dedicada a este rubro.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES.

##### 2.1.1. A nivel nacional.

Cuellar, R. en el año 2015 presentó su tesis titulada *Optimización del tratamiento de los minerales combinados de cobre y plomo – zinc, mediante la modificación del sistema de flotación en la unidad de negocios de Yauricocha*, a la Universidad del Centro del Perú en la que se desarrolló un Sistema de Flotación Selectiva para el tratamiento del mineral de Antacaca que reemplaza con éxito al Sistema de Flotación Colectiva-Selectiva que empleaban anteriormente en dicha planta. En el trabajo de investigación el autor llegó a las siguientes conclusiones:

Este nuevo sistema aprovecha la diferente flotabilidad exhibida por los minerales de Pb y Cu en sistemas simples, acentuando esta diferencia para recuperarlos en circuitos independientes.

La solución planteada no se ha limitado a la separación Cu/Pb y engloba la flotación del mineral fresco. Su aplicación permitirá incrementar el valor de venta del mineral de Antacaca en un 65%

El objetivo de mejorar la calidad de los concentrados de Cu y Pb también ha sido cumplido; durante el estudio se obtuvieron concentrados de Cu y de Pb con leyes tan altas como 24.4 %Cu y 67.2 %Pb, respectivamente, y bajo nivel de impurezas.

Se demostró que es posible obtener concentrados de alta calidad con el esquema propuesto. El objetivo de mejorar la recuperación de la recuperación del Cu, Pb y Zn en sus respectivos concentrados se cumple

con el sistema selectivo; la recuperación de Pb se incrementará por lo menos en 3 unidades, y la recuperación de Cu se incrementará en 36 unidades, con respecto al tratamiento colectivo. El desplazamiento de Zn a los concentrados de Cu y Pb se ha reducido desde 12.3% a 8.1%, y en consecuencia la recuperación de Zn se incrementará en 4 unidades.

El objetivo de maximizar el aprovechamiento de la capacidad instalada en la concentradora de Chumpe ha sido cumplido. El sistema propuesto no requiere, en principio, de un circuito de Separación Cu/Pb y promueve la separación inmediata del concentrado de Pb reduciendo significativamente la carga circulante y el número de etapas de limpieza.

Como consecuencia el volumen de celdas de flotación requerido para el tratamiento propuesto resulta 56 m<sup>3</sup> comparado con 93 m<sup>3</sup> empleados anteriormente y disponibles en la actualidad en el circuito de flotación bulk (Pb). El volumen excedente es suficiente para incrementar en 50% la capacidad de tratamiento en este circuito. La reducción del costo de tratamiento, planteada como objetivo, ha sido lograda.

En el año 2016 Cortez, J. y Minanya, M. presentaron su trabajo de investigación titulado *Estudio de la reducción del desplazamiento de plomo a concentrados de cobre, zinc y al relave final mediante la implementación de celdas unitarias skim-air (SK-240 y SK-80) en la descarga de los molinos en C.I.A. Minera Raura*. En la que concluyen que, la compañía minera Raura ha optimizado la aplicación de las celdas unitarias para la flotación de Pb en la descarga de los molinos, los cuales se están difundiendo en otras empresas. Es posible extraer hasta un 80% del Pb total solo con las celdas Sk-80 y SK240 debido al incremento del tiempo

de flotación al operarse con densidades mayores a 1,700 g/l. repercutiendo en la disminución del volumen del circuito convencional que permite operar selectivamente, con lo cual se minimizan los contaminantes originados por arrastres mecánicos. Producir concentrado de Cu de 30% hasta con leyes de cabeza de 0.20% de Cu y leyes de cabeza de Pb mayores a 3%.

Mejorar la porosidad del concentrado de Pb por efecto del incremento del F80, lo cual se viene traduciendo en una reducción de la humedad. Descabezar la ley de Pb, bajándola a rangos menores de 0.7% para la etapa posterior en celda Rougher Bulk N°1, lo cual se traduce en un menor consumo de reactivos en las siguientes etapas del proceso. Incrementar la recuperación de Pb de 87% a 92% en promedio, por la eliminación de la generación de lamas que originaban pérdidas en el Concentrado de Cu y relave final.

Incrementar el grado del concentrado de Cobre, al bajar el desplazamiento del Plomo fino de 9% a 2.8% lo que ha permitido subir el grado del concentrado de Cobre de 23.5% a 30%.

### **2.1.2. A nivel internacional.**

Cobos, H. en el año 2018 presentó su trabajo de investigación, *Flotación Rougher de un Mineral Aurífero Complejo asociado a Sulfuros Polimetálicos*. En el que concluye que, se llegó a una concentración de oro y plata muy variable, de acuerdo a los parámetros aplicados a los ensayos, es decir, con cada reactivo y tiempos de muestreo presentan diferencias de concentraciones. Estudiar a nivel laboratorio los efectos de: densidad de pulpa que en este caso fue de (30% Sólidos y 70% Líquido),

pH, tipo y dosificación de reactivos y efecto de aireación. En cuanto a la relación “recuperación versus ley” del concentrado final, el mejor resultado fue de la prueba #8 en porcentajes de recuperación de Oro y la prueba #7 en cuanto a la Plata. Los reactivos que responden positivamente a las pruebas son: Colector (Xantato Amílico Potásico), espumante (Methyl Isobutyl Carbinol-MIBC), y sulfato de Cobre ( $\text{CuSO}_4$ ) como activador, presentan mejor recuperación comprobando que la acción de esta combinación, pues al minuto se obtiene 58,3 g/t. El uso de Sulfato de Zinc ( $\text{Zn SO}_4$ ) no es necesario, pues no mejora la flotación, al contrario, solo minora la recuperación e interfiere con el trabajo de los otros reactivos. Finalmente, la investigación cumplió con la comprensión de la flotabilidad de un mineral aurífero dentro de una mena polimetálica compleja, en donde se identificó y evaluó los contenidos y porcentajes contenidos en la mena polimetálica compleja, estableciendo parámetros para la recuperación de oro y estableciendo mejoras en las variables del proceso de acuerdo con la hidrofobicidad de las partículas.

En el año 2017, Molina, A. presentó su tesis titulada *Estudio del efecto de la aplicación de espumantes en el proceso de flotación de mineral mixto de cobre*. A la Universidad De Santiago de Chile, en la que concluye que, La familia de los poliglicoles (DF250, DF1012 y DF400) generan una mayor altura de espuma que el Metil isobutil carbonil (MIBC) debido a su estructura y propiedades químicas: alto peso molecular, largo de cadena hidrocarbonada y capacidad para generar puentes de hidrógenos. La espumabilidad sin la presencia de mineral y colector es mayor en agua de mar que en agua fresca, debido a la presencia de iones que se depositan

en la interfase líquido-gas. Comportamiento que se invierte con la presencia de sólidos, donde para surfactantes puros y combinados se reduce la altura de espuma en un 18% y 30% respectivamente en medios de alta salinidad. Por otra parte, el colchón de espuma disminuye al incrementar la dosificación de xantato, lo que indica una interacción entre el tipo de colector y espumante utilizado. Para sistemas bifásicos y trifásicos la variable de mayor impacto en la espumabilidad es la salinidad del medio, destacando el DF400 por no presentar tendencias irregulares respecto a la presencia de colector y/o mineral en la pulpa de trabajo y una menor inhibición frente a alta presencia de iones en la suspensión. Tanto para espumantes puros como las combinaciones a partir del DF400 se concluye que el MIBC es aquel que presenta una menor, pero menos variable, capacidad como surfactante frente a las diferentes condiciones de trabajo por su baja interacción con otros componentes de la pulpa. Lo que indica que el comportamiento de la espuma depende en gran medida de la estructura y propiedades hidrodinámicas que ésta presenta en función del surfactante usado.

La columna AMIRA modificada presenta una correlación con la celda de flotación en términos de espumabilidad de casi un 80%, validándola como herramienta de caracterización de espumantes para esta variable. El espumante puro que ofrece una menor DTB es el DF400, reduciendo en un 31% el diámetro de burbuja respecto al agua fresca. Mientras que, para las mezclas a partir de este último, destaca la combinación DF400/DF250 disminuyendo en un 33% el tamaño de la burbuja, seguido del DF400/MIBC.

Existe una clara tendencia entre el diámetro de burbuja y la recuperación de cobre, determinado por la relación entre el tamaño de burbuja y de partícula de mineral en la zona de colección de la pulpa. Las combinaciones DF400/DF2500 y DF400/MIBC ofrecen valores óptimos de recuperación metalúrgica respecto a los otros casos, principalmente al Metil isobutil carbonil, debido a que este último genera un tamaño de burbujas un 24% mayor. Respecto a las flotaciones de mineral mixto se puede afirmar que existe una alta correlación (84%) entre la altura de espuma que genera el surfactante con la ley de cobre del concentrado, donde para pulpas de alta salinidad es casi independiente del tipo de surfactante (o mezcla) en la operación. Las mayores recuperaciones en agua de mar (sobre 2-3% en promedio respecto al agua dulce) se explican por la alta presencia de iones en la suspensión, los cuales reducen el tamaño de la burbuja, favoreciendo la recuperación de partículas finas de mineral. Además, medios de mayor potencial redox y salinidad (como es el agua de mar) aceleran la oxidación del  $HS^-$  y consumo del mismo ion al precipitar metales.

Ambos fenómenos reducen la inhibición del xantato como colector y favorecen la flotabilidad de la porción sulfurada y mayoritaria del mineral de trabajo. Finalmente, la combinación DF400/MIBC corresponde la elección sugerida respecto a la recuperación metalúrgica y calidad del concentrado, debido a su equilibrio entre “selectividad” y “poder” como espumante, al potencial las propiedades físico-químicas en la zona de colección y de limpieza. Si bien los resultados han permitido cumplir con los objetivos propuestos en este estudio, como trabajo futuro se proponer operar con mayores niveles de 18 dosificación y diferentes tipos de

espumantes además de los comercialmente seleccionados, a esto se suma la utilización de otros colectores como ditiocarbamatos y/o ditioposfatos con el fin de observar la interacción de éstos con los surfactantes en términos hidrodinámicos y parámetros metalúrgicos.

## **2.2. BASES TEÓRICAS.**

### **2.2.1. Minerales de oro.**

En la naturaleza el oro se encuentra en dos formas: como metal en estado libre (oro nativo) o combinado (formando compuestos químicos inorgánicos). Los yacimientos de los que se extrae el oro, se pueden dividir en: Vetas y filones, placeres fluviales y el oro como subproducto.

El oro de vetas y filones, se encuentra en rocas antiguas y rocas volcánicas de la edad terciaria, en las que, el oro se encuentra como oro nativo generalmente asociado al cuarzo, la pirita, la arsenopirita, la plata nativa, y con los óxidos y sulfuros de otros metales.

En el caso de los placeres formados por areniscas y gravas no consolidadas o semi-consolidadas, estas contienen pequeñas concentraciones de oro nativo junto a otros metales pesados. La mayor parte son depósitos fluviales y glaciales que ocurren a lo largo de los valles y cauces de los ríos, y terrazas de ríos preexistentes.

Por otro lado, el oro como subproducto en las menas de metales base puede ser recuperado durante el proceso de fundición seguido de una refinación electrolítica. Como ejemplo se puede citar el procesamiento del

cobre, del plomo, etc.; en los cuales, los metales preciosos se concentran en los residuos anódicos, comúnmente llamados lodos anódicos.

### **2.2.2. Yacimientos auríferos.**

En la presente tesis, los yacimientos de oro los vamos a clasificar de acuerdo con los criterios de la mayoría de las bibliografías existentes sobre el tema y estas clasificaciones son las siguientes

- Segregaciones magmáticas: formadas por la consolidación de magmas fundidos.
- Pegmatitas: formadas por soluciones ígneos-acuosas resultantes de la diferenciación magmática.
- Depósitos pirometasomáticos: formados a temperaturas y presiones altas en las rocas invadidas, cerca de los contactos de intrusivos ígneos, por fluidos térmicos que emanan de las rocas invasoras.
- Depósitos hipotermales: son filones y depósitos formados por fluidos térmicos a grandes profundidades a temperaturas y presiones altas.
- Depósitos mesotermales: filones y depósitos formados por fluidos térmicos a poca profundidad, a temperaturas y presiones medias.
- Depósitos epitermales: filones y depósitos formados por fluidos térmicos a poca profundidad, a temperaturas y presiones relativamente bajas.
- Depósitos originados por soluciones frías: formados por aguas de origen atmosférico que corren por el suelo y disuelven a su paso los metales de las rocas para su precipitación ulterior.

- Depósitos sedimentarios. Formados por procesos de degradación. Estos se refieren a los placeres de oro.

Este metal precioso está distribuido ampliamente en la corteza terrestre y los océanos, pero rara vez se presenta en grandes concentraciones que permitan una recuperación económica.

### 2.2.3. Oro refractario.

En los casos en los que el oro se encuentra libre, como oro nativo o como compuesto químico libre de sulfuros, es relativamente fácil extraerlo del mineral por métodos convencionales como la cianuración o la flotación, aunque finalmente las concentraciones obtenidas son muy pequeñas.

El oro refractario, es aquel que se encuentra encapsulado en sulfuros metálicos y cuyo procesamiento puede presentar serios inconvenientes entre los que podemos citar:

- Poca o nula permeabilidad del pad o pila debido a la presencia de abundante material fino menor a 20 mallas en la forma de arcillas, limonitas, etc.
- Presencia de elementos o compuestos que son captados fácilmente por los colectores, dificultando la captación del oro.
- Intercrecimientos mineralógicos de oro y plata en tamaños atómicos o sub- atómicos, que impiden exponer las partículas valiosas a las burbujas.

#### 2.2.4. Tratamiento de minerales auríferos.

De acuerdo como se encuentre el oro en el yacimiento, este puede extraerse de los placeres recurriendo a la concentración gravimétrica, debido a la diferencia del peso específico del oro y de la ganga. Mientras que el oro que se encuentra en combinación química o dispersado en un grano más fino en la mena, no puede recuperarse con facilidad.

En tanto el oro suele encontrarse en combinación con la plata, pero en aquellas menas en las cuales se encuentra en mayor concentración (metal principal), se puede recuperar mediante los siguientes procesos:

- Amalgamación.
- Cloruración.
- Cianuración.
- Combinaciones de amalgamación, concentración gravimétrica, flotación, tostación y cianuración.
- Fundición con menas de plomo o cobre.

Por regla general, el conocimiento mineralógico de las menas, sus características físicas, el grado de liberación del oro y la evaluación de las reservas del yacimiento son los principales factores que definen el proceso de tratamiento que se ha de seguir en la recuperación de la mena, también son de importancia las condiciones de la localidad de explotación y las características medioambientales.

Según lo anteriormente dicho el procedimiento que se sigue para recuperar el oro puede ser:

- Oro libre (menas del grupo 1): Normalmente se emplea concentración gravimétrica o amalgamación (oro grueso) o la cianuración (oro fino).
- Menas no refractarias o fácilmente lixiviables (menas del grupo 1 y algunas del grupo 3): El proceso principal para este tipo de menas es la lixiviación con cianuro.

Menas refractarias no fácilmente lixiviables: (menas del grupo 2 y 3). Requieren procesos previos de pretratamiento y/o métodos específicos de solubilización del oro. Ejemplos típicos de estos son los telurios, minerales sulfurosos y minerales carbonáceos.

Con respecto a la recuperación del oro de las soluciones cuando ya se ha realizado la cianuración, hay dos tipos de procesos industriales muy empleados:

- Merrill – Crowe por cementación con zinc.
- Adsorción con carbón activado, mediante carbón en pulpa (CIP), carbón en lixiviación (CIL) o carbón en lixiviación con oxígeno (CILO). Estos dos últimos incluyen lixiviación y adsorción.

El proceso Merrill – Crowe requiere una posterior purificación del precipitado de oro para obtener el metal en barra (bullión). El proceso con carbón activado, requiere una desorción del carbón y posterior electrólisis de la solución.

### **2.2.5. Flotación de minerales polimetálicos, conteniendo oro.**

El tratamiento para la recuperación del oro de minerales que lo contienen depende principalmente de la naturaleza del depósito, la mineralogía de la mena y la distribución de oro en el mineral. La singularidad del oro hace que su ocurrencia en los depósitos de baja ley varíe entre 3 y 6 ppm. Se encuentra generalmente en forma nativa en depósitos de placeres aluviales, en venas de silicatos o encapsulado en los sulfuros. Pero además existen otras formas de ocurrencia comunes como las asociaciones de oro con cobre, telurio, antimonio, selenio y metales del grupo del platino y la plata. Esta singularidad del oro de encontrarse de diversas formas en los yacimientos, afecta de manera negativa la recuperación en el proceso de flotación.

El proceso de flotación, es una técnica ampliamente utilizada para la recuperación de oro, procedente de minerales de cobre, minerales de metales comunes, minerales de cobre níquel, minerales del grupo del platino y muchos otros. Este proceso también se utiliza como un proceso de pretratamiento de minerales refractarios, con el objetivo de optimizar el proceso hidrometalúrgico. Por mucho se considera que es el método más rentable para la concentración de oro.

#### **Factores que afectan la flotabilidad de minerales de oro.**

Cuando el oro se encuentra en su forma nativa o en sus aleaciones, que están libres de contaminantes superficiales, es fácilmente flotable empleando colectores como los xantatos. Pero casi siempre, la superficie de oro está contaminada o cubierta con diversas impurezas. Estas pueden

ser la argentita, los óxidos de hierro, la galena, la arsenopirita o los óxidos de cobre. Estas impurezas se depositan en la superficie del oro en capas que tienen un espesor que va desde 1 hasta 5 micras. Es por eso que las propiedades de flotación de oro nativo y sus asociaciones con otros minerales varían ampliamente. Cuando el oro está cubierto con óxidos de hierro u óxido de cobre es muy difícil flotar y requiere de un pretratamiento para eliminar los contaminantes. Por otro lado, los telurios, son fáciles de flotar en presencia de pequeñas cantidades de colector y se cree que son naturalmente hidrofóbicos. Generalmente para la flotación de minerales de oro encapsulado en sulfuros, se utiliza una combinación de xantato y ditiofosfato junto con otros depresores de ganga, como gomaguar, dextrina o la celulosa modificada. La adsorción de colector en el oro y su flotabilidad mejora considerablemente por la presencia de oxígeno, el tipo de modificador y el pH

### **Flotación de sulfuros, con contenido de minerales de oro con baja ley.**

Con el fin de lograr una recuperación óptima de oro en este tipo de mineral se puede llevar a cabo combinando otros métodos de recuperación como la concentración gravimétrica, flotación y lixiviación de las colas. La combinación de reactivos utilizados en la flotación depende de la naturaleza de la ganga presente en el mineral. Se recomienda emplear una mezcla de xantatos, ditiofosfatos y mercaptos. Cuando el mineral es parcialmente oxidado, se recomienda utilizar colectores auxiliares tales como los aceites de hidrocarburos. Para este caso el regulador de pH recomendado es el  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , el mismo que actúa como dispersante y

también como un reactivo acomplejante para algunos cationes de metales pesados que tienen un efecto negativo en la flotación de oro.

Hay que tener en cuenta que el empleo de la cal, deprime al oro nativo y al oro asociado a los sulfuros. Por otro lado, los rangos óptimos de pH en la flotación del oro en minerales sulfurados polimetálicos, varían entre 8.5 y 10.0. El empleo del aceite de pino permite mejorar la recuperación de oro significativamente. Se sabe que la presencia de hierro soluble (óxidos de hierro) en la pulpa es muy perjudicial, afectando negativamente el proceso de flotación del oro. En este caso el uso de pequeñas cantidades de agentes acomplejantes del hierro (polifosfatos, ácidos orgánicos, etc.), eliminan este efecto negativo propiciado por los óxidos de hierro.

#### **Flotación de minerales de cobre con contenido de oro.**

La capacidad de flotación de los minerales de oro que contienen compuestos de cobre depende de la ocurrencia de estos minerales y su asociación con los sulfuros de hierro. Aquí los compuestos que influyen en la recuperación del oro son los sulfuros de hierro (pirita, marcasita, etc.), en los cuales el oro se encuentra en forma de pequeñísimas inclusiones. Es así que el mineral de sulfuro de hierro orienta la recuperación del oro en el concentrado final. Cuando se tratan este tipo de minerales que contienen oro y cobre los reactivos a utilizar varían ampliamente. Cuando la pirita es un problema, se usan como colectores los ditiofosfatos a un pH entre 9 y 11.8. Cuando la pirita se encuentra en el mineral en pequeñas concentraciones se usan xantatos y ditiofosfatos y cal o hidróxido de sodio como regulador de pH.

Hoy en día, para la recuperación de oro de minerales tipo pórfido de cobre-oro, se realiza una la flotación bulk de todos los sulfuros, seguida de la limpieza del concentrado y una flotación secuencial del cobre, oro y pirita, para obtener finalmente un concentrado final de cobre con contenido de oro.

## 2.3. MARCO CONCEPTUAL.

### **Beneficio de minerales**

Conjunto de operaciones empleadas para el tratamiento de menas y minerales por medios físicos y mecánicos con el fin de separar los componentes valiosos de los constituyentes no deseados con el uso de las diferencias en sus propiedades.

### **Cal**

Es el producto que se obtiene de la calcinación de la piedra caliza por debajo de la temperatura de descomposición del óxido de calcio. La caliza, al calentarla a  $900^{\circ}\text{C}$ , pierde el  $\text{CO}_2$  y se convierte en cal viva. El  $\text{CaO}$  mezclado con agua forma el hidrato cálcico (Cal apagada -  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), se hincha, produce mucho calor y se endurece o, como corrientemente se dice, fragua. La cal viva mezclada con agua forma el mortero corriente. La cal viva sometida al tratamiento con agua, se llama cal apagada (hidróxido de calcio).

### **Celdas de flotación.**

Son espacios cerrados donde se realiza la concentración del cobre mediante el burbujeo de aire en una solución. Las partículas de cobre que

son hidrofóbicas se adhieren a las burbujas de aire y suben a la superficie desde donde rebasan a canaletas que se encuentran a los costados.

### **Concentración.**

Etapa del proceso productivo del cobre que continúa a la extracción del mineral. En esta etapa se realiza el proceso de Chancado, Molienda y Flotación, del que se obtiene el concentrado de cobre.

### **Concentrado de cobre.**

pulpa espesa obtenida de la etapa de Flotación, está compuesto de cobre, hierro y azufre. Es el primer producto comercial en la línea de producción de cobre.

### **Concentrador.**

planta de tratamiento o beneficio de mineral, donde se produce la concentración de las partículas de minerales de cobre u otro elemento, dando como resultado el concentrado por un lado y el relave o cola, por otro. En yacimientos de cobre se utiliza el proceso de Flotación para los minerales sulfurados, logrando concentrar estos desde valores cercanos al 1% hasta valores de 30%. Existen otros métodos de concentración que se utilizan para otros metales, como por ejemplo, el magnético para los minerales de hierro, o el gravitatorio, para metales pesados, como el oro.

### **Onza troy**

Unidad de masa en la cual son comercializados los metales preciosos tales como oro y platino. Una onza troy equivale a 31.103 gramos.

### **Efecto hidrófobo.**

la hidrofobia es el rechazo al agua. Esta es una característica natural de ciertas moléculas como es el caso de algunas grasas, las que pueden ser utilizadas como parte de un proceso de separación de mezclas.

### **Oro nativo**

Oro metálico encontrado en la naturaleza en su estado libre, no combinado (oro aluvial).

### **Ley**

Cantidad de metal valioso en cada tonelada de mineral. Se expresa en onzas troy por tonelada para los metales preciosos y como porcentaje para otros metales o no metales. En algunas ocasiones, cuando las cantidades son muy pequeñas, la ley se expresa en partes por millón (ppm) o partes por billón (ppb).

### **Flotación.**

Procedimiento que permite concentrar el cobre de la pulpa de material mineralizado que viene del proceso de molienda. En las celdas de flotación se hace burbujear oxígeno desde el fondo de manera que las partículas de cobre presentes en la pulpa se adhieran a las burbujas de aire y así suben con ellas y se acumulan en una espuma. La espuma rebasa hacia canaletas que bordean las celdas y que la llevan al proceso de decantación.

**Mena.**

Minerales de valor económico, los cuales forman entre un 5% y 10% del volumen total de la roca. Corresponden a minerales sulfurados y oxidados, que contienen el elemento de interés, por ejemplo cobre, molibdeno, zinc, etc.

**Mineral.**

compuesto químico inorgánico, de origen natural, que posee una estructura interna y composición química característica, formado como resultado de procesos geológicos. Un mineral puede estar constituido por un solo elemento (nativos, como por ejemplo: oro, plata, cobre) o, más comúnmente, por una asociación de distintos elementos (sulfuros, carbonatos, óxidos, etc). En la actualidad se han reconocido más de 3.000 especies de minerales.

**Mineral oxidado.**

se refiere a los óxidos de cobre, que es una de las formas en la que se encuentra el cobre en la naturaleza.

**Mineral primario.**

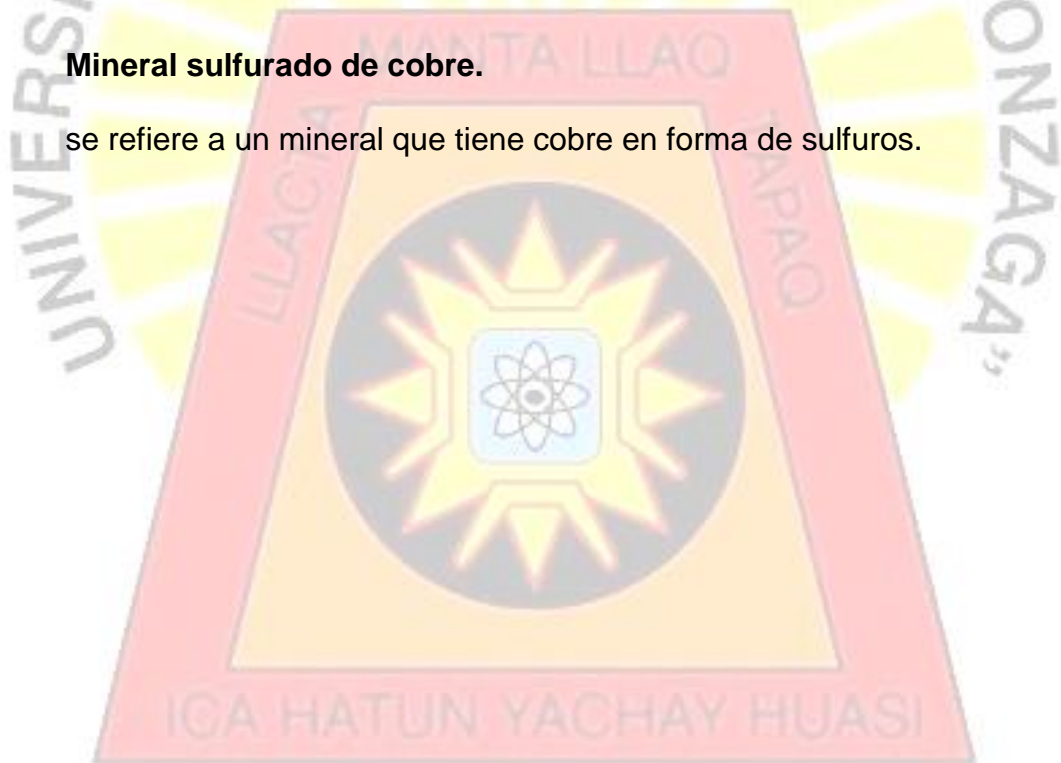
zona primaria. Corresponde a la parte profunda de un yacimiento en que se han preservado las características de su formación original, con minerales formados a grandes presiones y temperaturas, por lo que las rocas son en general duras e impermeables. En yacimientos de cobre, los minerales de mena característicos son los sulfuros bornita, calcopirita y pirita.

### **Mineral secundario.**

zona secundaria. Corresponde a la parte que se ubica inmediatamente sobre la primaria, en que los minerales han sido alterados por efecto de la circulación de aguas de origen superficial, lo cual produce disolución de algunos minerales (por ejemplo, anhidrita) y enriquecimiento de los sulfuros, lo cual consiste en el aumento del contenido de cobre, pasando a constituir otro mineral (por ejemplo, transformación de calcopirita, con un 35% de cobre, a calcosina, con un 80% de cobre). Generalmente constituyen las zonas de mejores leyes en sulfuros de un yacimiento.

### **Mineral sulfurado de cobre.**

se refiere a un mineral que tiene cobre en forma de sulfuros.



## CAPÍTULO III

### HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1. HIPÓTESIS.

##### 3.1.1. Hipótesis General.

La concentración de reactivos influye directamente en la eficiencia de recuperación del oro a partir de minerales polimetálicos.

##### 3.1.2. Problemas específicos:

- a. La concentración de los reactivos colectores, espumantes y modificadores que se deben usar en la recuperación del oro contenido en minerales polimetálicos, debe ser la adecuada.
- b. Separar de manera rápida y económica, mediante flotación, el oro contenido en minerales polimetálicos, es posible.

#### 3.2. VARIABLES.

##### 3.2.1 Variable independiente (X)

Concentración de reactivos.

##### 3.2.2. Variable dependiente (Y)

Eficiente recuperación del oro por flotación.

### 3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.

VARIABLES	DIMENSION	INDICADORES	INDICES
V.I. Concentración de reactivos	Teórica	1. Propiedades químicas de los reactivos.  2. Selectividad de los reactivos	1. Reacción con solventes, sales, ácidos y bases  2. Proporción de solubilidad
	Aplicativa	1. Procedimiento operativo .	1. Cantidades de reactivos  2. Sustancias que se forman
V:D: Eficiente recuperación del oro por flotación.	Cuantitativa	1. Cantidad de oro recuperado	g/L



## **CAPÍTULO IV**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **4.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.**

La presente investigación por su tipo es aplicada y por su nivel explicativa.

#### **4.2. POBLACIÓN DE ESTUDIO.**

La población de estudio estará conformada por el mineral polimetálico con contenido de oro extraído de la zona minera Nasca Ocoña.

#### **4.3. DISEÑO MUESTRAL.**

Se tomará como muestra el mineral aurífero de la Mina informal “Mercurio”, situada en el distrito de Vista Alegre, Nasca.

#### **4.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.**

##### **4.4.1. Técnica de recolección de datos.**

Las técnicas empleadas en la recolección de datos son los procedimientos analíticos para la cuantificación de los metales y la aplicación del método de flotación.

##### **4.4.2. Instrumentos de recolección de datos.**

Los instrumentos empleados son los ensayos experimentales que permiten obtener los datos sobre la concentración de metales en el mineral y las soluciones preparadas.

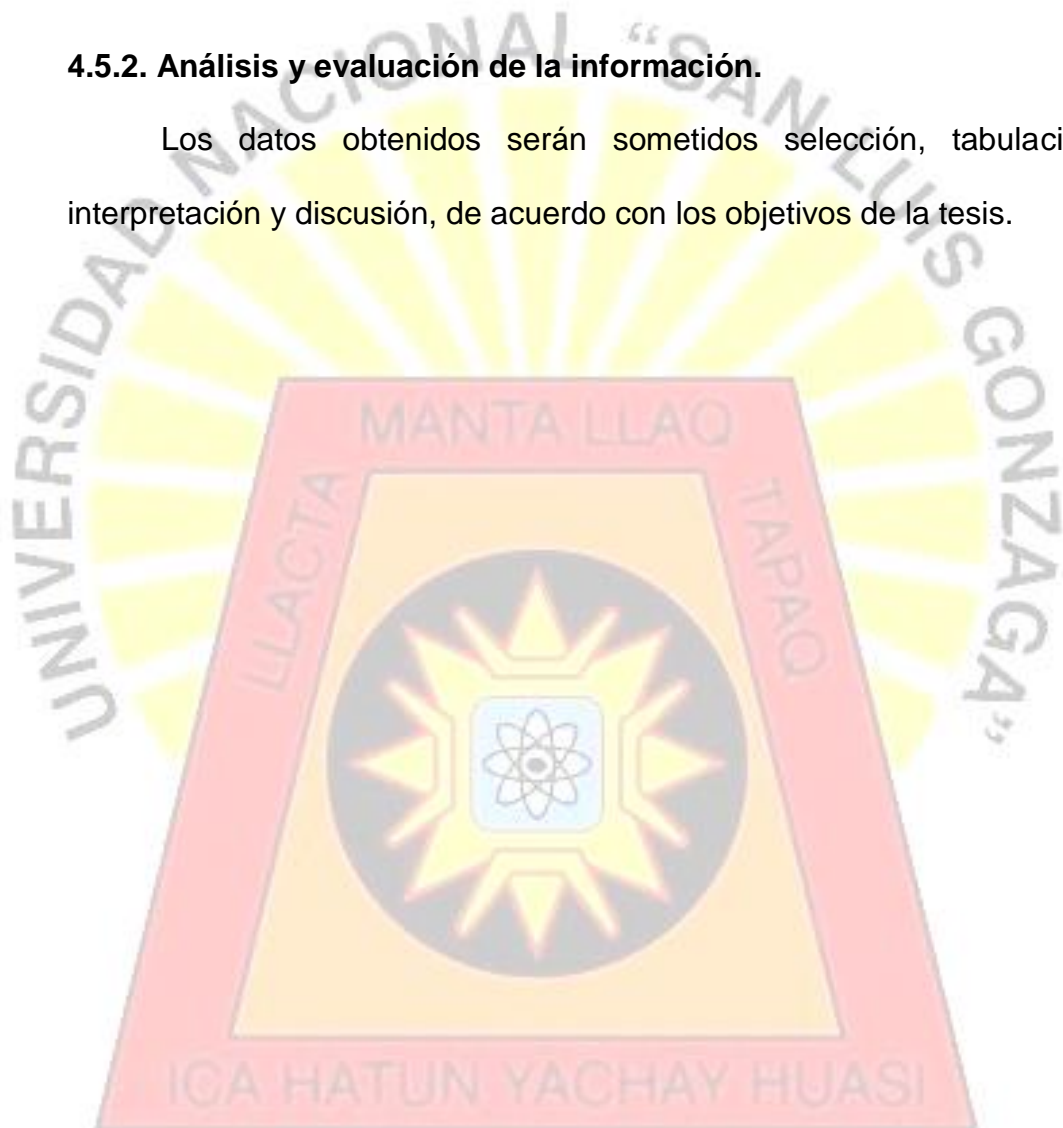
## 4.5. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

### 4.5.1 Técnica de procesamiento.

Las muestras serán analizadas para determinar su composición química mediante pruebas experimentales volumétricas y gravimétricas determinar sulfuros y oro.

### 4.5.2. Análisis y evaluación de la información.

Los datos obtenidos serán sometidos selección, tabulación, interpretación y discusión, de acuerdo con los objetivos de la tesis.



## CAPÍTULO V

### PARTE EXPERIMENTAL

#### 5.1. INSTRUMENTOS, EQUIPOS Y REACTIVOS.

Para el desarrollo de las pruebas experimentales se emplearán los siguientes instrumentos, equipos y reactivos:

##### **Instrumentos:**

- Bandejas de porcelana (cuatro unidades)
- Baldes de plástico de 15 litros de capacidad (cuatro unidades)
- Espátulas plásticas (cuatro unidades)
- Bolsas plásticas resistentes de 10 litros (10 unidades)
- Jeringas hipodérmicas de 1, 2, 5 y 10 mL
- Vasos de precipitados de 1000 mL (cuatro unidades)
- Vasos de precipitados de 500 mL (cuatro unidades)
- Cronómetro (una unidad)

##### **Equipos:**

Una chancadora de quijadas de laboratorio.

Un molino de bolas de laboratorio

Sacudidor universal.

Mallas Tyler

Celda unitaria de flotación DENVER (capacidad 1 kg)

Balanza tecnoquímica

Balanza oHaus de 310 g.

**Reactivos:****Xantato amílico de potasio (Z – 6).**

Es un colector que se presenta físicamente como un sólido en gránulos, hojuelas o en polvo de color amarillo-Verdoso; de olor desagradable, su solubilidad en agua es de 32 g/100 g de agua a 20°C (68 °F). Inflamabilidad (sólido, gas): sustancia que experimenta calentamiento espontáneo. Su temperatura de auto ignición: > 120°C (248°F) Densidad relativa (Agua = 1) : 1.25 kg/L a 25°C (77°F) Coeficiente de partición (n-octanol/Agua) : -1.82 Temperatura de descomposición: > 119 °C (246.2°F)

Reactividad: Este colector no se debe mezclar con ácidos ya que al reaccionar con este genera gas de sulfuro de hidrógeno el cual se puede fácilmente inflamar y producir un incendio en el almacén de reactivos. En contacto con el agua emite bisulfuro de carbono, que es inflamable. La forma de polvo o gránulo seco también puede ser inflamable debido a la presencia de humedad en el producto.

Químicamente es estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas para este tipo de reactivo. Durante su almacenamiento existe la posibilidad de reacciones peligrosas (incluyendo las polimerizaciones) : La polimerización peligrosa no ocurrirá en condiciones de almacenamiento adecuadas, como por ejemplo evitando el contacto con materiales incompatibles. Evitar la generación de condiciones de mucho polvo. Evitar la exposición de Xantato sólido al calor o la humedad y el calor o el envejecimiento de soluciones de Xantato. Evitar el calor excesivo y la humedad.

Los materiales incompatibles con este xantato y que no deben de tener contacto con el son los agentes oxidantes fuertes (tales como ácido nítrico, ácido perclórico, peróxidos, cloratos y percloratos), ácidos fuertes, bases fuertes, líquidos inflamables. Los productos de descomposición del z-6, por efecto de las reacciones químicas o por efecto del calor son: el sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ) y el bisulfuro de carbono ( $CS_2$ ). Siendo el segundo de ellos altamente tóxico al ser inhalado.

Este es un colector muy fuerte y no selectivo para el caso de los minerales sulfurosos. Su solubilidad en agua es alta y total. En las plantas de flotación se usa a una concentración del 4%. Se distribuye comercialmente en forma de pellets, con la finalidad de no generar polvo durante su manipulación y salvaguardar la salud de los operarios, ya que el polvo de este colector es tóxico.

Es un colector apropiado para la flotación de sulfuros manchados u oxidados de cobre, minerales de plomo con sulfuro de sodio. También se le emplea en el tratamiento de la arsenopirita, pirrotita, sulfuros de cobalto y níquel y sulfuro de hierro con cierta concentración de oro.

#### Medidas de seguridad para un manejo seguro:

En todos los casos evitar el calor excesivo y la humedad. Almacenar y manipular sólo en áreas bien ventiladas. Tratar de no respirar el polvo y el humo de este producto, para ello se debe de usar la mascarilla reglamentaria. Tratar en lo posible de no generar de mucho polvo. Evite

el contacto con la piel, ojos y ropa. Use protección ocular, guantes y otras prendas de protección que se adapta a la tarea a ejecutar y los riesgos involucrados. Utilice herramientas estáticas no espumosas. No comer, no beber y no fumar durante su utilización. Mantener el recipiente herméticamente cerrado cuando no se utiliza. Puede formar concentraciones de polvo combustible en el aire. Mantener alejado del calor y las llamas. Después de su uso, lavarse las manos con agua y jabón. Lavar la ropa contaminada antes de usarla nuevamente.

Condiciones para un almacenamiento seguro:






Tener en cuenta que el calor y la sobreexposición a la humedad del Xantato sólido, y el calentamiento o el envejecimiento de la solución de Xantato, provoca la descomposición a bisulfuro de carbono el cual es tóxico e inflamable.

El tanque de almacenamiento deberá tener ciertas características de diseño para una máxima seguridad, y la parte superior en donde se concentra el vapor, deberá estar libre de fuentes de ignición. Almacenar y cerrar herméticamente en un recipiente debidamente etiquetado.

Los envases que han sido abiertos deben cerrarse cuidadosamente y mantenerse en posición vertical para evitar fugas. Almacenar lejos de materiales oxidantes y materiales incompatibles.

Mantener alejado de la humedad. Mantener alejado de la luz solar directa y el calor. Temperatura de almacenamiento: 10 a 32°C (50 a 89.6°F)

Pictograma de peligros del xantato amílico de potasio. (Z – 6)

				
H251: Se calienta espontáneamente; puede inflamarse H29x: Puede formar concentraciones de polvo inflamable en aire	H311: Tóxico en contacto con la piel	H314: Causa quemaduras severas de la piel y daños oculares	H373: Puede causar daños en los órganos a través de una exposición prolongada o repetida por inhalación	H411: Tóxico para la vida acuática con efectos de larga duración

Fuente: Maximizing the Value of Flotation Chemicals Technology

Clasificación del producto químico:

Sustancias y mezclas que experimentan calentamiento espontáneo (categoría 1)

Polvo inflamable

Toxicidad aguda, oral (Categoría 4)

Toxicidad aguda por vía cutánea (Categoría 3)

Toxicidad aguda, inhalación (Categoría 4)

Piel corrosión / irritación (Categoría 1)

Lesiones oculares graves / irritación ocular (Categoría 1)

Sensibilizador de la piel (Categoría 1)

Toxicidad específica en determinados órganos, exposición repetida (Categoría 2)

Elementos de la etiqueta

Palabra clave: Peligro

Declaraciones de peligro

H251: Se calienta espontáneamente; puede inflamarse

H29x: Puede formar concentraciones de polvo inflamable en aire

H311: Tóxico en contacto con la piel

H314: Causa quemaduras severas de la piel y daños oculares

H302 + H332: Nocivo si se ingiere o inhala

H317: Puede provocar una reacción alérgica en la piel

H373: Puede causar daños en los órganos a través de una exposición prolongada o repetida por inhalación

H411: Tóxico para la vida acuática con efectos de larga duración

### **Xantato isopropílico de sodio (Z – 11)**

Físicamente se presenta como un polvo o pellet soluble en agua, de color ligeramente amarillo o verde amarillo, de olor desagradable. Este Xantato es uno de los colectores más ampliamente usados a nivel mundial para flotar una variedad muy amplia de minerales sulfurosos, este colector se caracteriza por tener un comportamiento bien equilibrado entre recuperación y selectividad. El Xantato Isopropílico de Sodio es un colector un poco más enérgico que el Xantato Etílico de Sodio, pero más débil que el Xantato Isobutílico de Sodio y el Amílico de Potasio. Debido a estas propiedades se recomienda su empleo para flotar cualquier mineral sulfuroso, sin embargo, no es recomendado cuando se buscan altos grados del concentrado final en cuestión. Es muy común que sea empleado en la flotación de Zinc ya que ha demostrado mantener buenas recuperaciones de este elemento, manteniendo una selectividad aceptable contra el fierro cuando el pH se mantiene en un mínimo de 10.

También ha demostrado ser una buena alternativa para la flotación de minerales conteniendo piritas y pirrotitas las cuales eventualmente son auríferas. El Xantato Isopropílico de Sodio, es también recomendado para flotar minerales de Cobre-Zinc, Plomo-Zinc, Cobre-Plomo-Zinc, minerales de baja ley y minerales refractarios de baja ley de oro. El xantato Isopropílico de Sodio no es recomendado para flotar minerales oxidados o minerales empañados, ya que los resultados metalúrgicos ante estos minerales son muy pobres. Tampoco se recomienda utilizar este tipo de productos a un pH abajo de 6, ya que tiende a descomponerse y consecuentemente a perder efectividad.

Para la flotación de minerales la dosificación típica de este producto fluctúa entre 10 y 100 gramos por tonelada de mineral tratado, y la dilución sugerida es de un 5 a un 25% como máximo.

#### Almacenamiento, Manejo y Transportación

La UN ha aprobado el uso de tambores metálicos abiertos en la parte superior, utilizando bolsas de polietileno como forro interior las cuales contienen el producto almacenado. Estos tambores tienen un contenido neto de 110 kilogramos mientras que el peso bruto es de 124 kilogramos. También se provee el producto en Súper Sacos con un contenido neto de 850 kilogramos, estos Súper Sacos están protegidos por una caja de madera la cual igualmente ha sido aprobada por la UN, pudiendo transportar en un contenedor de 20 pies, un total de 20 cajas de este tipo. Este producto debe de mantenerse almacenado en un ambiente fresco,

bien ventilado, seco, lejos de ambientes húmedos, lejos del fuego y no se debe dejar expuesto a los rayos directos del sol.

Reactividad:

Este colector al igual que el Z-6, no se debe mezclar con ácidos ya que como resultado de la reacción se genera gas de sulfuro de hidrógeno tóxico y la inflamabilidad de este gas podría generar un incendio. En contacto con el agua emite bisulfuro de carbono, que es inflamable. La forma de polvo o gránulo seco también puede ser inflamables debido a la presencia de humedad en el producto.





Estabilidad química:

Este colector es estable bajo las condiciones de almacenamiento adecuadas, por lo que hay que seguir las recomendaciones del fabricante ya que existe la posibilidad de que se generen reacciones peligrosas (incluyendo polimerizaciones): La polimerización peligrosa no ocurrirá en condiciones de almacenamiento recomendadas, que básicamente sugieren que se evite el contacto con materiales incompatibles, que al contacto con el xantato reaccionan violentamente. Así mismo hay que evitar la generación de mucho polvo. Evitar la exposición de Xantato sólido al calor o la humedad y el calor o el envejecimiento de soluciones de Xantato. Evitar el calor excesivo y la humedad.

Los materiales incompatibles con este xantato son los agentes oxidantes fuertes (tales como ácido nítrico, ácido perclórico, peróxidos, cloratos y percloratos), ácidos fuertes, bases fuertes, líquidos inflamables.

Los productos de descomposición peligrosos son al igual que con el xantato Z- 6, el sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), bisulfuro de carbono (CS<sub>2</sub>), ambos de alta toxicidad.

Pictograma de peligros:

			
H251: Se calienta espontáneamente; puede inflamarse H29x: Puede formar concentraciones de polvo inflamable en aire	H311: Tóxico en contacto con la piel	H318: Provoca lesiones oculares graves	H411: Tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos

Fuente: Maximizing the Value of Flotation Chemicals Technology

Clasificación del producto químico:

Sustancias y mezclas que experimentan calentamiento espontáneo (categoría 1)

Polvo inflamable

Toxicidad aguda, oral (Categoría 4)

Toxicidad aguda por vía cutánea (Categoría 3)

Toxicidad aguda, inhalación (Categoría 4)

Piel corrosión / irritación (Categoría 1)

Lesiones oculares graves / irritación ocular (Categoría 1)

Sensibilizador de la piel (Categoría 1)

Toxicidad específica en determinados órganos, exposición repetida (Categoría 2)

Elementos de la etiqueta

Palabra clave: Peligro

Declaraciones de peligro

H251: Se calienta espontáneamente; puede inflamarse

H29x: Puede formar concentraciones de polvo inflamable en aire

H311: Tóxico en contacto con la piel

H314: Causa quemaduras severas de la piel y daños oculares

H302 + H332: Nocivo si se ingiere o inhala

H317: Puede provocar una reacción alérgica en la piel

H373: Puede causar daños en los órganos a través de una exposición prolongada o repetida por inhalación

H411: Tóxico para la vida acuática con efectos de larga duración

### **Ditiofosfatos.**

Estos colectores químicamente son ésteres secundarios del ácido ditiofosfórico y se obtienen al hacer reaccionar pentasulfuro de fósforo con alcoholes. Estos compuestos fueron desarrollados inicialmente por American Cyanamid que les dio el nombre comercial de Aerofloats, que es como habitualmente se les conoce. Los ditiofosfatos son colectores de menor poder que los xantatos por lo que se deben emplear dosis mayores que en el caso de los xantatos. Son más solubles en agua que los xantatos por lo que los depresores les afectan en mayor grado que a aquellos, lo que explica su difusión en la flotación global. Son menos susceptibles a la

hidrólisis que los xantatos, lo que permite su actuación en medio ligeramente ácido.

### **Aerofloat 33**

El colector o promotor aerofloat 33 se usa principalmente en la flotación de galena; también se usa como colector de oro y cobre metálico, así como sulfuros de cobre. Es ligeramente más fuerte y menos selectivo que el promotor aerofloat 31. Promueve la flotación de partículas de minerales no liberados, así como partículas gruesas de sulfuros liberados.

### **Aerofloat 242.**

Llamado también ditiofosfato AR 1242, aerofloat cresílico amoniacoal. Es muy selectivo, físicamente se presenta como un líquido. Es un promotor fuerte y tiene especial uso en la flotación de sulfuros de plomo y cobre, en presencia de esfalerita y hierro. Su acción es rápida y muy adecuado para la alimentación por etapas en los circuitos de flotación. En ciertas ocasiones se ha empleado como promotor en la flotación de zinc. Así también mezclado con otros colectores ha dado buenos resultados en el tratamiento de menas de oro. En todos los casos la concentración a usar de este promotor no debe de ser inferior al 10%, antes de alimentarse al circuito. Cuando se preparan las soluciones se debe agregar agua al promotor 242.

### **Promotor 404.**

Se emplea básicamente en la flotación de minerales oxidados de cobre después de la sulfurización y como colector secundario conjuntamente

con los xantatos, ditiósfatos en la flotación de sulfuros de cobre, plomo y zinc.

Últimamente se ha usado en en la flotación de pirita, en circuitos ácidos con pH 4 – 6, mostrando una gran eficacia, por lo que se usa como n promotor de muy buena performance en la flotación de menas de pirita aurífera. Por sus excelentes propiedades se emplea en la flotación de menas de oro-plata, solo o en combinación con los aerofloats A-242 o con el A-31.

#### **Aceite de Pino.**

Este aceite esencial, se emplea como y su uso es muy amplio en la flotación de sulfuros, como el ácido cresílico tiene algunas propiedades colectoras, especialmente con minerales tan fáciles de flotar como el talco, azufre, grafito, molibdenita y carbón. La espuma producida por el aceite de pino es generalmente más tenaz y persistente que la producida por el ácido cresílico y su mayor característica indeseable es la tendencia a flotar ganga. Los principales compuestos surfactantes del aceite de pino son los alcoholes complejos hidroaromáticos como el terpino!.

#### **Ácido Cresílico.**

Es un espumante popular, especialmente en la flotación de menas de plomo, cobre y potasa. Su poder espumante varía y está generalmente en la relación con su temperatura de destilación. El destilado a menor temperatura produce una espuma más liviana y menos persistente que el destilado a mayores temperaturas. El ácido cresílico es un espumante

energético que, a diferencia de los espumantes alcohólicos, tiene algunas propiedades colectoras y por lo tanto tiende a no ser selectivo, se usa donde se requiere una espuma persistente y donde la selectividad no es problema.

#### **Dowfroth 250 (D-250).**

Espumante muy soluble en agua, se presenta como un líquido de baja viscosidad. Es un espumante bastante selectivo, su acción espumante es instantánea y perdura por mucho tiempo. Es bastante estable, se requiere de solamente pequeñas cantidades para la espumación. La más importante consideración en la selección de un espumante, naturalmente consiste en los resultados metalúrgicos obtenidos y en los costos del espumante. Para la mayor parte de las aplicaciones, este espumante es efectivo con una cantidad equivalente a una cuarta o tercera parte de lo normalmente se usa de otros espumantes. Esto redunda en un ahorro considerable en el costo del espumante.

#### **Metil Isobutil Carbinol.**

Este espumante tiene gran importancia en la flotación selectiva de minerales complejos, se utiliza generalmente en la flotación bulk de sulfuros, en la flotación de piritas auríferas y de los minerales cupríferos simples. Es muy útil en la flotación de minerales con muchas lamas.

#### **Frother 70.**

Este reactivo genera una espuma muy tenaz y compacta, pero fácilmente abatidas a la salida de la celda, son más selectivos que los espumantes

tradicionales. Se emplean en gran escala en la flotación de minerales de cobre, también son usados en la flotación de los minerales de oro y de zinc.

### **Cianuro de Sodio.**

Es un cianuro alcalino que se comporta como un fuerte depresor de los sulfuros de hierro (pirita, pirrotita y marcasita), de arsenopirita y esfalerita. Actúa como depresores en menor grado de la chalcopirita, enargita, tennantita, bornita y casi todos los demás minerales sulfurosos, con la posible excepción de la galena.

### **Cal (Óxido de calcio).**

Actúa como depresor de la pirita y de otros sulfuros de hierro y de cobalto. La cal es el regulador de alcalinidad y pH que más comúnmente se usa. Generalmente se usa en flotación en forma de cal hidratada  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . La cantidad de cal que se requiere en la operación varía considerablemente dependiendo del pH deseado y de la cantidad de constituyentes consumidores de cal que se encuentren presentes naturalmente en la mena.

### **Carbonato de Sodio.**

Este modificador de pH se usa en la flotación selectiva de menas de plomo y zinc, pero ha sido reemplazado en gran parte por la cal debido a su menor costo y mayor disponibilidad, la sosa caústica ( $\text{NaOH}$ ) se usa ocasionalmente en lugar del carbonato de sodio en algunas operaciones de flotación de plomo-zinc.

## 5.2. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS.

Las muestras de mineral polimetálico que contiene oro y que fue tomada en la cancha de minerales, tiene una granulometría muy diversa, desde varias pulgadas hasta un polvo fino que fácilmente pasa por malla 100, debido a esto es necesario, primeramente, tamizar la porción más fina y luego llevar el resto del mineral a la tolva de la chancadora de quijadas de laboratorio, para realizar un chancado gradual.

Una vez que todo el mineral a sido chancado, se pasa al molino de bolas donde se muele hasta malla – 10 (1,66 mm), se tamiza obteniéndose una cantidad de 20 kg de muestra. Esta muestra luego se divide en cantidades de un kilogramo para realizar con ellas las diversas pruebas de flotación, cada Kg se coloca dentro de las bolsas de plástico que se ha reservado para el caso, a fin de que las muestras no se contaminen.

Cuando se trabaja con muestra húmeda, la pulpa se mantiene en constante agitación, para mantener los sólidos en suspensión, las porciones de pulpa se retiran con un cucharón o con los vasos de precipitados y se colocan en frascos por separados para realizar las pruebas respectivas.

Para establecer la relación entre la granulometría del mineral y el tiempo de molienda, se levantan a cabo las pruebas de molienda del mineral. Estos ensayos se llevan a cabo en un molino de bolas de 10,5 litros de

capacidad con una carga de un kilogramo de mineral y 10,5 kg de bolas.

Se procede de la siguiente manera:

- a. Se echa 1,050 kg de mineral (100% malla -10) y 500 mL de agua, y se muele durante 10 minutos, tomando el tiempo con ayuda de un cronómetro, desde el arranque del molino hasta que se complete el tiempo de 10 minutos y se apaga el molino.
- b. La muestra se retira del molino con el cuidado necesario con un cucharón y luego con agua, lavando las paredes del molino, todo se deposita en una bandeja de aluminio.
- c. Esta pulpa molida se procede a tamizarla. El tamizaje que se lleva a cabo es un tamizaje húmedo y se hace en una malla 200, obteniéndose: el material retenido (malla +200) y el material pasante (malla -200) que luego se filtran y se secan por separado.
- d. Luego de secadas las muestras, material retenido (malla +200) se tamiza en un serie de tamices que van desde +50, +70, +100, +140, +200, +323 y -323) empleando para ello el sacudidor universal o ro-tap.
- e. Después de esto se pesan las muestras retenidas en cada malla utilizada y el material que pasa a través de la malla 200 se añade a las lamas de la operación de tamizado en húmedo. Los pesos de las diversas fracciones de mallas son luego, usadas para determinar el peso de ellas.

El porcentaje de finos o el grado de molienda lo da la suma del porcentaje en peso de las mallas + 323 y -323, que en este caso es el 60,2%, igual al porcentaje óptimo de molienda.

### 5.3. ENSAYOS DE FLOTACIÓN.

Para estos ensayos se realizan ensayos estándares, es decir, bajo condiciones de molienda del 60% de finos y con una cantidad de reactivos a utilizarse igual que en la planta. Esta flotación se lleva a cabo en varias etapas las cuales se establecen de la siguiente manera:

**Acondicionamiento y dosificación de reactivos.** Considerado el tiempo de interacción de la pulpa con el reactivo dosificado.

**Flotación rougher.** Es la primera flotación realizada en la cual se recupera la mayor parte de las especies valiosas.

**Flotación scavenger.** Es la segunda flotación, llamada también flotación de agotamiento, en la cual se recuperan las especies valiosas que se pasaron de la primera flotación (flotación rougher). Constituye los medios junto con el relave de la limpieza de concentrados rougher.

**Flotación cleaner.** Se llama así a la flotación donde se eliminan las impurezas contenidas en la flotación rougher, su relave junto con la flotación scavenger forman el producto de medios.

Durante estas pruebas de flotación se controlan los siguientes parámetros:

a. Tiempo de flotación.

Este se controla con un cronómetro y se efectúa tomando en cuenta los agotamientos de minerales valiosos en las espumas de flotación rougher y scavenger.

b. Alcalinidad.

Empleando un potenciómetro se mide el pH, primero del mineral que generalmente es menor de 7 y luego se agrega la cal o cualquier otro modificador de pH requerido para la flotación del mineral y se vuelve a medir el pH.

c. Concentración de reactivos.

Teniendo en cuenta que en la planta se emplean gramos de reactivo por tonelada de mineral, en el laboratorio se utilizan miligramos de reactivo para un kilogramo de mineral. Para ello se preparan soluciones diluidas de reactivos ya sea a 1/100 o al 1/1000.

d. Pesos de los productos obtenidos y los ensayos químicos.

Utilizando los pesos y los ensayos químicos de los productos se puede determinar la distribución de los metales valiosos en cada uno de ellos, mediante un balance metalúrgico.

En el laboratorio se llevó a cabo la flotación estándar en una celda de flotación tipo Denver de 2,0 litros de capacidad con paleta de agitación tipo turbina.

**CAPÍTULO VI**  
**RESULTADOS**

**6.1. RESULTADOS OBTENIDOS.**

TABLA 1

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL MINERAL

MALLA	ABERTURA, $\mu\text{m}$	Peso, g	% Peso
+ 50	300	4,7	1,6
+ 70	212	10,0	3,3
+ 100	150	25,2	8,4
+ 140	106	38,2	12,7
+ 200	75	41,4	13,8
+ 323	45	51,0	17,0
- 323	-45	129,5	43,2
Total		300,0	100,0

Fuente: Datos experimentales.

TABLA 2  
ANÁLISIS QUÍMICO DEL MINERAL

COMPONENTE	UNIDAD	CANTIDAD
Hierro (Fe)	%	2,74
Cobre (Cu)	%	3,65
Zinc (Zn)	%	1,07
Plomo (Pb)	%	0,59
Oro (Au)	g/T	117

Fuente: Datos Experimentales.

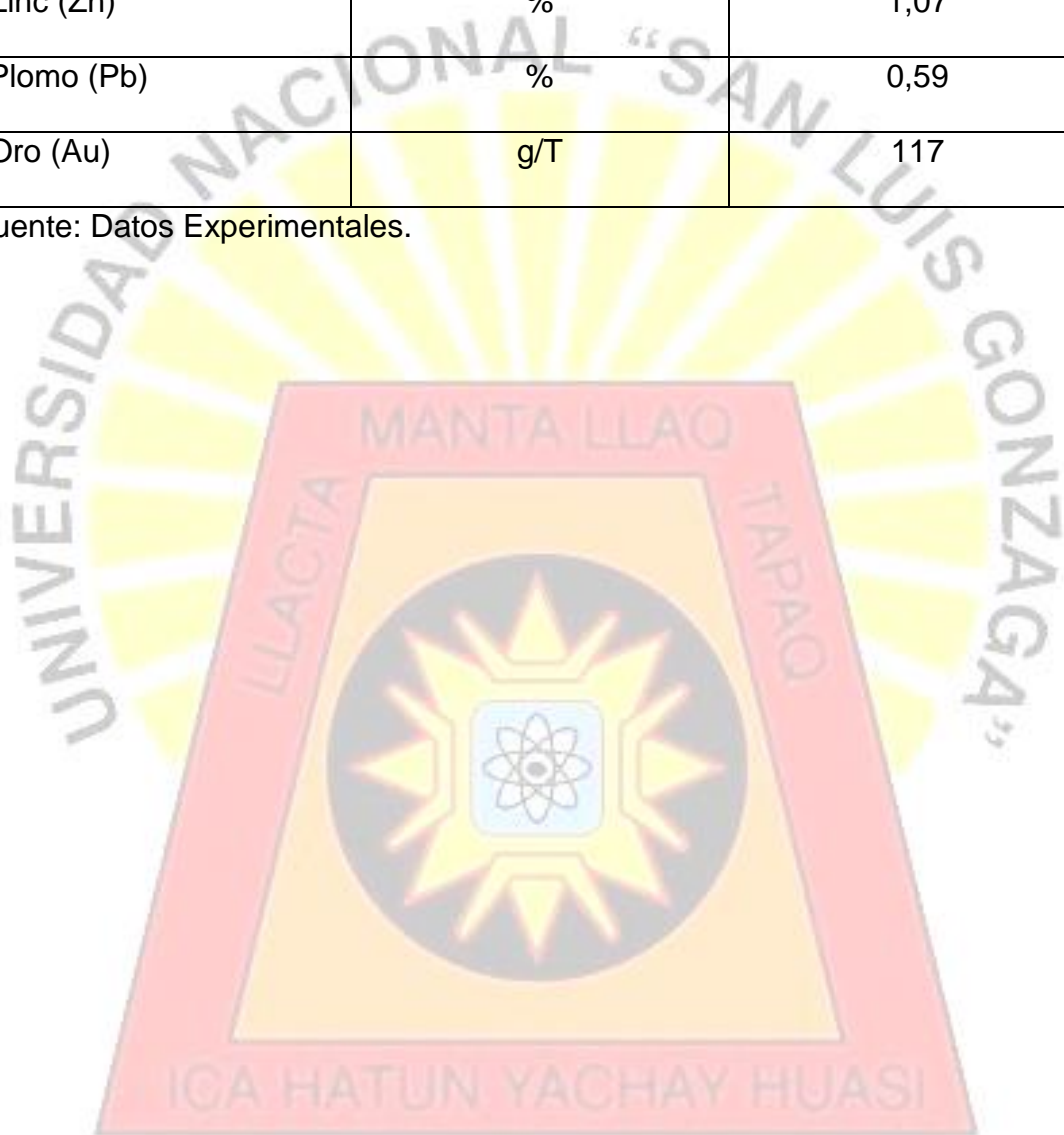


TABLA 3  
PARÁMETROS DE FLOTACIÓN

PARÁMETROS Y MATERIALES	CANTIDADES
Peso del mineral, g	1 000
Densidad de la pulpa, g/mL	1 300
Granulometría del mineral, $\mu\text{m}$	74
Agua, L	500
Velocidad de agitación en el acondicionamiento, rpm	1 500
Velocidad de agitación en la flotación, rpm	1300
Porcentaje de sólidos, %	30,4
Tiempo de flotación, min.	10
Tiempo de acondicionamiento, min.	5

Fuente: Elaboración propia.



TABLA 4

RECUPERACIÓN DE ORO - COLECTORES Z-6 Y Z-11

Nº	Z - 6 mg/Kg	Au, mg/kg	Z - 11 mg/Kg	Au, mg/kg
01	45	86	45	72
02	50	87	50	73
03	55	89	55	73
04	60	89	60	74
05	65	91	65	75
06	70	92	70	77
07	75	94	75	77
08	80	95	80	79

Fuente: Datos experimentales.

Espumante: aceite de pino: 1 gota

Depresor: Bisulfito de sodio: 300 mg/Kg

Modificador: Carbonato de sodio 250 mg/Kg

pH: 9,2

TABLA 5

RECUPERACIÓN DE ORO - COLECTORES Z-6 Y Z-11

Nº	Z - 6 mg/Kg	Au, mg/kg	Z - 11 mg/Kg	Au, mg/kg
01	45	91	45	75
02	50	93	50	75
03	55	94	55	76
04	60	96	60	77
05	65	97	65	77
06	70	99	70	78
07	75	101	75	80
08	80	105	80	81

Fuente: Datos experimentales.

Espumante: aceite de pino: 2 gotas

Depresor: Bisulfito de sodio: 350 mg/Kg

Modificador: Carbonato de sodio 300 mg/Kg

pH: 10,3

TABLA 6

RECUPERACIÓN DE ORO - COLECTOR Z-6 Y Z-11

Nº	Z - 6 mg/Kg	Au, mg/kg	Z-11 mg/Kg	Au, mg/kg
01	45	89	45	73
02	50	91	50	74
03	55	92	55	76
04	60	93	60	76
05	65	95	65	77
06	70	96	70	79
07	75	97	75	80
08	80	99	80	81

Fuente: Datos experimentales.

Espumante: aceite de pino: 3 gotas

Depresor: Bisulfito de sodio: 400 mg/Kg

Modificador: Carbonato de sodio 350 mg/Kg

pH: 11,4

TABLA 7

RECUPERACIÓN DE ORO - COLECTORES Z-6 Y Z-11

Nº	Z - 6 mg/Kg	Au, mg/kg	Z - 11 mg/Kg	Au, mg/kg
01	45	80	45	75
02	50	82	50	75
03	55	83	55	76
04	60	85	60	77
05	65	85	65	79
06	70	86	70	80
07	75	87	75	81
08	80	89	80	82

Fuente: Datos experimentales.

Espumante: ácido cresílico: 1 gotas

Depresor: Cal: 400 mg/Kg

pH: 9,4

TABLA 8

RECUPERACIÓN DE ORO - COLECTORES Z-6 Y Z-11

Nº	Z - 6 mg/Kg	Au, mg/kg	Z - 11 mg/Kg	Au, mg/kg
01	45	82	45	77
02	50	83	50	78
03	55	85	55	79
04	60	86	60	81
05	65	87	65	81
06	70	87	70	82
07	75	88	75	83
08	80	90	80	85

Fuente: Datos experimentales.

Espumante: ácido cresílico: 2 gotas

Depresor: Cal: 500 mg/Kg

pH: 10,6

TABLA 9

RECUPERACIÓN DE ORO - COLECTORES Z-6 Y Z-11

Nº	Z - 6 mg/Kg	Au, mg/kg	Z - 11 mg/Kg	Au, mg/kg
01	45	85	45	78
02	50	86	50	79
03	55	88	55	91
04	60	89	60	92
05	65	91	65	94
06	70	92	70	94
07	75	94	75	95
08	80	95	80	96

Fuente: Datos experimentales.

Espumante: ácido cresílico: 3 gotas

Depresor: Cal: 600 mg/Kg

pH: 11,5

TABLA 10

RECUPERACIÓN DE ORO - COLECTORES Z-6 Y Z-11

Nº	Z - 6 mg/Kg	Au, mg/kg	Z - 11 mg/Kg	Au, mg/kg
01	45	87	45	73
02	50	88	50	74
03	55	89	55	75
04	60	89	60	77
05	65	91	65	78
06	70	92	70	80
07	75	93	75	81
08	80	95	80	83

Fuente: Datos experimentales.

Espumante: MIBC: 25 mg/kg

Depresor: Cal: 400 mg/Kg

pH: 9,3

TABLA 11

RECUPERACIÓN DE ORO – COLECTORES Z-6 Y Z-11

Nº	Z – 6 mg/Kg	Au, mg/kg	Z – 11 mg/Kg	Au, mg/kg
01	45	90	45	74
02	50	92	50	75
03	55	93	55	77
04	60	94	60	79
05	65	95	65	80
06	70	95	70	81
07	75	96	75	82
08	80	98	80	83

Fuente: Datos experimentales.

Espumante: MIBC: 30 mg/kg

Depresor: Cal: 450 mg/Kg

pH: 10,5

TABLA 12

RECUPERACIÓN DE ORO - COLECTORES Z-6 Y Z-11

Nº	Z - 6 mg/Kg	Au, mg/kg	Z - 11 mg/Kg	Au, mg/kg
01	45	88	45	76
02	50	89	50	77
03	55	91	55	79
04	60	92	60	81
05	65	94	65	82
06	70	95	70	84
07	75	97	75	85
08	80	100	80	86

Fuente: Datos experimentales.

Espumante: MIBC: 35 mg/kg

Depresor: Cal: 500 mg/Kg

pH: 11,6

TABLA 13

RECUPERACIÓN DE ORO - COLECTORES A-33, A-242 Y A-404

Nº	A - 33 mg/Kg	Au, mg/kg	A-242 mg/Kg	Au, mg/kg	A-404 mg/kg	Au, mg/kg
01	20	92	10	87	10	94
02	30	94	20	88	20	96
03	40	95	30	90	30	97
04	50	97	40	91	40	99
05	60	98	50	93	50	102
06	70	101	60	95	60	105
07	80	105	70	96	70	109

Fuente: Datos experimentales.

Espumante: aceite de pino: 1 gota

Depresor: Bisulfito de sodio: 300 mg/Kg

Modificador: Carbonato de sodio 250 mg/Kg

pH: 9,2

TABLA 14

RECUPERACIÓN DE ORO - COLECTORES A-33, A-242 Y A-404

Nº	A - 33 mg/Kg	Au, mg/kg	A-242 mg/Kg	Au, mg/kg	A-404 mg/kg	Au, mg/kg
01	20	91	10	88	10	93
02	30	91	20	89	20	95
03	40	93	30	92	30	98
04	50	95	40	94	40	101
05	60	97	50	95	50	104
06	70	101	60	96	60	106
07	80	104	70	99	70	109

Fuente: Datos experimentales.

Espumante: aceite de pino: 2 gotas

Depresor: Bisulfito de sodio: 350 mg/Kg

Modificador: Carbonato de sodio 300 mg/Kg

pH: 10,3

TABLA 15

RECUPERACIÓN DE ORO - COLECTORES A-33, A-242 Y A-404

Nº	A - 33 mg/Kg	Au, mg/kg	A-242 mg/Kg	Au, mg/kg	A-404 mg/kg	Au, mg/kg
01	20	90	10	88	10	91
02	30	92	20	09	20	93
03	40	93	30	92	30	95
04	50	95	40	93	40	97
05	60	96	50	95	50	99
06	70	98	60	96	60	103
07	80	102	70	98	70	107

Fuente: Datos experimentales.

Espumante: aceite de pino: 3 gotas

Depresor: Bisulfito de sodio: 400 mg/Kg

Modificador: Carbonato de sodio 350 mg/Kg

pH: 11,4

TABLA 16

RECUPERACIÓN DE ORO - COLECTORES A-33, A-242 Y A-404

Nº	A - 33 mg/Kg	Au, mg/kg	A-242 mg/Kg	Au, mg/kg	A-404 mg/kg	Au, mg/kg
01	20	87	10	85	10	91
02	30	88	20	87	20	93
03	40	89	30	89	30	95
04	50	92	40	89	40	96
05	60	94	50	92	50	98
06	70	97	60	94	60	99
07	80	100	70	97	70	102

Fuente: Datos experimentales.

Espumante: ácido cresílico: 1 gotas

Depresor: Cal: 400 mg/Kg

pH: 9,4

TABLA 17

RECUPERACIÓN DE ORO - COLECTORES A-33, A-242 Y A-404

Nº	A - 33 mg/Kg	Au, mg/kg	A-242 mg/Kg	Au, mg/kg	A-404 mg/kg	Au, mg/kg
01	20	89	10	91	10	95
02	30	91	20	93	20	98
03	40	93	30	95	30	101
04	50	94	40	97	40	104
05	60	97	50	99	50	106
06	70	99	60	103	60	109
07	80	102	70	107	70	111

Fuente: Datos experimentales.

Espumante: ácido cresílico: 2 gotas

Depresor: Cal: 500 mg/Kg

pH: 10,6

TABLA 18

RECUPERACIÓN DE ORO - COLECTORES A-33, A-242 Y A-404

Nº	A - 33 mg/Kg	Au, mg/kg	A-242 mg/Kg	Au, mg/kg	A-404 mg/kg	Au, mg/kg
01	20	87	10	89	10	92
02	30	89	20	91	20	94
03	40	91	30	92	309	96
04	50	93	40	94	40	97
05	60	94	50	96	50	99
06	70	96	60	98	60	101
07	80	99	70	101	70	103

Fuente: Datos experimentales.

Espumante: ácido cresílico: 3 gotas

Depresor: Cal: 600 mg/Kg

pH: 11,5

TABLA 19

RECUPERACIÓN DE ORO - COLECTORES A-33, A-242 Y A-404

Nº	A - 33 mg/Kg	Au, mg/kg	A-242 mg/Kg	Au, mg/kg	A-404 mg/kg	Au, mg/kg
01	20	89	10	90	10	92
02	30	92	20	93	20	95
03	40	94	30	95	30	97
04	50	95	40	97	40	98
05	60	97	50	99	50	100
06	70	99	60	102	60	103
07	80	104	70	105	70	105

Fuente: Datos experimentales.

Espumante: MIBC: 25 mg/kg

Depresor: Cal: 400 mg/Kg

pH: 9,3

TABLA 20

RECUPERACIÓN DE ORO - COLECTORES A-33, A-242 Y A-404

Nº	A - 33 mg/Kg	Au, mg/kg	A-242 mg/Kg	Au, mg/kg	A-404 mg/kg	Au, mg/kg
01	20	91	10	92	10	94
02	30	93	20	95	20	96
03	40	95	30	97	30	98
04	50	98	40	99	40	102
05	60	103	50	102	50	106
06	70	105	60	105	60	108
07	80	107	70	108	70	109

Fuente: Datos experimentales.

Espumante: MIBC: 30 mg/kg

Depresor: Cal: 450 mg/Kg

pH: 10,5

TABLA 21

RECUPERACIÓN DE ORO - COLECTORES A-33, A-242 Y A-404

Nº	A - 33 mg/Kg	Au, mg/kg	A-242 mg/Kg	Au, mg/kg	A-404 mg/kg	Au, mg/kg
01	20	92	10	92	10	94
02	30	93	20	94	20	96
03	40	96	30	96	30	99
04	50	98	40	98	40	101
05	60	102	50	101	50	103
06	70	105	60	103	60	105
07	80	107	70	106	70	109

Fuente: Datos experimentales.

Espumante: MIBC: 35 mg/kg

Depresor: Cal: 500 mg/Kg

pH: 11,6

TABLA 22

RECUPERACIÓN DE ORO – MEZCLA DE COLECTORES Z-6 Y A-33

Nº	Dosificación de colectores en la mezcla, mg/kg		Au recuperado mg/kg
	Z-6	A-33	
01	20	10	93
02	25	15	96
03	30	20	99
04	35	25	103
05	40	30	106
06	45	35	109
07	50	40	114

Fuente: Datos experimentales.

Espumante: Dowfroth 250: 5 mg/Kg

Depresor: Permanganato de potasio: 5 mg/kg

Modificador: Hidróxido de sodio: 0,5 g/kg

pH: 10

TABLA 23

RECUPERACIÓN DE ORO – MEZCLA DE COLECTORES Z-6 Y A-404

Nº	Dosificación de colectores en la mezcla, mg/kg		Au recuperado mg/kg
	Z-6	A-404	
01	20	20	87
02	25	25	91
03	30	30	95
04	35	35	97
05	40	40	111
06	45	45	115
07	50	50	117

Fuente: Datos experimentales.

Espumante: Frother 70: 5 mg/Kg

Depresor: Bisulfito de sodio: 5 mg/kg

Modificador: Cal: 500 mg/kg

pH: 10

## 6.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

La liberación del oro de un mineral polimetálico en una matriz de sulfuros es compleja, para ello durante la flotación no solo hay que tener en cuenta el tipo de depresor que se emplea, sino también las características de los otros reactivos, tales como los colectores y los espumantes, así como los modificadores de pH, los cuales como resultado de nuestra investigación constituyen los más importantes ya que la mayor recuperación del oro no solo depende del colector seleccionado, sino también del pH al cual se trabaja; ya que los primeros funcionan adecuadamente a un pH determinado, como se ha podido verificar en la mayoría de los ensayos, en los que indican que a un pH 10 o ligeramente superior a este, la flotación se lleva con mayor eficiencia.

Por otro lado, se ha comprobado que para en la flotación de minerales polimetálicos, con contenido de oro y en una matriz de sulfuros, el colector xantato amílico de potasio (Z-6), tiene mayor fuerza y selectividad en la recuperación del metal, en comparación con el xantato isopropílico de sodio (Z-11), el cual incluso en condiciones francamente alcalinas no logra la recuperación máxima.

Otro punto de vital importancia que hay que tener en cuenta en la flotación de minerales como los que hemos empleado para el estudio experimental de la presente tesis, es la selección del espumante. Dentro de los diversos reactivos que cumplen esta función, en los ensayos realizados se ha comprobado que el aceite de pino y el bisulfito de sodio, son los que mejor se han comportado, teniendo en cuenta que es selectivo y con ciertas

propiedades depresoras de piritas, uno de los componentes del mineral que está presente en concentraciones significativas.

Se ha comprobado también que los colectores más eficientes para flotar oro en tales condiciones, son los ditiofosfatos, compuestos químicos de clase sulfhídrica, que se emplean en minería como promotores para la separación de minerales sulfurosos y metálicos. Estos son ácidos aril-ditiofosfóricos y sales del ácido alquil-ditiofosfórico, que comercialmente se les llama aerofloats.

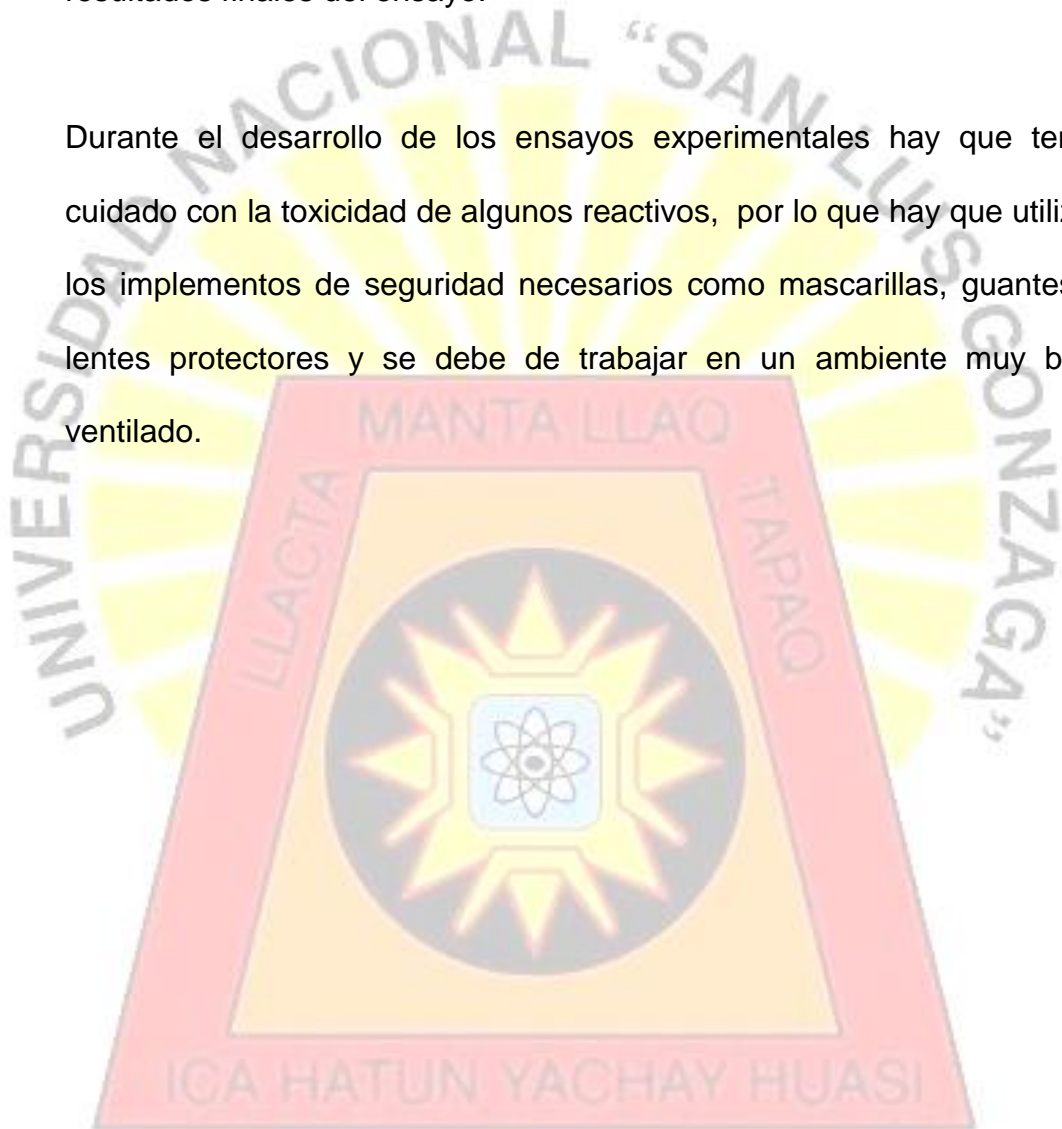
En el laboratorio se ha empleado tres tipos de ditiofosfatos, los cuales son: Aerofloat A-33, Aerofloat A-242 y el promotor A-404. Estos reactivos, como se ha podido comprobar, actúan mejor si es que se combinan en proporciones definidas, pudiendo recuperarse todo el oro presente en la muestra, como se puede constatar en la tabla 23 de la presente tesis.

## CONCLUSIONES

1. Experimentalmente se ha podido demostrar, que la concentración de reactivos influye directa y significativamente en la eficiencia de recuperación del oro a partir de minerales polimetálicos.
2. La concentración de los reactivos colectores, espumantes y modificadores que se deben usar en la recuperación del oro contenido en minerales polimetálicos, se selecciona mediante pruebas experimentales que indican que la mayor recuperación se logra con el máximo recomendado para cada reactivo a un pH determinado.
3. Mediante los métodos de ensayos empleados en la presente tesis se ha podido demostrar que es posible separar de manera rápida y económica, mediante flotación, el oro contenido en minerales polimetálicos, en un mínimo tiempo de flotación que para nuestro caso fue de 10 minutos.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar ensayos previos de la calidad del aceite de pino, ya que este es adulterado por los comerciantes y su efecto espumante no es el adecuado cuando este es de mala calidad, lo que repercute en los resultados finales del ensayo.
2. Durante el desarrollo de los ensayos experimentales hay que tener cuidado con la toxicidad de algunos reactivos, por lo que hay que utilizar los implementos de seguridad necesarios como mascarillas, guantes y lentes protectores y se debe de trabajar en un ambiente muy bien ventilado.



## BIBLIOGRAFIA

- Arias Arce, Vladimir. (2006) Tecnologías de refinación de los metales preciosos. Ediciones Grezzley E.I.R.L. 1ª edición, Lima-Perú.
- Gallardo, Juan Vargas. (2000) Metalurgia del oro y la plata. Editorial San Marcos, 2a edición, Lima-Perú.
- Pénate Zúñiga Yesid Alberto. (2004) Desarrollo de correlaciones entre mineralogía y extracción de oro en minerales auríferos mediante datos de lixiviación diagnóstico. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Metalúrgica.
- Santos Sobral Luis Gonzaga. (2004) Tecnología actual de los procesos de recuperación de oro y plata. Instituto Colombiano para el desarrollo de la ciencia y la tecnología Francisco José de Caldas, Colciencias.
- Angel Azañero Ortiz; Pablo Nuñez Jara; Víctor Vega Guillén; Manuel Caballero Ríos; José Vidarte Merizalde. (2010) Cómo mejorar la extracción de oro en lixiviación en montón. Departamento Académico de Ingeniería Metalúrgica – FGMMCG – UNMSM. Rev. Inst. investig. Fac. minas metalcienc. geogr vol.3 no.5 Lima.
- LORENZEN, León. (2005) Some guidelines to the desing of a diagnostic leaching experiment. Minerals Engineering, vol. 8. Elsevier.
- Gutiérrez Pérez. Denis Nathalia. (2004) Disolución de la ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ) proveniente de arenas negras, inducida por molienda de alta energía. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Metalúrgica.
- C. Suryanarayana.(2000) "Mechanical alloying and milling". Progress in Materials Science, 46.

- P. Baláz.(2003) "Mechanical activation in hydrometallurgy". Internacional journal of mineral processing. Elsevier.
- ZO, Ana. (2002) Informe geológico "Mejoramiento de los procesos de beneficio de minerales auríferos en los municipios de Vetas y California". Grupo de Investigación en minerales, biohidrometalurgia y ambiente, UIS.
- NARVAEZ, Martín. (2009) Informe geológico Minercol – Alcaldía de Santa Rosa del Sur (Bolívar).
- GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN MINERALES BIOHIDROMETALURGIA Y AMBIENTE, UIS. (2002) Informe final "Mejoramiento de los procesos de beneficio de metales preciosos en el Sur de Bolívar".
- PETRUK, W. (2005) Mineralogical evaluations of gold recoveries by extractive metallurgy techniques. Process mineralogy. New York, Edit.Richard Hagni.
- PETRUK, W. (2007) Some relationship between mineral textures and extractive metallurgy process mineralogy. New York, Edit. Hagni.
- VAN DEVENTER, Jani.S. (2004) The interrelationship between mineral liberation and leaching behaviour. Mineral Processing, Vol. 41,
- PETERSEN, K. (2005) The use of neural network analysis of diagnostic leaching data. University of Stellenboch, South Africa.
- SOCIETY OF MINING ENGINEERS, AIME. (2005) Mineral processing handbook. New York.



## 1. DETERMINACIÓN DE ORO. MÉTODO MUFLA ELECTRICA.

### ANÁLISIS DEL MINERAL.

Pesar la cantidad requerida en la balanza, colocarla sobre una placa de acero o concreto perfectamente limpia y mezclar con una pala, asegurar que se encuentre homogéneo el material.

Ya preparado el fundente colocarlo en un frasco y almacenar para su uso. De este frasco tomar 100 gramos de fundente con una cuchara o taza previamente calibrada y vaciar a un crisol de arcilla, estos deben estar colocados de manera ordenada en la placa correspondiente. Llevar al área de balanzas granatarias.

Pesar la muestra en la balanza Ohaus, previamente tarar un platillo de aluminio, auxiliados por una espátula, homogeneizar la muestra dentro del sobre, tomar muestra e ir adicionando poco a poco hasta alcanzar el peso requerido, registrar en la hoja de trabajo.

Tomar el platillo y vaciar al crisol correspondiente.

Realizar esta operación con la misma muestra ya que se analiza por duplicado en Sólidos de Planta. y se analiza un estándar de concentración conocida dentro de esta corrida Cabeza, Plomo, Zinc y Cola, o bien se meten las muestras de Precisión que se tomaron del ensaye del día anterior y así verificar la repetitibilidad.

Llevar las placas al área de fusión y homogeneizar con el mezclador manual.

Se inicia el análisis de oro y plata mediante tres procesos diferentes: fundición en crisoles, copelación y ataque químico o apartado, los cuales se describen a continuación.

### **Fundición:**

Consiste en introducir los crisoles que contienen el mineral y el fundente a oxidación y/o reducción, para obtener un botón de plomo en donde se encuentra el oro y la plata aleados con el plomo. Esta fusión se realiza por una hora a  $1000\text{ }^{\circ}\text{C} + 10^{\circ}\text{C}$ , en la mufla Assay. Dependiendo de la matriz del mineral se utilizarán reductores y/o oxidantes que se adicionaran al crisol antes de entrar a fusión y se homogenizará perfectamente con el mezclador.

Ejemplo:

Mineral oxidado, utilizamos un reductor: Harina o Azúcar.

Mineral sulfuroso, utilizamos un oxidante: Nitrato de potasio.

Concluido el tiempo de fusión, y con el equipo de seguridad puesto, que consiste en, careta, guantes aluminizados y mandil aluminizado, tomar las tenazas para crisol abrir la puerta de la mufla y sacar el primer crisol, vaciarlo a la lingotera.

Repetir la operación, las lingoteras deben de estar ordenadas de tal forma que no haya duda en la numeración.

Si hay muestras por fundir, introducir los crisoles para iniciar el proceso.

Realizada esta actividad, quitarse el equipo de protección (careta, guantes y mandil aluminizados), portar las gafas de protección lateral y guantes de carnaza e iniciar el martilleo de la muestra ya fría para eliminar la escoria y obtener el regulo (cubo de plomo).

Previamente se precalientan las copelas en otra mufla, por 20 minutos a  $960^{\circ}\text{C}$ .

Concluido esta actividad, colocar un regulo (cubo de plomo) en una copela.

### **Copelación:**

Esta operación se basa en las propiedades que tienen los metales preciosos de ser inoxidables a una alta temperatura. Consiste en separar oro y plata metálicos del plomo. En este método, el plomo empieza a oxidarse y al mismo tiempo se absorbe en la copela a medida que transcurre el tiempo mientras la temperatura se mantiene constante.

La oxidación y absorción del plomo ocurren hasta el punto en el cual el oro y la plata forman un botón libre de plomo, en este momento pasa del estado líquido al estado metálico, hay un estado especial en el que se produce un relámpago, el cual si la temperatura es muy alta y la cantidad de plata muy grande, habrá pérdidas por proyección, terminando este paso de la copelación.

Utilizando las tenazas, colocar las copelas en el interior de la mufla.

Precalear la copela a 960 °C durante 20 min.

Concluida esta actividad y utilizando las tenazas, colocar el cubo de plomo (30 –40 gramos de peso) en la copela respectiva.

Cerrar la mufla e iniciar el proceso de copelación.

Encender el extractor, mantener la temperatura de la mufla entre 830 y 840 °C durante una hora aproximadamente, dependiendo del tamaño del regulo y/o el término de la eliminación de humos.

Una vez formado el botón de doré, sacar la copela y dejar enfriar.

Con unas pinzas, desprender el botón de doré y limpiar con una brocha de cerdas duras. Si el botón es muy pequeño, golpear con un martillo también pequeño.

Colocar el doré en la lingotera de doré.

Pesar el doré en la balanza analítica de 0.0001 mg y registrar en la hoja de trabajo correspondiente, pasar el doré a una cápsula de porcelana.

### **Apartado**

Tiene como objeto separar el oro y la plata por medio de ácido nítrico. La plata se transforma en nitrato de plata, que conforma la solución.

Se coloca el botón de doré en un crisol de porcelana de 15 ml.

Colocar el crisol, en la placa porta crisoles de porcelana.

Agregar una solución de ácido nítrico al 12.5 % en volumen.

Poner a calor suave sobre una parrilla Cimarec hasta disolver la plata.

Separar por decantación la solución de nitrato de plata obtenida y guardarla en el recipiente designado para ello, en el caso de Embarques

se guarda la solución de las cinco muestras en un matraz aforado de 100 ml, en los precipitados se guarda cada muestra en un matraz, se aforan y agitan para leer en el aparato de Absorción Atómica Pb y Bi.

Lavar el residuo con agua destilada.

Lavar el residuo con solución de hidróxido de amonio al 10 %.

Secar la cápsula a calor bajo sobre una parrilla.

Calcinar colocando el crisol de porcelana directamente sobre la a parrilla.

Enfriar a temperatura ambiente y pesar el oro obtenido en la balanza micro analítica, en el caso del oro del precipitado se disuelve cada uno con agua regia (3ml de Clorhídrico y 1 de Nítrico), se afora en un matraz de 100 ml,

se agita y se lee en el aparato de Absorción Atómica.

Reportar los resultados en la hoja de trabajo.

Ordenar y limpiar el área de trabajo.

CALCULOS.

Para obtener la ley de oro se aplica la ecuación siguiente:

$$Au = \frac{\text{(LECTURA DE LA BALANZA)}(1,000)}{\text{(PESO DE LA MUESTRA)}} \text{gr/ton} =$$

Para obtener la ley de plata la siguiente:

$$Ag = \frac{\text{(PESO DORE - PESO ORO)}(1,000)}{\text{(PESO DE LA MUESTRA)}} = \text{gr/ton}$$

