

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA
METALÚRGICA



T E S I S

**Influencia de minerales piríticos alterados en la flotación de Oro en la
planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac – 2019**

Para optar el título profesional de

Ingeniero Metalurgista

Autor: Bach. Euclides GONZALES CAJAHUAMAN

Asesor: Mg. Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO

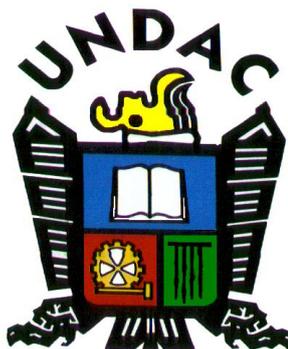
Cerro de Pasco – Perú – 2020

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA

METALÚRGICA



**Influencia de minerales piríticos alterados en la flotación de Oro en la
planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac – 2019**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA

PRESIDENTE

Mg. Ramiro SIUCE BONIFACIO

MIEMBRO

Mg. Manuel Antonio HUAMAN DE LA CRUZ

MIEMBRO

DEDICATORIA

A DIOS JEHOVA por bendecirme en todo momento de mi vida, a mis padres Ginez GONZALES ORTEGA y Martha Angélica CAJAHUAMAN POMACINO por haberme dado el regalo más preciado al igual que la vida mi profesión, por la cual viviré eternamente agradecido.

RECONOCIMIENTO

A mis hermanos por haberme forjado desde siempre bases de responsabilidad, perseverancia y deseos de superación, gracias por todo su apoyo.

Al Ing. Vicente AREVALO ABAD, por sus recomendaciones, compartirme sus experiencias e incentivarne a seguir adelante desde cuando empezaba a laborar en el mundo minero, un gran colega y sobre todo un amigo.

Al Ing. Marco A. SURICHAQUI HIDALGO, por su apoyo y consejos en el asesoramiento de este trabajo de investigación.

Finalmente, a mi Alma Mater la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión y en especial a los Catedráticos de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica por compartirnos sus conocimientos y contribuir a mi desarrollo profesional en el ámbito minero.

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo general determinar el proceso de concentración de cobre y oro por separado; después de tener la certeza de la caracterización mineralógica del oro para elaborar el sistema de extracción y procesamiento.

Este estudio se aborda desde el enfoque cuantitativo, del tipo aplicado y un diseño de investigación experimental y tiene cuatro etapas de desarrollo de la investigación del siguiente modo: el primero después de realizar el muestreo aleatorio simple para obtener la muestra representativa del volumen total de mineralización existentes en la concesión, se observó el mineral que proveía de los pequeños mineros. Las muestras presentan una apreciable cantidad de cobre en minerales sulfurosos como son: calcopirita, bornita, covelita y pirita aurífera, sin obviar a los minerales silíceos como ganga. En base a estos datos se ha diseñado el sistema de caracterización mineralógica y posterior flotación experimental.

Se concluyó que las pruebas de caracterización mineralógica y flotación experimental, demuestran obtener concentrados con valores de 23,8% de cobre y con un ratio de 36,00 y más de 4 g/t de oro que realizando un blending de concentrados, al momento de comercializar se obtiene pagos por oro que es materia de investigación en el presente.

Palabras clave: Caracterización mineralógica, ratio de concentración, flotación pirítica.

ABSTRACT

This research had as a general objective to determine the process of concentration of copper and gold separately; after having the certainty of the mineralogical characterization of gold to elaborate the extraction and processing system.

This study is approached from the quantitative approach, of the applied type and an experimental research design and has four stages of research development as follows: the first after performing the simple random sampling to obtain the representative sample of the total volume of mineralization existing in the concession, the mineral that was provided by the small miners was observed. The samples present an appreciable amount of copper in sulphurous minerals such as: chalcopyrite, bornite, covelite and gold pyrite, without ignoring siliceous minerals as a bargain. Based on these data, the mineralogical characterization system and subsequent experimental flotation have been designed.

It was concluded that the tests of mineralogical characterization and experimental flotation, demonstrate obtaining concentrates with values of 23.8% of copper and with a ratio of 36.00 and more than 4 g / t of gold than doing a blending of concentrates, at the time from marketing you get payments for gold that is the subject of research in the present. .

Keywords: Mineralogical characterization, concentration ratio, pyritic flotation.

INTRODUCCIÓN

La universidad como ente rector de la investigación es la que orienta el desarrollo de la humanidad. La generación de conocimiento es una preocupación esencial de las universidades, es su razón de ser. Todos los programas en el mundo proponen un modelo curricular por competencias destinado a la formación del nuevo profesional capaz de resolver problemas sustanciales de la sociedad e innovar el conocimiento.

La tesis es la prueba “de fuego” que demuestra las competencias requeridas para obtener el grado académico. Se espera de ella una evidencia indiscutible de las competencias de investigación aprendidas en las aulas universitarias y se aplique al campo profesional.

El presente proyecto, titulado “*Flotación de oro y su influencia de minerales piriticos alterados en la planta de beneficio maría mercedes i – Apurímac – 2019*”, es interesante porque se trata de pórfidos de cobre y oro piritoso, interesante mineralización que requiere una explotación y tratamiento puntual.

Los estudios desarrollados a través del muestreo y posterior tratamiento confirman que la concentración de cobre es baja y el oro se encuentra incluido en las piritas y requiere un diagnóstico profundo para hacerlo rentable. Se encuentra dividido en cuatro capítulos; sigue una secuencia lógica propia de los proyectos de investigación, del siguiente modo:

CAPÍTULO I. Se determina la problemática, para formularlo en preguntas, sobre como caracterizar a los minerales de cobre, con las sub preguntas que consisten en el análisis microscópico y pruebas de flotación. Su objetivo fue demostrar las características mineralógicas de material en explotación, justificando la presente investigación, dada la importancia que significa llevarlo a explotar el yacimiento en forma sostenible.

CAPÍTULO II. Se expone cuatro antecedentes referidos al tema, dos investigaciones nacionales y dos internacionales, plasmados en tesis, seguido de una descripción de las

bases teóricas desde una perspectiva general a específica de la microscopía de minerales; hasta definir el ratio promedio de mineral: concentrado para la respectiva valoración y rentabilidad de la mina; se plantea las hipótesis y se define las variables de operación.

CAPÍTULO III. Comprende el método de investigación: experimental; nivel experimental y tipo aplicativo, con diseño experimental, sobre una población que corresponde a un tratamiento de 500 toneladas métricas/día y sobre ello diseñar el método de muestreo a seguir.

CAPÍTULO IV. Los cálculos procesados en el capítulo anterior se presentan en tablas y ecuaciones, para luego la hipótesis ser contrastada, demostrándose que el nivel de aceptación de los datos es correcto al rechazar la hipótesis nula.

CONCLUSIONES. Se concluye que el yacimiento es prometedor; las leyes de cobre existentes demostradas en las campañas desarrolladas y la etapa de concentración por flotación a nivel laboratorio sugieren que la rentabilidad es mayor del proyecto.

El autor.

INDICE

DEDICATORIA

RECONOCIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación	3
	1.2.1..Delimitación temporal	3
	1.2.2. Delimitación espacial	3
1.3.	Formulación del problema.....	4
	1.3.1.Problema principal	4
	1.3.2.Problemas Especificos.....	4
1.4.	Formulación de objetivos	4
	1.4.1.Objetivo general	4
	1.4.2.Objetivos específicos.....	4
1.5.	Justificación de la investigación.....	5
1.6.	Limitaciones de la investigación	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes del estudio	6
	2.1.1. Antecedentes internacionales	6
	2.1.2. Antecedentes nacionales.....	8
2.2	Bases teórico – científicas	10
	2.2.1. Fundamentos físico - químico de la flotación	10
	2.2.2. Física química de Superficies.....	12
	2.2.3. Variables que dependen de los reactivos de flotación.....	14

2.2.4.	Variables que dependen de la operación	19
2.2.5 .	Variables operacionales.....	22
2.2.6 .	Flotación de Sulfuros Complejos	24
2.2.7.	Estructura y Propiedades de los Minerales.....	25
2.2.8.	Flotación Bulk Cobre –Plomo.....	26
2.2.9.	Depresión de Esfalerita y Pirita.....	27
2.2.10.	Activación y Flotación de Sulfuros de Zinc	27
2.2.11.	Separación de Cobre - Plomo por Flotación	28
2.2.12.	Depresión de minerales de Cobre.....	28
2.2.13.	Depresión de minerales de Plomo	29
2.3	Definición de términos básicos	31
2.4	Formulación de hipótesis.....	31
2.4.1.	Hipótesis General	31
2.4.2.	Hipótesis Específicas.....	31
2.5	Identificación de variables.....	32
2.5.1.	Variable dependiente.....	32
2.5.2.	Variable independiente.....	32
2.5.3.	Variables intervinientes.....	32
2.6	Definición operacional de variables e indicadores.....	33

CAPÍTULO III

MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1	Tipo de investigación	34
3.2	Método de investigación.....	34
3.3	Diseño de investigación.....	35
3.4	Población y muestra	35
3.4.1.	Población.....	35
3.4.2.	Muestra.....	35
3.5	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	36
3.6	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	37
3.7	Tratamiento estadístico.....	39
3.8	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	39
3.9	Orientación ética.....	40

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo	41
4.2	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	42
4.3	Prueba de hipótesis	53
	4.3.1. Primera hipótesis específica	53
	4.3.2. Segunda hipótesis específica.....	55
	4.3.3. Tercera hipótesis específica.....	56
	4.3.4. Hipótesis general	58
4.4	Discusión de resultados	58

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

En la naturaleza los sulfuros comerciales, casi en su totalidad están acompañados de piritas, en diferentes proporciones, siendo este último un material no deseado por no tener valor en el mercado. La depresión de pirita en la flotación es una de las tareas principales en las plantas de concentración de mineral.

Para la depresión de la pirita, se requiere mantener a pH altamente alcalino, largos tiempos de acondicionamiento y oxidación intensiva de la superficie. Sin embargo, la aplicación de estos métodos tradicionales para la depresión de pirita en algunos casos no es suficiente, debido a las similares propiedades superficiales de los sulfuros metálicos.

Para los yacimientos de cobre – oro como es el caso de los minerales que son procesados en la planta concentradora María Mercedes I, la depresión agresiva de pirita no es conveniente, ya que las pérdidas de valores de cobre y oro serian considerables, debido a las asociaciones mineralógicas que presentan normalmente el cobre y el oro con la pirita.

La cantidad de pirita en la cabeza y en el concentrado rougher determinan la metodología de operación de la planta concentradora, tanto a nivel metalúrgico como a nivel de operación de equipos.

En la planta concentradora María Mercedes I, se procesa minerales de la empresa como de mineros informales; especialmente de los mineros que traen su mineral por campañas, tienen altos valores de oro presente en las piritas, complementado con calcopirita y lo más práctico es flotar, por la cercanía a la planta de beneficio y obtener el máximo beneficio.

Por tanto, para determinar la viabilidad económica para la explotación de todo yacimiento de minerales es necesario conocer el comportamiento metalúrgico del mineral al ser sometido al proceso de flotación, dicha información se obtiene con estudios que se realizan a nivel de laboratorio; Por otra parte, desde el punto de vista económico, el impacto de la disminución del precio de los metales ha golpeado fuertemente las economías de los países productores y comercializadores mineros. Nuestra economía es parte de un mercado globalizado que se rige por las leyes de la oferta y demanda y en el cual las tendencias de alzas y reducciones se ven impactadas por factores políticos, económicos o sociales.

La incertidumbre en la economía China explica gran parte de la problemática, y esto se observa en la baja de materias primas que afecta directamente la cotización de los metales que esta economía requiere.

Durante la etapa de crecimiento de la demanda e incremento periódico de los precios, se aprovechan los beneficios de un mayor flujo de caja.

Asimismo, si se mantiene una tendencia creciente de los precios, incluso los yacimientos con menor concentración de minerales y explotación de zonas de menor ley de mineral, ampliación de planta para incrementar volumen de producción, desarrollo de proyectos mineros con mayor demanda de inversión financiera y tecnológica.

Al revertirse la tendencia conviene efectuar una evaluación acerca de qué proyectos, definir cuáles suspender y cuáles deberían descartarse. De igual forma, los yacimientos o minas con menor concentración de ley pueden revertir su atractivo e incluso evaluar la devolución del denunciario o la venta de la unidad minera.

La muestra proveniente de los mineros informales, región Apurímac se compone de minerales sulfurados de Fe y Cu con contenido apreciable de Au.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación temporal

El trabajo de investigación comprende doce meses (enero – diciembre del 2019).

1.2.2. Delimitación espacial

El desarrollo del presente trabajo se ejecutará solo con los minerales que se procesan en la planta de beneficio María Mercedes I.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema principal

¿De qué manera la presencia de la pirita alterada, influye en la recuperación de oro en la Planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles es la caracterización mineralógica de la pirita alterada y sulfuros complementarios en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019?
- ¿Cuáles son las dificultades en la depresión de la pirita y activación del cobre en la flotación de oro en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019?
- ¿Cómo influye los contenidos de Fe en la obtención de concentrados de oro según las exigencias de comercialización en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Desarrollar un modelo de caracterización y tratamiento de la pirita alterada para la recuperación de oro en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la caracterización mineralógica de la pirita y sulfuros complementarios en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019
- Evaluar las dificultades en la depresión de la pirita y activación del cobre en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019.
- Evaluar la influencia de los contenidos de Fe en la obtención de concentrados de oro según las exigencias de comercialización en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019

1.5. Justificación de la investigación

El presente trabajo de investigación se justifica porque desarrollando pruebas experimentales que permita un proceso de flotación de sulfuros de pirita y cobre, con mejoras en la recuperación de elementos valiosos, reduciendo los elementos contaminantes, no tendrá problemas en la comercialización y se hará sostenible la explotación minera.

1.6. Limitaciones de la investigación

Las limitaciones que se presentó en la investigación son la falta de microscopia electrónica de barrido y espectrofotometría de absorción atómica, para analizar profundamente, todos los componentes existentes en el mineral de cobre.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Antecedentes internacionales

Maldonado, R. (2008) en la tesis “Caracterización mineralógica de fases minerales metálicas en muestras de jales del distrito minero El Oro-Tlalpujahuá”, Universidad Nacional Autónoma de México, concluye: Los jales del distrito minero El Oro-Tlalpujahuá presentan contenidos de minerales opacos variables y menores del 5%. Las fases minerales opacas se presentan principalmente como partículas mixtas de tamaño variable entre 10 μ y 500 μ y como inclusiones de tamaño inferior a 50 μ en minerales transparentes como cuarzo y feldespatos. Las partículas monominerales son escasas. Las características texturales principales son el intercrecimiento entre fases minerales opacas y transparentes; el zoneamiento concéntrico; la inclusión de fases opacas en transparentes y

viceversa; el remplazamiento a través de los bordes de las partículas y otros rasgos de remplazamiento por alteración.

Los minerales identificados coinciden ampliamente con la paragénesis mineral reportada para el yacimiento, así como con la litología de la región.

La mineralogía de los jales consiste en una serie de sulfuros, sulfoseleniuros, sulfosales, óxidos y oxihidróxidos, en los cuales ocurren elementos químicos como Fe, Cu, Pb, As, Au, Ag y Ti.

Pérez, L (2014) en la tesis “Caracterización automatizada de texturas de menas mediante análisis digital de imagen para su uso en geo metalurgia”, Universidad Politécnica de Madrid; concluye: Desde un punto de vista metodológico se puede concluir que el desarrollo de una metodología basada en la caracterización mineral a partir de un conjunto de índices numéricos es adecuado ya que por un lado, estos índices pueden ser utilizados como variables discriminantes en la identificación del tipo de inter crecimiento mediante análisis discriminante y además cada índice individualmente aporta información valiosa para caracterizar el comportamiento mineralógico de las partículas minerales.

- Análisis del poder discriminante de los índices mineralúrgicos. El análisis de los índices mineralúrgicos bajo el punto de vista de su potencial discriminante ha puesto de manifiesto que todos los índices propuestos, tanto los desarrollados en este trabajo como los diseñados por otros autores, son adecuados y necesarios para la identificación de los tipos de intercrecimiento considerados, ya que el análisis discriminante ha incluido todos los índices propuestos en la generación del modelo discriminante y con ellos se ha alcanzado un 95% de acierto en la clasificación.

- Índices desarrollados por otros autores. Los índices desarrollados por Gurland (1958), Amstutz y Giger (1972) y Jeulin (1981), adaptados en este trabajo para el análisis de partículas minerales, parecen tener bastante peso en la discriminación del tipo de intercrecimiento, ya que han sido los primeros en ser introducidos en el modelo generado por el software STATISTICA. Sin embargo, considerando un modelo discriminante basado únicamente en estos tres índices el porcentaje de casos correctamente clasificados desciende hasta el 76%.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Ramos, J (2017) en la tesis “Caracterización y evaluación de pruebas metalúrgicas de flotación de un mineral complejo polimetálico del distrito de Palca – Huancavelica”, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, concluye;

- La determinación del análisis químico de la muestra del Compósito General indicó: 0.95 % de plomo, 0.27 % de cobre, 3.13 % de zinc y 72.8 g/t de plata, cuyas leyes están relacionadas a la presencia de galena y geocronita para el caso del plomo; calcopirita, cobre grises y secundarios para el caso del cobre; esfalerita para el caso de zinc y para el caso de la plata se presenta en asociaciones mineralógicas con los minerales de cobre y plomo.
- Las mejores condiciones para la flotación rougher en el circuito bulk Cu-Pb se logra a un P80 de 100 μ m; con una dosificación de 100g/t de NaCN y 400g/t de ZnSO₄ en la etapa de molienda, 12g/t de Z-11 y 20 g/t de MIBC, a un pH de 8.5 por 6 minutos.

- Para la limpieza del concentrado bulk Cu-Pb se realizó una etapa de remolienda a un P80 de 35µm y se dosificó 200g/t de ZnSO₄ y 20g/t de NaCN para 3 etapas de limpieza llevadas a un pH de 9.
- Las mejores condiciones para la flotación rougher del circuito zinc correspondió a una dosificación de 110g/t de CuSO₄, 7g/t de Z-11 a pH un de 11 por 8 minutos.

Meza, J. (2018) en la tesis “Estudio geometalúrgico para optimizar el circuito de flotación separación plomo-cobre en la planta concentradora U.M. Cerro Lindo”, Universidad Nacional del Centro del Perú, concluye, la optimización del circuito flotación separación plomo-cobre se alcanzó con éxito buscando respuestas óptimas gracias a las pruebas metalúrgicas y la interrelación de la regresión lineal con la mineralogía con base en las variables definidas para cada respuesta, en nuestro caso la respuesta es la optimización del circuito y como reflejo se obtienen mejores recuperación grados y calidad de concentrados tanto de cobre y plomo.

La optimización se vuelve más efectiva cuando de manera combinada asocias la experiencia, la teoría y las disciplinas que involucran la geometalurgia.

- Al determinar cómo parámetros a la granulometría y los amarres se logrará optimizar el circuito de flotación separación Plomo -Cobre ya que la complejidad que tienen las especies minerales es amplia y llevar acabo predicciones con estas nos permitirá adoptar un tratamiento metalúrgico.
- El principal problema de desplazamiento de Pb al Cu es por la presencia de plomo grueso y amarres mineralógicos en las mallas +50, +70, +100

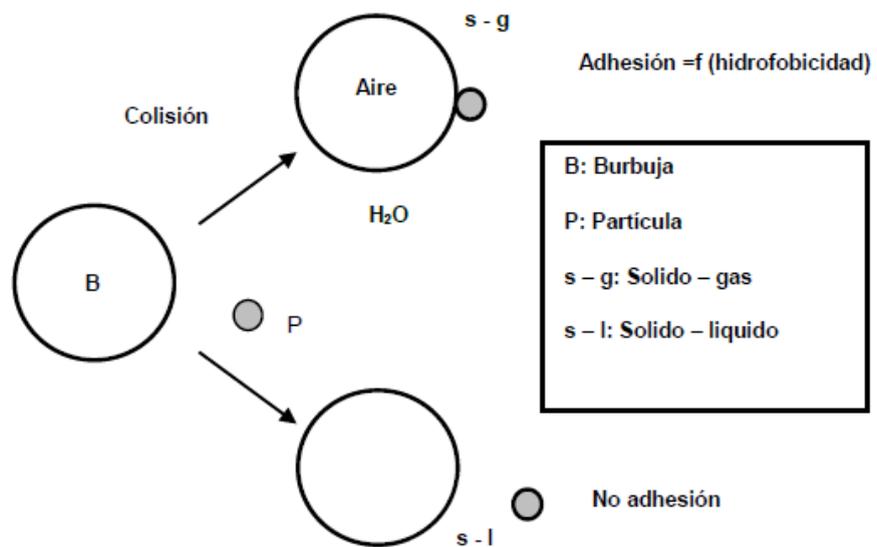
también observándose que el 40% de plomo del total que está en cc Cu está en dichas mallas y que también se advierte la presencia de los amarres Gn/Py y Gn/Cp. La pulpa de las SK de los molinos contiene mayor cantidad de gruesos que ingresan a la separación y se aprecia galena gruesa y una posible contaminación por excesiva flotación de Cp, Py, ef, y partículas mixtas.

2.2. Bases teórico – científicas

2.2.1. Fundamentos físico - químico de la flotación

La flotación es un proceso fisicoquímico, cuyo objetivo es la separación de especies minerales, a través del uso de la adhesión selectiva de burbujas de aire a partículas minerales.

Gráfico 1. Adhesión selectiva de minerales



Fuente: Castro, S. (2003)

Los principios básicos, en que se basa el proceso de flotación son:

- **Mineral hidrofóbico:** Repele y desplaza al agua de la superficie de sus partículas. Esto permite la acción de las burbujas de aire que se unen a la partícula.

Las burbujas de aire pueden mantener las partículas en la superficie, si se forma una espuma estable.

Para cumplir esos principios básicos, se usan reactivos químicos. Estos agentes de flotación son los llamados colectores, activadores, depresores y modificadores.

Sus acciones principales son:

1. Hacen la superficie del mineral repelente al agua (flotado).
 2. Previene o evitan que otros minerales se hagan repelentes al agua.
 3. Forman una espuma razonablemente estable.
- Sólo las partículas minerales hidrofóbicas se adhieren a las burbujas, en tanto que las hidrofílicas no se adhieren (ganga).
 - Existen especies con hidrofobicidad nativa, inherente o natural. Por ejemplo, talco, azufre, grafito, molibdenita.
 - El resto de las especies son hidrofílicas, por lo que no son seleccionables mediante una corriente de burbujas.

- **Hidrofobización Inducida:**

La acción de los reactivos colectores, modifica las propiedades superficiales.

Se genera una transición selectiva, inducida por colectores.

Hidrofílica → Hidrofóbica

Es posible flotar minerales muy variados, incluso sales. Si se dispone de los reactivos químicos adecuados, se puede separar casi todas las especies minerales. (Castro, 2.003).

2.2.2. Física química de Superficies

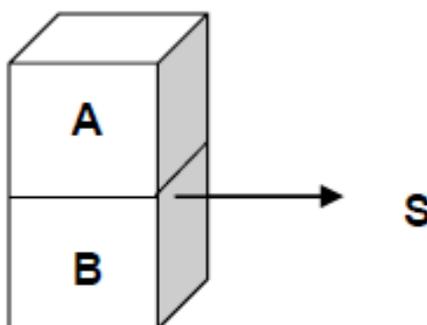
Tensión superficial

La propiedad que controla la adhesión entre la partícula mineral y la burbuja de aire, es la energía libre superficial.

La adhesión ocurre en agua, donde las partículas forman una pulpa mineral, y donde se generan las burbujas de aire. Se establece un sistema trifásico, sólido (mineral) – líquido (agua) – gas (aire). El sistema se encuentra formado por dos fases y se establece una interfaz, que se expresa así:

$$G = G^A + G^B + G^S \quad (1)$$

Figura 1. Plano de separación física



Fuente: Conejeros V., 1.997.

Dónde:

A y B = Fases Respectivamente

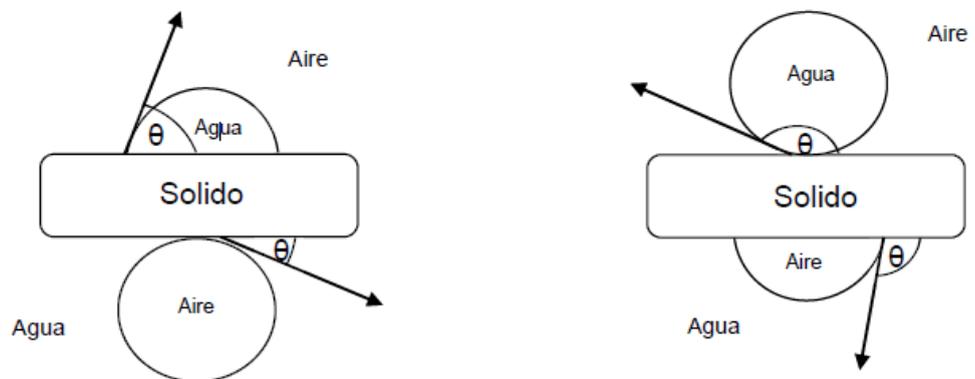
S = Fase superficial

Ángulo de contacto y ecuación de Young

En 1805 Thomas Young propuso tratar el ángulo de contacto de una gota de líquido colocada sobre una superficie sólida plana, como un equilibrio mecánico de las tensiones interfaciales sólido/líquido, sólido/gas y líquido/gas.

El ángulo de contacto es una propiedad termodinámica y provee una definición inequívoca de la mojabilidad respecto al movimiento de la interfase.

Gráfico 2. Ángulos de contacto en sólidos de distintas mojabilidades



Fuente: Sutulov A., 1.963

Ecuación de Young – Dupre

El equilibrio mecánico de una gota de líquido posado sobre un sustrato sólido ha sido considerado desde hace tiempo por Thomas Young (1805) en términos cualitativos y por Dupré (1869) en términos matemáticos. (Ayyad, 2010).

Dupré utiliza la expresión de W_a para dos líquidos y formula en un sistema sólido/líquido:

$$W_a = \gamma_{sg} + \gamma_{lg} - \gamma_{sl} \quad (2)$$

Recordando la ecuación de Young:

$$\gamma_{sg} - \gamma_{sl} = \gamma_{lg} \cos \theta \quad (3)$$

Al combinar ambas ecuaciones se obtiene:

$$W_a = \gamma_{sg} + \gamma_{lg} - \gamma_{sg} + \gamma_{lg} \cos \theta \quad (4)$$

Por lo tanto, la ecuación de Young – Dupré es:

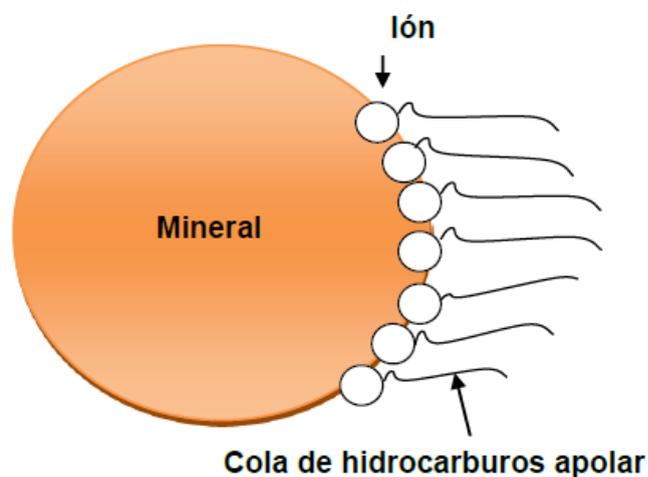
$$W_a = \gamma_{lg}(1 + \cos \theta) \quad (5)$$

2.2.3. Variables que dependen de los reactivos de flotación

Colectores

Los colectores son sustancias orgánicas cuyo anión o catión tiene una estructura integrada por una parte polar y otra apolar, en la parte polar el ión se adsorbe en la superficie del mineral. Por otra parte, la apolar, constituida por una cadena de hidrocarburos, queda orientada hacia la fase acuosa, dando el carácter hidrófobo al mineral.

Gráfico 3. Adhesión del colector a la superficie del mineral



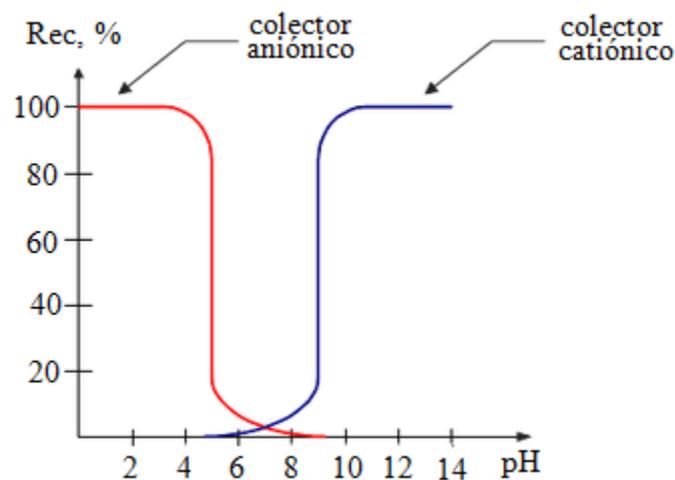
Fuente: Castro, S. (2003)

La colección estará íntimamente condicionada a la naturaleza de la superficie del mineral y de la estructura química del colector. La unión química entre colector y el mineral deberá ser tan fuerte que entre el mineral y el agua.

Los niveles de molienda o liberación de partículas nunca serán perfectos para suplir las posibles contaminaciones de las superficies mineralógicas que impiden una adecuada unión, de ahí la necesidad de buscar el colector más eficiente.

El tipo de colector a utilizar en flotación depende del pH y por tanto, del potencial zeta. En el gráfico siguiente se puede explicar el tipo de colector a utilizar considerando el comportamiento del potencial zeta con la variación de pH.

Gráfico 4. Zonas de trabajo de colectores



Fuente: Yianatos (2005)

Los colectores suelen clasificarse de acuerdo al tipo de mineral a flotar.

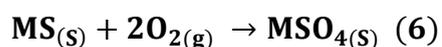
Tabla 1. Colectores utilizados en la flotación de minerales

Colectores Aniónicos	Tipo Oxidrilo (minerales no sulfurados)	Alquil sulfatos Sulfanatos Acidos grasos Colectores quelantes
	Tipo sulfidrilo (minerales sulfurados)	Xantatos Ditiosfosfatos Tiocarbamalida mercaptobenzotiazol
Colectores Catiónicos	Tipo oxidrilo (minerales no sulfurados)	Aminas primarias Aminas secundarias Aminas terciarias Aminas cuaternarias

Fuente: Tecnología de la flotación de minerales, Quiroz (2009)

Teoría química de la adsorción de xantato

Antes que ocurra la adsorción química del xantato en la superficie del mineral, los sulfuros reaccionan con el oxígeno presente en el medio acuoso alcalino, formándose especies oxidadas superficiales.



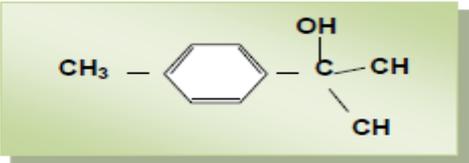
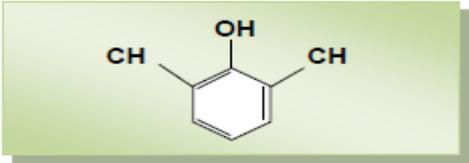
Luego, estos óxidos superficiales reaccionan con los iones colectores, generando sales metálicas, de menor solubilidad que las especies oxidadas. (Méndez, 2009)



Espumantes

En la flotación es necesario incorporar burbujas de aire las cuales al colisionar con las partículas de mineral manifiesten su acidez por el aire adhiriéndose a las burbujas. La estabilidad de la adherencia a la burbuja dependerá de la eficiencia del espumante. (Yianatos, 2005). Al igual que los colectores, estos están constituidos por una “cabeza” polar que se orienta hacia la fase líquida y una “cola” de hidrocarburos que se orienta a la fase gaseosa.

Tabla 2. Tipo de espumantes y su fórmula química

ESPUMANTE	FÓRMULA
Metil isobutil carbinol MIBC (Alcohol alifático)	$\begin{array}{ccccccc} \text{CH}_3 & - & \text{CH} & - & \text{CH}_2 & - & \text{CH} & - & \text{CH}_3 \\ & & & & & & & & \\ & & \text{CH}_3 & & & & \text{OH} & & \end{array}$
Terpinol (aceite de pino) (Alcohol aromático)	
Cresol (ácido cresílico) (Alcohol aromático)	
Éter glicol polipropinil (Éter poliglicólico)	$\text{CH}_3 - (\text{O} - \text{C}_2\text{H}_6)_n - \text{OH}$

Fuente: Flotación de minerales; Yianatos (2005)

Las características más importantes de un espumante son:

- Concentraciones mínimas se requiere para generar espumas de suficiente volumen y estabilidad.
- Debe tener bajas condiciones colectoras.
- De fácil dispersión en el agua.
- Una vez que la espuma que retienen al mineral es retirada de la celda de flotación, debe romperse fácilmente.
- Generar burbujas pequeñas de 1 a 2 mm

Modificadores:

Activadores

Son reactivos químicos orgánicos o inorgánicos que tienen como función preparar o acondicionar la superficie del mineral para la absorción del colector.

Ejemplo: la blenda (ZnS). Este mineral es prácticamente el único sulfuro metálico que flota deficientemente con xantatos, sin embargo, si se adiciona a la pulpa iones Cu^{+2} se produce sobre la superficie del mineral una reacción que genera CuS, comportándose como si fuese un sulfuro de Cobre y respondiendo adecuadamente a la acción del colector.

Depresores

Son reactivos químicos orgánicos o inorgánicos que tienen como función inhibir o evitar la adsorción del colector en la superficie de aquellos minerales que no son valiosos para el proceso. Por ejemplo: el cianuro, NaCN, se utiliza para depresar los compuestos de Fe y se utiliza principalmente en la flotación selectiva de molibdeno y cobre.

Modificadores de pH: ácidos y bases

Una de las variables de operación de mayor utilidad, en un gran número de sistemas, es el pH de la pulpa. Este suele controlarse por la adición de cal y ácido sulfúrico o ácido clorhídrico.

2.2.4. Variables que dependen de la operación

La flotación es un proceso de múltiples variables, cuya definición y descripción cuantitativa requiere seguir investigando. No obstante, los recientes avances realizados en el área, ha permitido obtener recuperaciones muchos mayores a las esperadas en comparación al pasado.

De este modo las variables que dependen de la operación, en el proceso de flotación se pueden clasificar en perturbaciones y variables. (Yianatos, 2005)

Perturbaciones

Es toda aquella característica del mineral o proceso que influye significativamente en él, pero no puede ser modificada ni controlada. Estas perturbaciones pueden ser medidas, sin se conoce su variación en el tiempo. Y las no medibles, no se sabe cuándo o como varían. (Sutulov, 1963; Möller, 2.011).

A continuación, se muestran las perturbaciones más comunes e influyentes:

Perturbaciones Medibles:

- **Flujo de alimentación**

Es una variable la cual es controlada a través de intervalos de tiempos. La oscilación del flujo de alimentación de pulpa hace variar las condiciones de operación del circuito de flotación primario haciendo variar el tiempo de residencia de las partículas y con ello comprometiendo la recuperación y ley de concentrado.

- **Granulometría de la alimentación**

Existe un tamaño ideal en donde se presenta una mayor recuperación metalúrgica, observándose, en general, una disminución de ésta para tamaños más gruesos y más finos de la mena. La recuperación disminuye para tamaños muy pequeños, lo cual se relaciona con la dificultad de adhesión partícula/burbuja, debido a que éstas no adquieren la energía cinética suficiente para producir un agregado partícula/burbuja estable.

- **Grado de liberación**

Es una expresión cuantitativa de la magnitud en que la molienda es capaz de obtener partículas minerales “libres”; su determinación solo es posible mediante la utilización de estudios microscópicos, y dado que es un parámetro de importancia decisiva, tal determinación debe basarse en una metodología técnica y científicamente bien fundamentada. (Manzaneda, 2010).

- **Grado de oxidación**

Un agente oxidante es un insumo químico que tiende a captar electrones, por tanto, el grado de oxidación es la cantidad de

electrones recibidos, de acuerdo a la capacidad que posee el elemento de atraer electrones.

- **Ley de la alimentación**

La ley de alimentación o ley de cabeza es una medida que describe el grado de concentración de un mineral de interés contenido en una cantidad de material proveniente de la mena o un proceso anterior, al momento de ingresar a la celda de flotación.

Perturbaciones no medidas

- **Mineralogía**

Dado por los elementos que forman las asociaciones minerales existentes en los yacimientos del país y que requiere del desarrollo de un proceso tecnológico adecuado para cada mineral.

- **Calidad de agua**

En la mayoría de las plantas concentradoras, la disponibilidad de agua es un problema serio. Esto obliga a utilizar agua industrial o de recirculación que contienen cantidades residuales de reactivo. En la práctica una planta concentradora posee un consumo en el rango de 1 a 2,3 m³/TM de mineral, siendo menor el consumo si se trata de agua fresca.

- **Modificación de superficies**

La modificación de superficies como perturbación, son las características físicas de la superficie mineral. Es decir; la rugosidad que posee, posibles alteraciones o fracturas que no pueden ser cuantificadas, etc., afectando en alguna medida la acción de reactivos, ya sean colectores o depresores.

2.2.5. Variables operacionales

Las variables operacionales pueden ser modificadas, dentro de ciertos rangos, ya sea manual o automáticamente; se clasifican en variables manipuladas o controladas.

- **Tiempo de residencia**

El tiempo en la flotación depende de las características del material que se va a flotar y los demás factores que inciden en el proceso. (Pavez, 2009).

El tiempo de flotación, que está relacionado al número de celdas instaladas, se debe determinar en base a circuitos metalúrgicos.

Para optimizar la flotación, lo ideal es que se debe flotar todo el tiempo que requiere el sistema para operar como un efectivo concentrador.

- **pH**

El pH es la variable de control más utilizada en el proceso de flotación, su control es importante para recuperación y selectividad, así como, en la depresión de minerales. El proceso de flotación es sumamente sensible al pH, especialmente cuando se trata de flotación selectiva. Los reactivos de flotación, principalmente los colectores, operan mejor en ciertos rangos de pH.

- **Densidad de pulpa**

La densidad de la pulpa o porcentaje de sólidos viene determinada desde la etapa de molienda y clasificación; es un factor importante,

que permite a la flotación de minerales ocurra en forma eficiente si presenta un adecuado porcentaje de sólidos. (Pavez, 2009).

- **Temperatura**

Por lo general, los procesos industriales se realizan a temperatura ambiente, puesto que son muy pocos los minerales que muestran una mejora en la eficiencia con el aumento de temperatura de la pulpa.

- **Aireación**

La aireación de la pulpa en la celda es una variable importante que normalmente es controlada por el operador de la planta, la cual permite la aceleración o retardo de la flotación en beneficio de la recuperación metalúrgica. (Pavez, 2009).

- **Flujo de aire**

La recuperación del mineral de la flotación aumenta con el aumento del flujo de aire hasta alcanzar su valor máximo. Este aumento en la recuperación se debe al aumento del área superficial de las burbujas introducidas en el equipo de flotación.

- **Tamaño de burbuja**

La distribución de tamaño de burbujas en la celda, es la variable más relevante.

Esto, porque un mismo tamaño característico puede corresponder a distintas distribuciones de tamaño, las cuales causarán distintos efectos en la flotación.

2.2.6. Flotación de Sulfuros Complejos

El desarrollo actual de la flotación y en particular la existencia de reactivos muy selectivos, ha permitido el aprovechamiento de grandes masas mineralizadas de baja ley. La flotación es un proceso fisicoquímico, por esta razón es importante revisar tanto los fenómenos físicos como los químicos involucrados.

Los fenómenos químicos incluyen las reacciones de interfase que acontecen entre las tres fases: sólida, líquida y gaseosa (Wark & Cox, 1942).

En estas reacciones intervienen:

- Los reactivos químicos utilizados; colectores, espumantes, activadores, depresores, reguladores del medio.
- La química del agua.
- La química de los minerales.
- La química de los gases que componen el aire u otra fase gaseosa que participe.

Entre los fenómenos físicos, físico-mecánicos y operacionales se puede mencionar:

- a. Los factores mecánicos de los equipos (diseño de la celda, hidrodinámica, configuración del banco y el control de operaciones).

- b. Factores operacionales (flujo de alimentación, granulometría, liberación, problemas de lamas, densidad de pulpa, temperatura, agitación, aireación, extracción de los productos, etc.).

2.2.7. Estructura y Propiedades de los Minerales

La interacción entre las partículas minerales y las otras dos fases, agua y aire, no solo depende de la composición química de las especies, sino que también importa su estructura mineralógica. Las propiedades de flotación de los minerales son determinadas por sus características superficiales más que por la masa cristalina, pero las propiedades superficiales dependen sobre todo del ordenamiento en la celda unitaria.

Entre los sulfuros con afinidad natural por la fase gaseosa se identifica a la molibdenita. Se describe como formada por capas de hojas de sulfuro de molibdeno donde los átomos de molibdeno dispuestos en un plano, están unidos por enlaces covalentes a dos capas adyacentes, una superior y otra inferior de átomos de azufre. Esta estructura se extiende en forma ilimitada en el plano. Las capas están unidas entre sí por enlaces residuales definiendo planos de debilidad por donde se exfolia preferentemente dando lugar a partículas de forma aplanada y con caras no reactivas, salvo los extremos donde se rompen enlaces covalentes. Cada átomo de molibdeno está rodeado por seis azufres en los vértices de un prisma triangular. Su marcada hidrofobicidad natural permite flotarla con solamente un espumante o con la ayuda de un aceite neutro como refuerzo.

La hidrofobicidad natural de los sulfuros está restringida a la molibdenita (Chander & Fuerstenau, 1975).

El resto de los sulfuros comerciales están formados por un anión (S^{-2}) y cationes como el Cu^{+} , Cu^{+2} , Pb^{+2} , Zn^{+2} , Hg^{+} , Sb^{+3} , Bi^{+3} , metales de transición como el Fe^{+2} , CO_2 y Ni^{+2} ; metales nobles y metales raros como Ag^{+} , Au^{+} , MO^{+4} . Sobre la base de su estructura cristalina y el tipo de enlace entre los átomos y las unidades poliédricas en el espacio (Povarennyk, 1972), introdujo la clasificación cristaloquímica de los sulfuros.

2.2.8. Flotación Bulk Cobre –Plomo

Esta flotación se realiza con una depresión simultánea de sulfuros de zinc y pirita. Por lo general, la flotación cobre – plomo se realiza a pH natural o levemente alcalino utilizando xantatos y ditionofosfatos como colectores, la depresión de la pirita y esfalerita se logra mediante el uso de cal, cianuro de sodio, bisulfito de sodio y sulfato de zinc, en dosificaciones que no afecten la flotación del cobre y el plomo.

Además, se debe agregar que los sulfuros de cobre flotan en un rango de pH entre 3 y 12, mientras que el pH de flotación de la galena está en el rango neutro a ligeramente alcalino, y cuando tiene alto contenido de plata el plomo tiende a deprimirse a pH mayor a 9.5.

2.2.9. Depresión de Esfalerita y Pirita

Durante la flotación bulk Cu-Pb, la pirita se deprime con cianuro de sodio y bisulfito de sodio, mientras que la esfalerita con sulfato de zinc.

Se ha determinado la existencia de ferrocianuro de sodio sobre la superficie de la pirita, no permitiendo que ésta flote.

El bisulfito de sodio deprime la pirita, al descomponer los xantatos, dixantógenos y luego el alcohol componente del xantato

El motivo por el cual la esfalerita flota indebidamente en el bulk Cu-Pb depende de cada mineral, las causas pueden ser:

- a. Asociación mineralógica Cu-Zn o Pb-Zn.
- b. Arrastre de sulfuros de zinc durante la flotación bulk Cu-Pb por factores mecánicos.
- c. Activación natural de la esfalerita debido a la presencia de iones metálicos Cu, Ag, As, Sb, Cd, en el mineral o en el agua de tratamiento.

2.2.10. Activación y Flotación de Sulfuros de Zinc

La esfalerita no adsorbe xantatos de cadena corta sin activación previa, esta activación consiste en el recubrimiento de la esfalerita por una capa de un ion activante que formará una superficie que podrá interactuar con el xantato.

Para la flotación de la esfalerita de las colas de la flotación cobre – plomo, se usa generalmente CuSO_4 como activante,



Simultáneamente es necesario deprimir la pirita, usualmente con cal, para elevar el pH hasta valores entre 8,5 – 12, la pirita en este rango de pH no flota al inhibirse la formación de dixantógenos que es la especie colectora (Azañero, 2010).

2.2.11. Separación de Cobre - Plomo por Flotación

Se clasifican de acuerdo al mineral a deprimir:

Depresión de minerales de cobre y depresión de los minerales de plomo

2.2.12. Depresión de minerales de Cobre

Cianuro de Sodio: La utilización del NaCN solo es posible donde la presencia de minerales de cobre secundarios y/o metales como Ag/Au es nula, es decir donde no existe el peligro de disolución de valores.

En casos extremos y debido al excesivo uso de colectores en la obtención del concentrado bulk Cu-Pb es necesario aplicar un lavado previo del concentrado, desorción con Na_2S y/o carbón activado.

Existen pocos reactivos depresores para minerales de cobre, principalmente se basan en el uso de NaCN tanto puro como en mezcla con ZnSO_4 ; ZnO , adicionalmente se puede utilizar las mezclas en

mención con CaO, otros procedimientos son el empleo de permanganato de potasio y tiourea (Azañero, 2010).

Permanganatos: Su aplicación es de gran interés ya que posee algunas ventajas en comparación con el NaCN o con el complejo NaCN / ZnO, no produce disolución de valores de Au/Ag o minerales de cobre secundarios, su aplicación requiere de condiciones excesivamente críticas. (Zegarra & Pérez, 1998).

2.2.13. Depresión de minerales de Plomo

Reactivos con esta característica son: SO₂, bisulfitos, sulfitos en combinación con sulfato ferroso, tiosulfato, hiposulfitos, bicromatos y CaO, ellos poseen algunas ventajas en comparación con el NaCN/ZnO sobre todo referente a la no disolución de metales preciosos y/o cobres secundarios.

Bisulfitos, Sulfitos: Permiten la depresión de los minerales de plomo, pero también presentan efecto depresor sobre el zinc.

Con la presencia de minerales de cobre secundario la separación es afectada ligeramente por la disolución de cobre, siendo estos iones absorbidos por la galena lo cual impide su depresión, este efecto negativo puede ser contrarrestado por adición de S^o, con lo cual se logra precipitar iones cobre (Zegarra & Pérez, 1998).

El acondicionamiento requerido es casi nulo y la adición por etapas es conveniente, en caso de la presencia de minerales de cobre secundarios y dependiendo de la proporción existente, el tiempo de acondicionamiento debe ser evaluado cuidadosamente.

Dicromato de Potasio: Las propiedades oxidantes son similares a las mostradas por los reactivos anteriores, excepto que presenta un menor poder depresor para los minerales de zinc en comparación con el bisulfito.

En algunas concentradoras se utiliza junto con otras dextrinas lo cual incrementa su poder depresor sobre la galena.

La eficiencia de separación cobre – plomo es afectada por la calidad del bulk Cu-Pb tratado, cuando el desplazamiento de zinc y hierro al concentrado es mayor se reduce la eficiencia de separación, posiblemente debido al mayor nivel de adición de colectores, presencia de sales solubles y/o reducción de reactivos depresores.

Carboximetil Celulosa (Química Amtex S.A., 2006): Una de las aplicaciones del carboximetil celulosa en minería es en la separación Pb-Cu; actúa como parte del reactivo depresor de plomo. Facilita la función del dicromato de sodio sobre las superficies de la galena y la del fosfato monosódico que es un dispersor, desde el punto de vista ecológico es una buena alternativa.

Composición del reactivo depresor:

- **Dicromato de sodio (60%)**
- **Carboximetil celulosa (20%) y**
- **Fosfato mono sódico (20%)**

2.3. Definición de términos básicos

Explotación sostenible: Método de extracción de algún material para ser procesado con rentabilidad económica.

Flotación de minerales: Proceso físico – químico que consiste en separar los minerales valiosos de los estériles o ganga.

Caracterización mineralógica: Descripción macroscópica y microscópica de los minerales, los elementos que lo componen y cuál es su enlace atómico.

Reactivos de flotación: Insumos utilizados en la flotación de minerales, con características propias como son; depresores, colectores, espumantes, activadores entre otros.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

Si desarrollamos un modelo de caracterización y tratamiento de la pirita alterada entonces recuperaremos concentrados de oro en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019.

2.4.2. Hipótesis Específicas

- Si determinamos el modelo de caracterización mineralógica de la pirita alterada y sulfuros complementarios, entonces, influirá en la buena recuperación de concentrados de oro en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019.
- Si evaluamos las dificultades en la depresión de la pirita y activación del cobre entonces tendremos mejoras significativas en la flotación de oro en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019.
- Si controlamos la influencia de los contenidos de Fe en la obtención de oro entonces tendremos concentrados según las exigencias de comercialización en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac – 2019

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable dependiente

- Influencia de mineral Piritico alterado

2.5.2. Variable independiente

- Flotación de Oro

2.5.3. Variables intervinientes

- Densidad de pulpa
- Grado de liberación

- Dosificación de reactivos.
- Equipos de laboratorio.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Dependiente: Producción de concentrados de cobre	Resultado de enriquecer el contenido de cobre a través del proceso de flotación de sulfuros	Proceso por el cual una mena extraído de la mina es concentrado o para obtener elementos con mayores leyes químicas en su composición	• Volumen de concentrados	TM
			• Elementos valiosos existentes en el concentrado	%
Independiente: Caracterización mineralógica de la calcopirita	Diagnóstico realizado a los minerales extraídos de la mina, para determinar sus elementos, asociaciones y reacciones a su procesamiento	Diversas etapas de preparación para reconocer al microscopio las asociaciones minerales existentes	• Análisis químico	% de cada elemento
			• Análisis macroscópico del mineral	Composición mineralógica
			• Análisis microscópico del mineral	Asociaciones mineralógicas

CAPÍTULO III

METODOLOGIA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

“El tipo de investigación del presente estudio es Experimental. “La investigación experimental se ha ideado con el propósito de determinar, con la mayor confiabilidad posible, relaciones de causa - efecto, para lo cual un grupo, llamado experimental, se expone a los estímulos experimentales y los comportamientos resultantes se comparan con los comportamientos de otro grupo, llamados de control, que no reciben el tratamiento o estímulo experimental” (Mario Tamayo – 2012)

3.2. Métodos de investigación

En el presente trabajo de investigación el método utilizado es el Científico, porque se está aplicando los conocimientos existentes en la solución de problemas.

3.3 Diseño de investigación

“Diseño de investigación se refiere a la estrategia que adopta el investigador para responder al problema, dificultad o inconveniente planteado en el estudio. Para fines didácticos se clasifican en diseño experimental, diseño no experimental y diseño bibliográfico”. (Filiberto Martins – 2010). En la presente investigación es experimental.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

Según (Tamayo – 1997) “la población se define conjunto de todas las cosas que concuerdan con una serie determinada de especificaciones a estudiar donde las unidades de la población poseen características comunes la cual se estudia y da origen a los datos de investigación”.

La población está representada por el mineral que se extrae de los lotes de cada minero artesanal en actividad.

3.4.2. Muestra

Para determinar la muestra se realizó en muestreo aleatorio simple, con la captación de 50 Kg. de mineral de cada lote y de aquí por el método de cono y cuarteo se fue obteniendo una muestra compósito, para desarrollar las pruebas experimentales; teniéndose en cuenta que en las operaciones diarias realizan el blending del mineral para alimentar a la planta concentradora.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos se realizó las siguientes actividades:

- **Pruebas metalúrgicas a nivel laboratorio.**
 - Preparación de muestras para realizar pruebas de microscopía.
 - Técnicas de recolección de datos
 - Para la colección de datos de las observaciones al microscopio se utilizará tablas previamente diseñadas.
 - pruebas metalúrgicas por flotación. Los datos obtenidos se anotarán en tablas previamente establecidas.
 - Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos empleados para la recolección de datos serán:

Balanza de gramos y de kilos y accesorios como envases de plásticos.
- **Análisis químico de las muestras obtenidas.**
 - Técnicas de recolección de muestras

La técnica a emplear será de cono y cuarteado para la muestra y para determinar el contenido de elementos metálicos ensayos por vía clásica.
 - Instrumentos de recolección de datos

Las herramientas a emplear serán palas, picos y costales.
- **Pruebas de flotación**
 - Técnicas de recolección de muestras

Para el concentrado con la paleta manual, depositado en bandejas y secado a 60°C en horno.

Para el relave, el material que queda en la celda de flotación, secado a 60°C en horno.

- Instrumentos de recolección de datos

Balanza de 2 kilos para el pesado de mineral de cabeza, concentrado y relave.

Espátulas para la toma de muestras para los ensayos químicos.

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento de datos se utilizará la hoja de cálculo; del siguiente modo:

- Observaciones al microscopio.
- Pruebas metalúrgicas a nivel laboratorio.
- Equipos.

Molienda

Molino bolas de laboratorio: (a 20 y 34 minutos para alcanzar las granulometrías deseadas ($P_{80} = 74 \mu\text{m}$ y $P_{80} = 38 \mu\text{m}$).

Flotación

Celda de flotación Denver: (1200 rpm, flujo de aire 2 l/min).

Flotación Rougher de cobre:

Tiempo de acondicionamiento: 5 minutos

pH: 8,5 (CaO)

Tiempo de flotación: 15 minutos

Adición de reactivos:

Z-11: (inicio, 7,5 y 10 minutos)

Tionocarbamato: (inicio, 7,5 y 10 minutos)

MIBC, NaCN, Complejo (1 NaCN y 2 ZnSO₄): (inicio, 7,5 y 10 minutos)

Flotación Rougher de pirita (relave de flotación de cobre)

Tiempo de acondicionamiento: 5 minutos

Aireación: 3 l/min

Acondicionamiento: CuSO₄ (reactivar la pirita)

pH: 10,5

Tiempo de flotación: 15 minutos

Adición de reactivos:

Z-6: (inicio, 7,5 y 10 minutos)

Tionocarbamato: (inicio, 7,5 y 10 minutos)

MIBC: (inicio, 7,5 y 10 minutos)

- Técnica de procesamiento de datos.

Pruebas de flotación, Se ha considerado el diseño factorial: 2^k (2 niveles, 3 variables), del siguiente modo:

$$N = 2^k = 2^3 = 8$$

Donde:

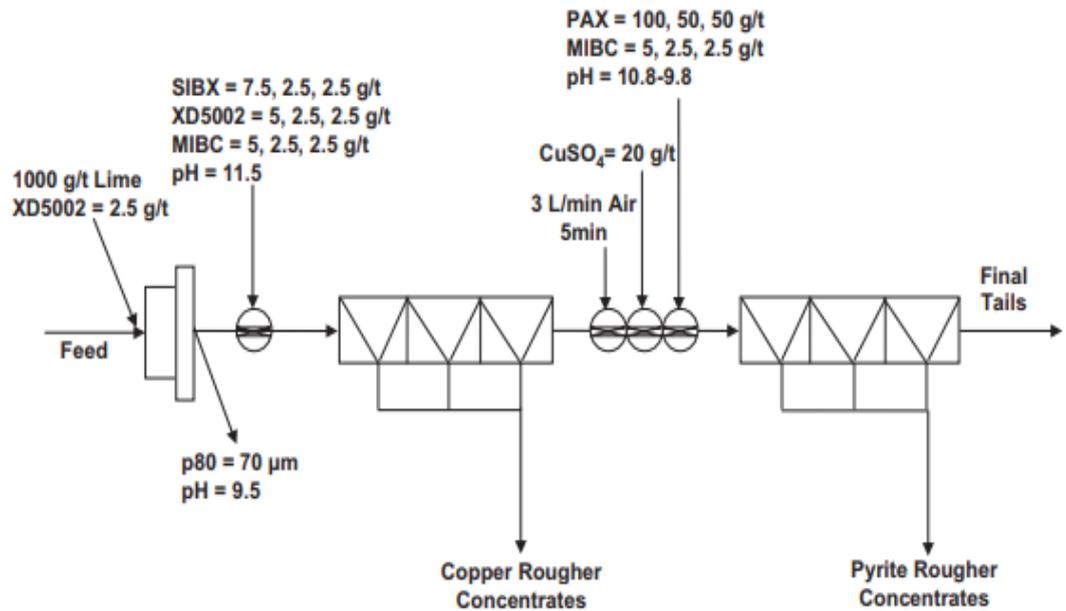
Molienda: 2 estados (74 μ m y 38 μ m)

Colectores: Z – 11

Butil Tionocarbamato

MIBC

Gráfico 5. Diagrama de flujo de la flotación de cobre y pirita



Fuente: Agorhom, E. Centro de Investigación Especial ARC para partículas e interfaces, Universidad de Australia del Sur.

3.7. Tratamiento estadístico

El tratamiento estadístico de los datos se desarrolló con la asistencia del software *SPSS 22*.

3.8. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

✓ Selección de instrumentos de investigación

La selección de los instrumentos de investigación se realizó desarrollando los procesos convencionales para cada etapa y con las técnicas aprendidas en los claustros universitarios.

✓ Validación

La validación de la investigación, estarán dadas por el análisis químico y la caracterización del mineral correcta que se otorga a cada muestra a experimentar.

✓ Confiabilidad.

La confiabilidad de los resultados, se basa en la experiencia del personal del laboratorio químico al cual se confió los ensayos y a la correcta toma de muestras, realizadas con el mayor cuidado posible por todos los que realizamos este trabajo.

3.9. Orientación ética

La aprobación o la desaprobación se basa en la aceptabilidad ética de la investigación, incluyendo su valor tecnológico y su validez científica, un índice aceptable de beneficios potenciales frente a los riesgos de daño, la minimización de los riesgos, los procedimientos adecuados de consentimiento informado (incluyendo la adecuación cultural y los mecanismos para garantizar la voluntariedad), los procedimientos justos para la selección de las variables, y la consideración de la repercusión de la investigación sobre la empresa de donde procede el mineral, tanto durante la investigación como después de que esta finalice. La revisión tiene en cuenta la revisión científica previa y las leyes aplicables.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

El proyecto metalúrgico denominado Planta de Beneficio “María Mercedes I” se encuentra ubicado en el cerro Huamanilla Mocco, comunidad de Pampachiri, entre los centros poblados de Huancabamba, Checche y Huaropata, del distrito de José María Arguedas, provincia de Andahuaylas, región Apurímac.

Las coordenadas cedidas por la comunidad son:

Vértice (1) Norte (8460149.0283) ESTE (672654.2300)

Vértice (2) Norte (8459475.0378) ESTE (673160.0433)

Vértice (3) Norte (8458716.0480) ESTE (671558.1051)

Vértice (4) Norte (8459322.0000) ESTE (671664.1000)

ACCESO. – Es accesible desde la ciudad de Lima, por las carreteras, siguiendo la ruta de Lima a Nazca (460 km asfaltada), Nazca a Puquio (156 Km asfaltada),

Puquio a desvío Pampachiri (77 km asfaltada) y a proyecto (6 km trocha carrozable).

La planta concentradora tiene capacidad de procesar hasta 500 TM/día; la característica común de todos los minerales que llega a la planta son altamente piritosos, son pórfidos de cobre y oro, por encontrarse en una zona donde se desarrolló bastante vulcanismo activo.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

- **Recolección de muestra**

Para la recolección de la muestra representativa, se obtuvo una muestra de 5 kilos por cada lote y bajo el sistema de cono y cuarteado; en forma similar se realizó para obtener la muestra compósito de toda la campaña, obteniéndose 50 kilos con los cuales se realizó las pruebas experimentales siguientes.

- **Cálculo del peso específico del mineral**

Utilizando el método del picnómetro, se determinó el peso específico del mineral, de diez muestras y se procedió a obtener el promedio representativo.

Tabla 3. Peso específico medio del mineral

Muestra	Peso específico (gr/cm ³)
1	4,92
2	5,02
3	4,90
4	5,15
5	4,95
6	4,80

7	4,78
8	4,88
9	4,90
10	4,85
Sumatoria	49,15
Promedio	4,92

Fuente: Elaboración propia.

- **Cálculo de la dureza del mineral**

Utilizando la escala de campo, el mineral logró rayarse con un clavo de acero que otorga una dureza de 5,4.

- **Liberación del mineral**

Para determinar el grado de liberación del mineral se procedió a moler por 20 minutos la muestra representativa, obteniéndose el siguiente resultado:

Tabla 4. Análisis de mallas del compuesto

Malla Tyler	Abertura (mm)	Mineral Retenido (g)	Retenido acumulado (g)	% Mineral Retenido	% Mineral que pasa
4	4,76	0	0	0	100
6	3,36	1.5	1.5	1.5	98.5
10	1,68	1.5	3.0	1.5	97
20	0,841	5	8	5	92
28	0,595	5	13	5	87
35	0,420	16	29	16	71
48	0,297	20	49	20	51
65	0,210	15	64	15	36
100	0,149	16	80	16	20
200	0,074	18	98	18	2
-200		2	100	2	0
TOTAL		100			

Fuente: Elaboración propia.

- **Análisis cuantitativo**

Para llevar a cabo el análisis por elementos del mineral compósito se procedió a evaluar cinco muestras representativas con el siguiente resultado:

Tabla 5. Análisis químico promedio

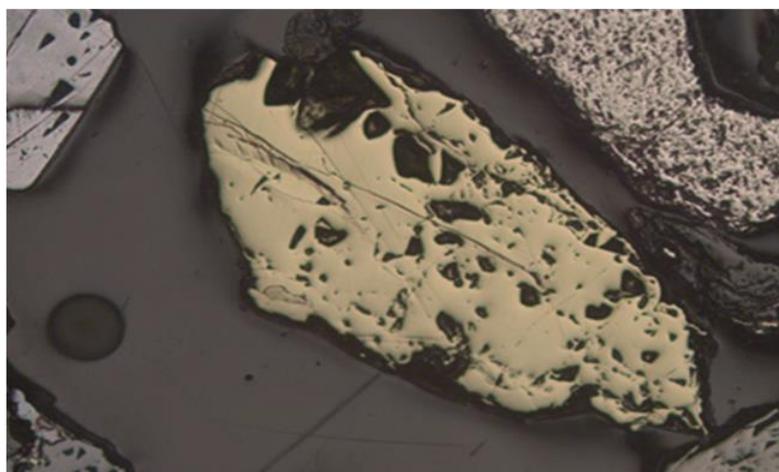
Muestra	% Cu	Au (g/TM)	% S	% Fe
1	1	1.7	12.6	18.4
2	0.85	1.9	13.5	20.2
3	1.4	1.5	13.3	17.4
4	0.8	1.4	12.8	17.4
5	1.3	2.4	14.2	20.2
SUMATORIA	5.35	8.9	66.4	93.6
PROMEDIO	1.07	1.78	13.28	18.72

Fuente: Laboratorio *Quimi Lab*.

- **Reconocimiento microscópico**

✓ Identificación de las muestras de cabeza

Foto 1. Identificación microscópica de la muestra de cabeza a malla -200



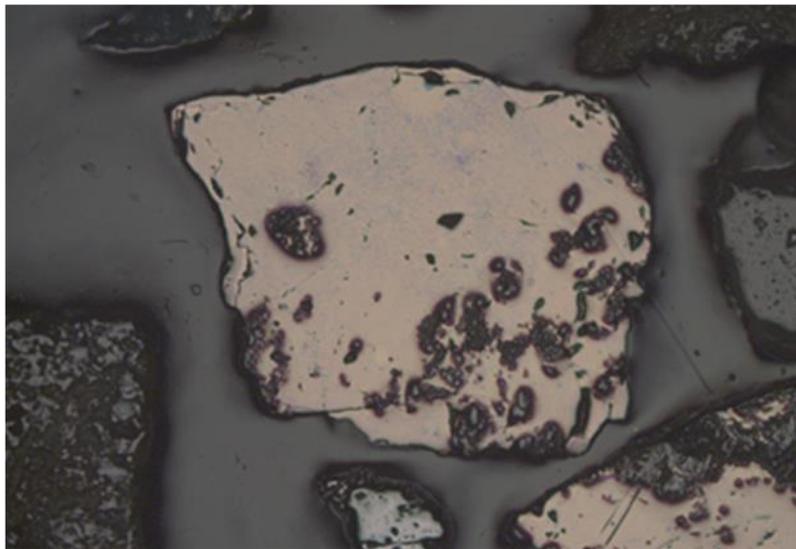
Fuente: Laboratorio de Petromineralogía – UNMSM

Comentario: En la foto a 500 μm , se puede observar claramente la calcopirita libre de color amarillo con las siguientes características:

✓ Mineral: Calcopirita (CuFeS_2)

- ✓ Sistema cristalino: Tetragonal
- ✓ Color: Amarillo metálico
- ✓ Morfología: Anhedral
- ✓ Tamaño: 3 mm
- ✓ Pleocroismo: Ocasionalmente observable.
- ✓ Dureza: 3,5 – 4.

Foto 2. Identificación microscópica de la muestra de cabeza a malla -200



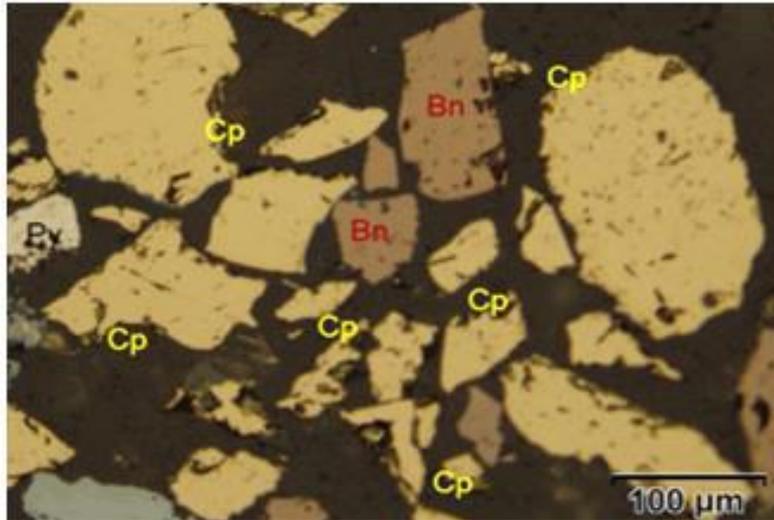
Fuente: Laboratorio de Petromineralogía – UNMSM.

Comentario: En la foto a 500 μm , se puede observar claramente la bornita libre de color rosado con las siguientes características:

- ✓ Mineral: Bornita (Cu_2FeS_4)
- ✓ Sistema cristalino: Tetragonal
- ✓ Color: Rosado
- ✓ Morfología: Anhedral
- ✓ Tamaño: 2,5 mm
- ✓ Pleocroismo: Visible en los bordes del grano.

- ✓ Dureza: 3
- ✓ Identificación de las muestras de concentrado

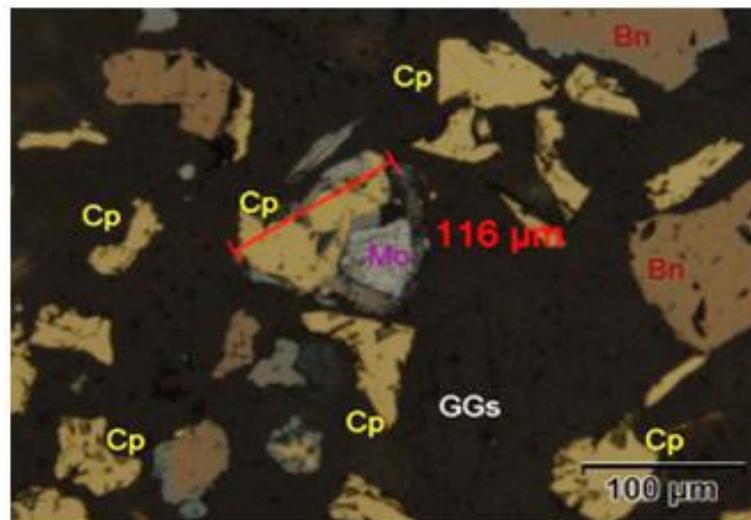
Foto 3. Identificación microscópica de la muestra de concentrado a malla 150
(con nicoles cruzados)



Fuente: Laboratorio de Petromineralogía – UNMSM

Comentario: En la foto a 100 µm, se puede observar claramente la calcopirita, bornita y pirita que van de 3 mm a 0,5 mm Con colores bien diferenciados.

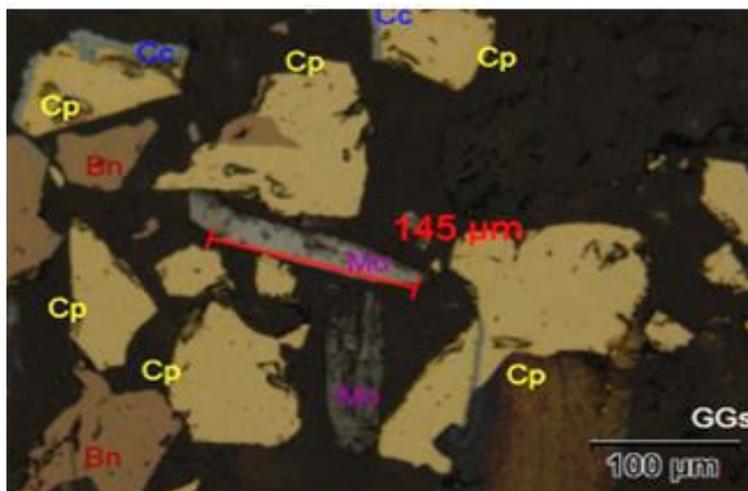
**Foto 4. Identificación microscópica de la muestra de concentrado a malla 150
(con nicoles cruzados)**



Fuente: Laboratorio de Petromineralogía – UNMSM

Comentario: En la foto a 100 μm , se observa claramente la calcopirita libre, bornita libre, gangas y una asociación de calcopirita – molibdenita de 116 μm .

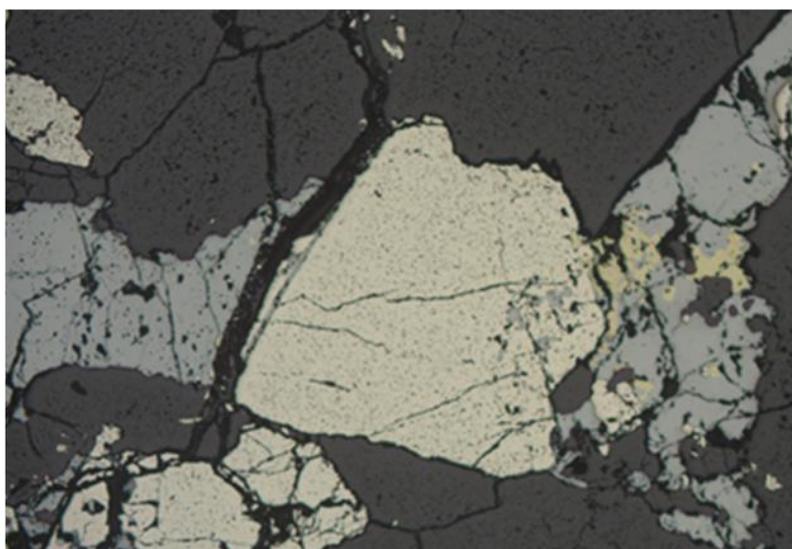
Foto 5. Identificación microscópica de la muestra de concentrado a malla 150 (con nicoles cruzados)



Fuente: Laboratorio de Petromineralogía – UNMSM

Comentario: En la foto a 100 μm , se puede observar claramente la calcopirita y bornita libres que van de 3 mm a 0,1 mm distinguiéndose claramente por la diferencia de colores.

Foto 6. Identificación microscópica de la muestra de relave a malla 200

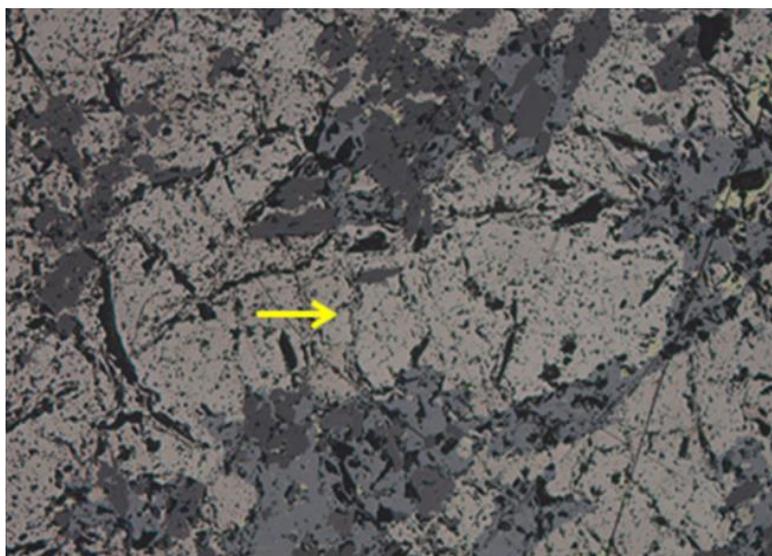


Fuente: Laboratorio de Petromineralogía – UNMSM

Comentario: En la foto a 500 μm , se puede observar claramente la pirita asociado a silicatos de color amarillo claro con las siguientes características:

- ✓ Mineral: Pirita (FeS_2)
- ✓ Sistema cristalino: Cúbico
- ✓ Color: Amarillo claro
- ✓ Morfología: Anhedral
- ✓ Tamaño: 1,5 mm
- ✓ Pleocroismo: no presenta.
- ✓ Dureza: 6

Foto 7. Identificación microscópica de la muestra de relave a malla 200



Fuente: Laboratorio de Petromineralogía – UNMSM

Comentario: En la foto a 500 μm , se puede observar claramente la pirrotita de color marrón rosado con las siguientes características:

- ✓ Mineral: Pirrotita (Fe_{1-x}S)
- ✓ Sistema cristalino: Monoclínico hexagonal

- ✓ Color: Marrón rosado
- ✓ Morfología: Anhedral
- ✓ Tamaño: 6,5 mm
- ✓ Pleocroismo: marrón rosado en los bordes del grano.
- ✓ Dureza: 3

- **Flotación de cobre y pirita**

En base al diseño propuesto se desarrolló las pruebas de flotación con el siguiente resultado:

Pruebas de flotación 1

Productos	Peso TMS	Ensayes		Contenido Metalico		Distribución	
		% Cu	Au g/TM	Cu TM	Au g	Cu	Au
Cabeza	1.00	1.00	1.97	0.01	1.97	129.55	129.83
Conc. Cu	0.06	18.50	3.50	0.01	0.20	97.40	95.20
Relave	0.94	0.52	0.11	0.005	0.10	32.15	34.63
Total	1	1.53	0.30	0.02	0.30	129.55	129.83
RC Cu	17.9						

Fuente: Elaboración propia

Pruebas de flotación 2

Productos	Peso TMS	Ensayes		Contenido Metalico		Distribución	
		% Cu	Au g/TM	Cu TM	Au g	Cu	Au
Cabeza	1	0.85	1.90	0.009	1.90	100.00	100.00
Conc. Cu	0.02	23.53	3.58	0.004	0.06	45.62	35.29
Relave	0.98	0.47	0.11	0.005	0.11	54.38	64.71
Total	1.00	0.85	0.17	0.009	0.17	100.00	100.00
RC Cu	60.7						

Fuente: Elaboración propia

Pruebas de flotación 3

Productos	Peso TMS	E n s a y e s		Contenido Metalico		Distribución	
		% Cu	Au g/TM	Cu TM	Au g	Cu	Au
Cabeza	1	1.40	1.50	0.01	1.50	100.00	100.00
Conc. Cu	0.05	22.62	3.45	0.01	0.16	76.18	60.81
Relave	0.95	0.35	0.11	0.00	0.10	23.82	39.19
Total	1	1.40	0.27	0.01	0.27	100.00	100.00
RC Cu	21.2						

Fuente: Elaboración propia

Pruebas de flotación 4

Productos	Peso TMS	E n s a y e s		Contenido Metalico		Distribución	
		% Cu	Au g/TM	Cu TM	Au g	Cu	Au
Cabeza	1	0.80	1.40	0.01	1.40	100.00	100.00
Conc. Cu	0.02	24.65	3.70	0.01	0.08	63.27	41.35
Relave	0.98	0.30	0.11	0.00	0.11	36.73	58.65
Total	1	0.80	0.18	0.01	0.18	100.00	100.00
RC Cu	48.7						

Fuente: Elaboración propia

Pruebas de flotación 5

Productos	Peso TMS	E n s a y e s		Contenido Metalico		Distribución	
		% Cu	Au g/TM	Cu TM	Au g	Cu	Au
Cabeza	1	1.30	2.40	0.01	2.40	100.00	100.00
Conc. Cu	0.04	24.80	3.68	0.01	0.15	79.36	59.22
Relave	1	0.28	0.11	0.00	0.11	20.64	40.78
Total	1	1.30	0.26	0.01	0.26	100.00	100.00
RC Cu	24.0						

Fuente: Elaboración propia

Pruebas de flotación 6

Productos	Peso TMS	E n s a y e s		Contenido Metalico		Distribución	
		% Cu	Au g/TM	Cu TM	Au g	Cu	Au
Cabeza	1	1.00	1.90	0.01	1.90	100.00	100.00
Conc. Cu	0.03	24.53	5.30	0.01	0.14	66.93	57.47
Relave	0.97	0.34	0.11	0.00	0.11	33.07	42.53
Total	1	1.00	0.25	0.01	0.25	100.00	100.00
RC Cu	36.7						

Fuente: Elaboración propia

Pruebas de flotación 7

Productos	Peso TMS	E n s a y e s		Contenido Metalico		Distribución	
		% Cu	Au g/TM	Cu TM	Au g	Cu	Au
Cabeza	1	1.40	1.70	0.01	1.70	100.00	100.00
Conc. Cu	0.04	25.20	5.45	0.01	0.20	66.99	65.70
Relave	0.96	0.48	0.11	0.00	0.11	33.01	34.30
Total	1	1.40	0.31	0.01	0.31	100.00	100.00
RC Cu	26.9						

Fuente: Elaboración propia

Pruebas de flotación 8

Productos	Peso TMS	E n s a y e s		Contenido Metalico		Distribución	
		% Cu	Au g/TM	Cu TM	Au g	Cu	Au
Cabeza	1	0.80	1.40	0.01	1.40	100.00	100.00
Conc. Cu	0.01	24.80	5.56	0.00	0.07	39.53	39.50
Relave	0.99	0.49	0.11	0.00	0.11	60.47	60.50
Total	1	0.80	0.18	0.01	0.18	100.00	100.00
RC Cu	78.4						

Fuente: Elaboración propia

Pruebas de flotación 9

Productos	Peso TMS	E n s a y e s		Contenido Metalico		Distribución	
		% Cu	Au g/TM	Cu TM	Au g	Cu	Au
Cabeza	1	1.30	2.40	0.01	2.40	100.00	100.00
Conc. Cu	0.04	23.80	5.50	0.01	0.20	66.64	65.38
Relave	0.96	0.45	0.11	0.00	0.11	33.36	34.62
Total	1	1.30	0.31	0.01	0.31	100.00	100.00
RC Cu	27.5						

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Consolidado de las pruebas de flotación de cobre

Pruebas de flotación	Ley de cabeza (%Cu)	Concentrado (%Cu)	Ratio de concentración	Concentrado de Cu - TM
1	1	18.50	17.9	0.06
2	0.85	23.53	60.7	0.02
3	1.4	22.62	21.2	0.05
4	0.8	24.65	48.7	0.02
5	1.3	24.80	24	0.04
6	1	24.53	36.7	0.03
7	1.4	25.20	26.9	0.04
8	0.8	24.80	78.4	0.01
9	1.3	23.80	27.5	0.04
Sumatoria	9.85	212.43	342	0.31
Promedio	1.09	23.60	38.00	0.03

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Consolidado de las pruebas de flotación de pirita

Pruebas de flotación	Ley de cabeza (Au g)	Concentrado (Au g)	Ratio de concentración	Concentrado de Au g
1	1.97	3.50	17.9	0.06
2	1.9	3.58	60.7	0.02
3	1.5	3.45	21.2	0.05
4	1.4	3.70	48.7	0.02
5	2.4	3.68	24	0.04
6	1.9	5.30	36.7	0.03
7	1.7	5.45	26.9	0.04
8	1.4	5.56	78.4	0.01
9	2.4	5.50	27.5	0.04
Sumatoria	16.57	39.72	342	0.31
Promedio	1.84	4.41	38.00	0.03

Fuente: Elaboración propia.

Comentario: Se desarrollaron 9 pruebas de flotación en base al diseño experimental y como resultado se tiene que existe una buena recuperación de cobre con una ley promedio de concentrado de 23,60% y ratio de concentración de 38,00, que para una campaña media mensual de extracción de mineral que se envía a la planta de 500 toneladas/día, se obtendría 4,41 gramos de oro con un ratio de concentración de 38,00 flotando la pirita y esto se asocia al concentrado de cobre, formando un bulk, para la comercialización.

4.3. Prueba de hipótesis

4.3.1. Primera hipótesis específica

La primera hipótesis indica que: Si determinamos el modelo de caracterización mineralógica de la pirita alterada y sulfuros complementarios, entonces, influirá en la buena recuperación de

concentrados de oro en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019.

i. Formular la hipótesis de investigación

H₀: Determinar el modelo de caracterización mineralógica de la pirita alterada y sulfuros complementarios no influye en la buena recuperación de concentrados de oro en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019. (hipótesis nula)

H_a: Determinar el modelo de caracterización mineralógica de la pirita alterada y sulfuros complementarios si influye en la buena recuperación de concentrados de oro en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019. (hipótesis alterna)

ii. Fijar el nivel de significación (α): $\alpha = 0,05$

iii. Estadístico de prueba: Z de Wilcoxon y significancia p – valor <0,05

iv. Decisión:

Tabla 8. Prueba de la primera hipótesis específica

	Caracterizar la mineralogía de calcopirita
Z	- 2,119
Sig. Asintótica (bilateral)	0,030

Fuente: Elaboración propia.

v. Conclusión

Con un nivel de significancia del 0,05, hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y afirmar que determinar el modelo de

caracterización mineralógica de la pirita alterada y sulfuros complementarios demuestra el grado de recuperación de concentrados de oro en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019.

4.3.2 Segunda hipótesis específica

La segunda hipótesis indica: evaluar las dificultades en la depresión de la pirita y activación del cobre influirá significativamente en la mejora en la flotación de oro en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019.

i. Formular la hipótesis de investigación

H_0 : Evaluar las dificultades en la depresión de la pirita y activación del cobre no influye significativamente en la mejora en la flotación de oro en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019. (hipótesis nula)

H_a : Evaluar las dificultades en la depresión de la pirita y activación del cobre si influye significativamente en la mejora en la flotación de oro en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019. (Hipótesis alterna)

ii. Fijar el nivel de significación (α): $\alpha = 0,05$

iii. Estadístico de prueba: Z de Wilcoxon y significancia p – valor <0,05

iv. Decisión:

Tabla 9. Prueba de la segunda hipótesis específica

	Diagnosticar el comportamiento de los minerales en el proceso de concentración de cobre
Z	- 2,120
Sig. Asintótica (bilateral)	0,032

Fuente: Elaboración propia.

v. Conclusión

Con un nivel de significancia del 0,05, hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y afirmar que Evaluar las dificultades en la depresión de la pirita y activación del cobre si influye significativamente en la mejora en la flotación de oro en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac – 2019, toda vez que el estadístico Z de Wilcoxon es -2,120.

4.3.3. Tercera hipótesis específica

La tercera hipótesis indica: Si controlamos la influencia de los contenidos de Fe en la obtención de oro entonces tendremos concentrados según las exigencias de comercialización en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac – 2019

i. Formular la hipótesis de investigación

H₀: Controlar la influencia de los contenidos de Fe en la obtención de oro no influye en la obtención de concentrados según las exigencias de comercialización en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019. (hipótesis nula)

H_a : Controlar la influencia de los contenidos de Fe en la obtención de oro si influye en la obtención de concentrados según las exigencias de comercialización en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019. (Hipótesis alterna)

ii. Fijar el nivel de significación (α): $\alpha = 0,05$

iii. Estadístico de prueba: Z de Wilcoxon y significancia p – valor <0,05

iv. Decisión:

Tabla 10. Prueba de la segunda hipótesis específica

	Diagnosticar el comportamiento de los minerales en el proceso de concentración de cobre
Z	- 2,119
Sig. Asintótica (bilateral)	0,031

Fuente: Elaboración propia.

v. Conclusión

Con un nivel de significancia del 0,05, hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y afirmar que Controlar la influencia de los contenidos de Fe en la obtención de oro si influye en la obtención de concentrados según las exigencias de comercialización en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019, toda vez que el estadístico Z de Wilcoxon es -2,235.

4.3.4. Hipótesis general

La hipótesis general señala que: Desarrollar un modelo de caracterización y tratamiento de la pirita alterada si influye en la recuperación de concentrados de oro en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019.

Basado en los resultados de las hipótesis específicas es posible validar que el desarrollo de un modelo de caracterización y tratamiento de la pirita alterada contribuye a demostrar el ratio de concentración de oro y la rentabilidad del mineral.

4.4. Discusión de resultados

Las pruebas de flotación rougher de cobre realizado, conducen a obtener un concentrado con 23,8% de Cu, independiente de la granulometría (74 o 38 μm), a un ratio de concentración de 38,00.

La flotación en dos etapas (rougher de cobre y pirita) a un P_{80} de 74 μm indicó que se puede lograr una alta recuperación de oro de (95,2%) y cobre (93,4%) pero los niveles de pirita en el concentrado también son altos (19.1 %). En molienda más fina (P_{80} 38 μm) y sin etapa de flotación de pirita, la recuperación de oro disminuyó de 95.2% a 73%, pero a un grado mejorado (5.3 g / t) en comparación con 3.5 g / t en la línea base. Este enfoque mejoró significativamente el grado de oro debido a una drástica reducción en la recuperación de pirita.

Los pórfidos de cobre y oro son principales fuentes de obtención de concentrados de cobre y oro en el mundo (Bulatovic, 1997), la calcopirita es el mineral principal de cobre, con contenidos de oro, cuyas concentraciones son bajas (1 -2 g/t) (Allan y Woodcock, 2001; Leaver y Woolf, 1934); la calcopirita y pirita tienen alta presencia en los pórfidos de cobre (Bulatovic, 1997).

Comprender la mineralogía y las asociaciones de oro para el proceso de flotación es crucial en la optimización de las operaciones. Los cambios en la composición mineralógica del mineral influyen en la recuperación de minerales/metales, la elección de los reactivos y la caracterización mineralógica permite identificar y explicar los posibles desafíos en el procesamiento.

El mineral experimentado en la presente investigación, demuestra que el oro se encuentra presente en la pirita (1 -2 g/t) y por lo tanto según otras experiencias se ha desarrollado primero la flotación del cobre y luego la pirita por separado, obteniéndose de este modo concentraciones de oro que supera 4 g/t, límite mínimo para el pago de los concentrados por oro.

Por lo tanto, para una recuperación de oro por flotación, es ideal tener una comprensión minuciosa de la mineralogía y la asociación de oro en la alimentación a la flotación. La caracterización mineralógica debe ser capaz de identificar los minerales auríferos, muestra cómo las partículas de oro se distribuyen en cada fracción y también para mostrar cómo las partículas de oro están asociadas con los minerales que pasan a formar la ganga.

Hay numerosos estudios sobre mineralogía de oro y caracterización, pero la mayoría de estos están relacionados con el comportamiento de flotación del oro libre en minerales refractarios de oro en lugar de pórfidos de cobre y oro (Chryssoulis, 1990; Goodall et al., 2005; Henley, 1992).

Aunque se ha trabajado mucho en la recuperación de oro libre desde 1934 (Leaver and Woolf, 1934), también investigado por Aksoy y Yarar (1989), estos los trabajos se centraron en la flotación de oro libre en mezclas sintéticas en lugar de minerales reales. Otro estudio desarrollado por (Teague et al., 1999) también se centró en la respuesta de flotación de oro libre en relación con oro refractario (oro en asociación con pirita y pirrotita) en minerales de oro refractarios. Hay pocas referencias en la literatura sobre el comportamiento de flotación del oro en relación con el cobre en pórfidos de cobre y oro (Bulatovic, 1997; Small et al., 2003).

La mayoría de plantas de flotación de cobre y oro están diseñadas con el objetivo de optimizar la recuperación de cobre, bajo el supuesto de que el oro se encontrará inmerso en los minerales de cobre (Bulatovic, 1997).

Estas proposiciones no conducen a resultados óptimos en la recuperación de oro, debido a la mineralogía que presenta, la química de la superficie, densidad y morfología entre cobre y oro minerales (Agorhom et al., 2012).

En minerales provenientes de los pórfidos de cobre y oro; las partículas de oro se asocian principalmente con la pirita (que se considera como ganga) y no está

asociado a los principales minerales de cobre (por ejemplo, calcopirita, calcocita, etc.).

Las asociaciones de oro - pirita en los minerales de cobre y oro representan un gran problema debido a la necesidad de minimizar el contenido de azufre en el concentrado final de cobre (Monte et al., 1997). Cualquier intento de rechazar la pirita por aireación o adición de depresivos causa invariablemente pérdidas de oro.

CONCLUSIONES

1. Los minerales que traen los pequeños mineros a la planta concentradora María Mercedes I, provienen de yacimientos porfiríticos de cobre y oro, con leyes que van de 0,5 a 2 % de cobre y oro de 1 a 2 g/t. y después de haber realizado la caracterización mineralógica por microscopía se puede observar que el cobre se encuentra principalmente como calcopirita y el oro se encuentra incluido en la pirita. En base a otros estudios desarrollados se realizó la flotación por separado; primero flotación de cobre y luego de pirita. Se inició la flotación por cobre, a un pH 8,5, en un ambiente altamente básico, para oxidar la pirita y deprimirlo; con la adición de reactivos: Z-11, Tionocarbamato, MIBC, con adiciones: al inicio y luego a 7,5 y 10 minutos, culminándose la flotación rougher a 15 minutos; obteniéndose un concentrado promedio de 23,80 % de cobre a un ratio de recuperación de 38,00.
2. El relave de la flotación de cobre, fue utilizado para flotar la pirita, del siguiente modo: se realizó el acondicionamiento por 5 minutos, aireando a 3 l/min para seguir oxidando a la pirita y liberar parcialmente al oro incluido, luego activarlo con CuSO_4 y el pH actual fue 10,5. A eso se adicionó Z-6, tionocarbamato, MIBC, en tres etapas, al inicio, a 7,5 y 10 minutos respectivamente flotando por 15 minutos, obteniendo un concentrado promedio de 4,41 g/t.
3. En la comercialización de concentrados de cobre, se paga por oro cuando se tiene un contenido mínimo de 4 g/t y con la flotación de pirita en forma separada se logró, alcanzar dos objetivos (pagos por concentrados de oro y no enviar a los relaves como ganga pirítica). Los dos concentrados (cobre y oro) obtenido por separado, fue unido, homogenizado para el análisis respectivo y su comercialización respectiva.

RECOMENDACIONES

1. Desarrollar más estudios de caracterización mineralógica para identificar los medios de recuperación de oro en el relave de la flotación de cobre.
2. A los relaves existentes en los depósitos realizar pruebas de muestreo y determinar los contenidos de oro existentes y desarrollar pruebas que permitan su recuperación.
3. Acercarse a las labores mineras de terceros; prospectar las reservas probadas y posibles de cobre y oro que se tiene como pórfidos y determinar los comportamientos futuros de la mineralización.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Alulima, J. (2009). Rendimiento de la flotación para concentrar sulfuros minerales de los relaves en los distritos mineros de Portovelo - Zaruma, Bella Rica y San Gerardo. Loja: Documento interno.
- 2) ADDISON, R. (1986). Gold and Silver Extraction from Sulfides Ores. Mining Congress Journal, (págs. 47 - 54). Minnessota.
- 3) Castro, S. (2003). Flotación Fundamentos y Aplicaciones. Concepción: Dpto. Ingeniería Metalúrgica.
- 4) García, H. (1965). Recuperación por Flotación es una Función Exponencial del Tiempo. Boletín Minero, 83 -86.
- 5) Manzaneda, J. (2010). Aplicación de Microscopía en el procesamiento de minerales por flotación. Lima: UNI.
- 6) MISARI CH., F. (1987). Experiencias en una Operación de Lixiviación en Pilas para Minerales de Oro a 4600 msnm. IV Simposio de Ingeniería Metalúrgica. Arequipa.
- 7) DORR, J. V. (1936). Cyanidation and Concentration of Gold and Silver Ores. New York: McGraw-Hill.
- 8) MISARI CH., F. (1987). Experiencias en una Operación de Lixiviación en Pilas para Minerales de Oro a 4600 msnm. IV Simposio de Ingeniería Metalúrgica. Arequipa.
- 9) MISARI CH., F. (1990). Técnicas de Tratamiento de Minerales Refractarios de Oro. I Jornada de Metalurgia "Metalurgia: Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Nacional". Cerro de Pasco.

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

FLOTACIÓN DE ORO Y SU INFLUENCIA DE MINERALES PIRITICOS ALTERADOS EN LA PLANTA DE BENEFICIO MARÍA MERCEDES I – APURIMAC – 2019

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES
<p>General</p> <p>¿De qué manera la presencia de la pirita alterada, influye en la recuperación de oro en la Planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019?</p>	<p>General</p> <p>Desarrollar un modelo de caracterización y tratamiento de la pirita alterada para la recuperación de oro en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019.</p>	<p>General</p> <p>Si desarrollamos un modelo de caracterización y tratamiento de la pirita alterada entonces recuperaremos concentrados de oro en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019.</p>	<p>Dependiente</p> <p>Flotación de Oro</p>
<p>Específicos</p> <p>¿Cuáles es la caracterización mineralógica de la pirita alterada y sulfuros complementarios en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019?</p>	<p>Específicos</p> <p>Determinar la caracterización mineralógica de la pirita y sulfuros complementarios en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac – 2019</p>	<p>Específicos</p> <p>Si determinamos el modelo de caracterización mineralógica de la pirita alterada y sulfuros complementarios, entonces, influirá en la buena recuperación de concentrados de oro en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019.</p>	<p>Independientes</p> <p>Influencia de mineral piritico alterado</p>

<p>¿Cuáles son las dificultades en la depresión de la pirita y activación del cobre en la flotación de oro en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019?</p> <p>¿Cómo influye los contenidos de Fe en la obtención de concentrados de oro según las exigencias de comercialización en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019?</p>	<p>Evaluar las dificultades en la depresión de la pirita y activación del cobre en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019.</p> <p>Evaluar la influencia de los contenidos de Fe en la obtención de concentrados de oro según las exigencias de comercialización en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019</p>	<p>Si evaluamos las dificultades en la depresión de la pirita y activación del cobre entonces tendremos mejoras significativas en la flotación de oro en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019.</p> <p>Si controlamos la influencia de los contenidos de Fe en la obtención de oro entonces tendremos concentrados según las exigencias de comercialización en la planta de beneficio María Mercedes I – Apurímac - 2019</p>	<p>Intervinientes</p> <ul style="list-style-type: none"> -Densidad de pulpa -Grado de liberación -Dosificación de reactivos -pH
--	---	--	--

FOTOS PLANTA CONCENTRADORA



Concentrado Bulk Cobre y Plomo



**Relave de
Planta Concentradora**

**Reactivo Z - 6
(Xantato Amilico de Potasio)**



Celda serrana y Celda unitaria
Planta Concentradora María Mercedes I



Vista Planta Concentradora María Mercedes I